

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

О. В. Агеев

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ, ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ И МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,
обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки
15.03.02 Технологические машины и оборудование

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2025

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания
ФГБОУ ВО «КГТУ» М. Н. Альшевская

Агеев, О. В.

Пневматические, гидравлические и мехатронные системы: учеб.-методич. пособие по изучению дисциплины для студ. бакалавриата по напр. подгот. 15.03.02 Технологические машины и оборудование / О. В. Агеев. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2025. – 85 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Пневматические, гидравлические и мехатронные системы» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля, материалы по подготовке к практическим занятиям, отражены рекомендации для выполнения контрольной работы студентами заочной формы обучения.

Табл. 17, рис. 24, список лит. – 17 наименований

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 28 февраля 2025 г., протокол № 2

УДК 658.512.26

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2025 г.
© Агеев О. В., 2025 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	8
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	54
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОН- ТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	78
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	83
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	84

ВВЕДЕНИЕ

Экономические, социальные и политические преобразования в мире значительно изменили подход к организации производств. Обеспечить их экономическую выгоду без повышения тарифов (следовательно, без повышения стоимости продукции) прежними подходами становится всё труднее. Успешное решение этой задачи в значительной мере определяется совершенствованием технологических процессов, внедрением и активным использованием мехатронных машин, пневматических и гидравлических систем, которые, обладая высокой производительностью и гибкостью, активно вытесняют машины периодического, или цикличного, действия. Их применение позволяет регулировать темп производства, обеспечивать его ритмичность, способствовать повышению производительности труда и увеличению выпуска продукции.

Знание технических возможностей, конструкции, основ расчета и перспектив использования гидро- и пневмосистем позволит расширить области их применения, рационально решать вопросы технического перевооружения современных производств под новые экономические условия.

Мехатроника является исключительно динамично развивающимся направлением современной науки, техники и технологии, определяющим облик техносферы нового века. Главная задача мехатроники состоит в создании интеллектуальных машин и движущихся систем, которые обладают качественно новыми функциями и свойствами. «От механики к мехатронике» – такова ведущая тенденция развития современного машиностроения. Эта тенденция особенно отчетливо проявляется при создании интеллектуальных роботов и реконфигурируемого оборудования, нового поколения авиационной и военной техники, микросистем и пищевого оборудования. Во всем мире отмечается быстро растущий интерес к мехатронике в образовательной, научно-исследовательской и производственной сферах. Объемы мирового производства мехатронных модулей и систем ежегодно увеличиваются, охватывая все новые сферы профессиональной и повседневной жизни современного человека.

«Пневматические, гидравлические и мехатронные системы» – дисциплина образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование.

Дисциплина «Пневматические, гидравлические и мехатронные системы» является дисциплиной, формирующей у обучающихся готовность к профессиональной деятельности в области технологического оборудования.

Целью освоения дисциплины является формирование у обучающихся основных понятий по основам построения пневматических, гидравлических и мехатронных систем в технологических машинах, знаний по основам управления мехатронным технологическим оборудованием с использованием технических средств пневматики, гидравлики и электромеханики.

Задачами дисциплины являются следующие:

- изучение основ построения пневматических, гидравлических и мехатронных систем;

- освоение методов разработки конструкций пневматических и гидравлических производственных модулей;
- изучение средств разработки электропневматических и электрогидравлических систем управления;
- освоение принципов моделирования динамики пневматических, гидравлических и мехатронных систем;
- приобретение навыков самостоятельного изучения отдельных тем дисциплины и решения типовых задач;
- приобретение навыков работы и способности разрабатывать предложения по совершенствованию пищевых линий путем внедрения мехатронных систем;
- усвоение полученных знаний студентами, а также формирование у них мотивации к самообразованию за счет активизации самостоятельной познавательной деятельности;
- изучение перспектив развития и совершенствования технологических процессов пищевой отрасли на основе пневматических, гидравлических и мехатронных средств автоматизации.

Результатами освоения дисциплины является поэтапное формирование требуемых компетенций у обучающихся.

При реализации дисциплины «Пневматические, гидравлические и мехатронные системы» организуется практическая подготовка путем проведения практических занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- основные элементы пневматических, гидравлических и мехатронных систем, принципы их функционирования;
- основные алгоритмы управления технологическими машинами, реализуемые системами автоматизации;
- программное обеспечение электропневматических и гидравлических систем;
- основы построения надежных систем управления технологическим оборудованием на базе средств пневматики, гидравлики и электромеханики;

уметь:

- выбрать состав и структуру мехатронной системы, исходя из требований управления и надежности;
- реализовать алгоритм управления технологическим оборудованием посредством программного обеспечения;
- настраивать и эксплуатировать современные мехатронные системы;

владеть:

- методами, приемами и технологиями разработки мехатронных систем автоматизированного управления технологическими процессами и установками;
- методами, приемами и технологией разработки программного обеспечения для мехатронных систем;

– основами программирования микроконтроллеров и средств для создания и отладки программ.

Для успешного освоения дисциплины «Пневматические, гидравлические и мехатронные системы», студент должен активно работать на лекционных и практических занятиях, организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены практические задания. Решение практических задач обучающимися проводится на практических занятиях после изучения соответствующих тем.

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства поэтапного формирования результатов освоения;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) относятся:

- тестовые задания открытого и закрытого типов.
- задания по контрольным работам (для студентов заочной формы обучения).

К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме экзамена, соответственно относятся:

- экзаменационные задания по дисциплине, представленные в виде тестовых заданий закрытого и открытого типов.

К экзамену допускаются студенты:

- положительно аттестованные по результатам освоения дисциплины;
- положительно аттестованные по результатам выполнения практических работ;
- получившие положительную оценку при выполнении контрольной работы (для заочной формы обучения).

Универсальная система оценивания результатов обучения приведена в таблице 1 и включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100-балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему.

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
	связывать между собой)			
2. Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно-корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно-корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые курсы поставленной задачи
4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

При необходимости для обучающихся инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом его индивидуальных психофизических особенностей.

Для успешного освоения дисциплины «Пневматические, гидравлические и мехатронные системы» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень вопросов для подготовки к практическим занятиям и организации самостоятельной работы студентов. Материал пособия содержит рекомендации по написанию контрольной работы для студентов заочной формы обучения.

1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Пневматические, гидравлические и мехатронные системы», студент должен научиться работать на лекциях, практических занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции с прочитанным и усвоенным ранее материалом в области проектирования технологических линий, подбора оборудования пищевых производств, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливать их взаимосвязь с изученными ранее понятиями.

Основными видами учебной деятельности в ходе изучения курса являются лекции, практические занятия, консультирование по решению практических заданий, выполнение контрольной работы для заочной формы обучения.

При разработке образовательной технологии организации учебного процесса основной упор сделан на соединение активной и интерактивной форм обучения. Интерактивная форма позволяет студентам проявить самостоятельность в освоении теоретического материала и овладении практическими навыками, формирует интерес и позитивную мотивацию к учебе.

При чтении лекций преподаватель имеет право самостоятельно выбирать формы и методы изложения материала, которые будут способствовать качественному его усвоению. При этом преподаватель в установленном порядке может использовать технические средства обучения, имеющиеся на кафедре и в университете.

Вместе с тем, всякий лекционный курс является в определенной мере авторским, представляет собой творческую переработку материала и неизбежно отражает личную точку зрения лектора на предмет и методы его преподавания. В этой связи представляется целесообразным привести некоторые общие методические рекомендации по построению лекционного курса и формам его преподавания.

Лекции составляют основу теоретической подготовки и посвящены наиболее важным моментам по проектированию технологических линий в рыбной промышленности. При проведении лекций необходимо использовать технические средства обучения, ЭИОС, применять методы, способствующие активизации познавательной деятельности слушателей. На лекциях целесообразно теоретический материал иллюстрировать рассмотрением различных примеров и конкретных задач. Имеет смысл привлекать студентов к обсуждению как рассматриваемого вопроса в целом, так и отдельных моментов рассуждений и доказательств. Необходимо также использовать возможности проблемного изложения, дискуссии с целью активизации деятельности студентов.

Практические занятия проводятся для закрепления основных теоретических положений курса и реализации их в практических расчетах, формирования и развития у студентов мышления в рамках будущей профессии.

На практических занятиях следует добиваться точного и адекватного владения теоретическим материалом и его применения для решения задач.

Важным звеном во всей системе обучения является самостоятельная работа обучающихся. В широком смысле под ней следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов, как в отсутствии преподавателя, так и в контакте с ним. Она является одним из основных методов поиска и приобретения новых знаний, работы с литературой, а также выполнения предложенных заданий. Преподаватель призван оказывать в этом методическую помощь студентам и осуществлять руководство их самостоятельной работой.

Необходимо контролировать степень усвоения студентами текущего материала, а также уровень остаточных знаний по уже изученным темам.

При изучении курса предусмотрены следующие формы текущего контроля:

- опросы по теоретическому материалу;
- контроль на практических занятиях.

С целью формирования мотивации и повышения интереса к предмету особое внимание при чтении курса необходимо обратить на темы, которые можно проиллюстрировать примерами из практической сферы, связывая теоретические положения с будущей профессиональной деятельностью студентов.

Тематический план лекционных занятий представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Объем (трудоемкость освоения) и структура лекционных занятий

Номер темы	Содержание лекционного занятия	Кол-во часов ЛЗ	
		очная форма	заочная форма
1	Теоретические основы и элементы пневматических систем	4	1
2	Исполнительные устройства и выходные приборы пневматических систем	4	1
3	Пневматические распределители	4	1
4	Пневматические аппараты	4	1
5	Теоретические основы гидравлических систем	4	1
6	Гидравлические машины и аппаратура	4	1
7	Теоретические основы мехатронных систем	4	2
8	Проектирование и управление мехатронными модулями	4	2
Итого		32	10

Если лектор приглашает студентов к дискуссии, то необходимо принять в ней активное участие. Если на лекции студент не получил ответа на возникшие у него вопросы, он может в конце лекции задать эти вопросы лектору курса дисциплины.

Тема 1. Теоретические основы и элементы пневматических систем

Ключевые вопросы темы

1. Основные понятия пневматики.
2. Свойства и характеристики воздуха.
3. Производство и распределение сжатого воздуха.
4. Пневматические трубопроводы.
5. Обслуживание пневматической системы.

Ключевые понятия: закон Бойля-Мариотта, всасывающий фильтр, воздушный компрессор, воздушный ресивер, осушитель воздуха, воздушный фильтр, редукционный клапан, маслораспылитель.

Литература: [1, с. 6–15].

Методические рекомендации:

Первая тема курса направлена на получение у обучающихся представления о базовых понятиях дисциплины, определении места дисциплины в структуре образовательной программы, планируемых результатов освоения дисциплины, возможных рисках освоения дисциплины, знакомит обучающихся с формами текущего и промежуточного контроля.

В рамках изучения второго вопроса темы рассматриваются свойства и характеристики воздуха.

Воздух является смесью газов и имеет следующий состав:

- около 78 % объема – азот;
- около 21 % объема – кислород.

Воздух также содержит небольшое количество двуокиси углерода, аргона, водорода, неона, гелия, криптона и ксенона. Для лучшего понимания законов природы, а также свойств воздуха ниже представлены размерности физических величин, которые используются в технической системе и в международной системе измерений (СИ).

Давление, которое непосредственно воздействует на поверхность земли, называется атмосферным давлением и обозначается $P_{атм}$. Это давление часто называют базовым. Превышение абсолютного давления $P_{абс}$ над атмосферным называют избыточным давлением ($P_{изб}$), а недостаток абсолютного давления до атмосферного – вакуум метрическим давлением ($P_{вак}$). Атмосферное давление не является постоянным. Оно изменяется в зависимости от географического места и погодных условий. Диапазон изменения давления, заключенный между линией абсолютного нуля и линией атмосферного давления, называется диапазоном вакуума, а диапазон, лежащий выше линии атмосферного давления, диапазоном избыточного давления.

Для воздуха характерна незначительная сила сцепления между молекулами, поэтому в нормальных условиях ею можно пренебречь. Как и все газы, воздух не имеет собственной формы. Он полностью занимает предоставленный объем. Воздух может сжиматься и расширяться. Это свойство описывается законом Бойля-Мариотта: «При постоянной температуре объем данной массы газа обратно пропорционален абсолютному давлению», т. е. произведение абсолютного давления газа на его объем является постоянной величиной для данной массы газа.

С целью обеспечения надежности работы пневматической системы управления к ней необходимо подвести сжатый воздух высокого качества. При этом оцениваются следующие параметры воздуха:

- уровень давления;
- влажность воздуха;
- степень очистки воздуха.

Если не будут соблюдены перечисленные выше требования к параметрам воздуха, то это может привести к увеличению эксплуатационных расходов из-за роста времени простоя машин и установок, а также увеличению затрат на ремонт и замену вышедших из строя элементов.

Подготовка сжатого воздуха начинается уже с момента его производства, но, если не принять специальных мер, на пути к потребителям воздух может быть загрязнен. Тип компрессора и его техническое состояние оказывают большее или меньшее влияние на количество твердых частиц, масла и воды, которые могут попасть в пневматическую систему. В состав подсистемы подготовки воздуха входят следующие элементы:

- всасывающий фильтр;
- воздушный компрессор;
- воздушный ресивер;
- осушитель воздуха;
- воздушный фильтр с влагоотделителем;
- редукционный клапан;
- маслораспылитель (при необходимости);
- дренажные (спускные) отверстия для удаления конденсата.

Из-за плохого качества воздуха увеличивается число аварий и сокращается срок службы пневматической системы, что проявляется в таких явлениях, как:

- быстрый износ уплотнений и подвижных частей пневмоаппаратов и исполнительных устройств;
- замасливание клапанов;
- загрязнение глушителей шума;
- коррозия трубопроводов, пневмоаппаратов, цилиндров и других элементов;
- вымывание смазки подвижных частей.

В случае плохой герметичности пневмосистемы утекающий воздух может попасть на обрабатываемые изделия (например, на пищевые продукты). Как правило, пневматические устройства промышленного назначения проектируются на максимальное рабочее давление 800... 1000 кПа (8... 10 бар). Однако опыт эксплуатации показал, что из экономических соображений целесообразнее использовать давление около 600 кПа (6 бар). Сопротивление течению газа в отдельных элементах (например, дроссели) и в трубопроводах рассчитывается таким образом, чтобы суммарные потери давления в них составляли 10...50 кПа (0,1 ...0,5 бар). Поэтому для того, чтобы нормальное рабочее давление в пневмосистеме было не ниже 600 кПа (6 бар), давление компрессорной установки должно быть в пределах 650...700 кПа (6,5...7 бар).

Объемный поршневой компрессор возвратно-поступательного действия

сжимает воздух, поступающий в его рабочий объем, через всасывающий клапан. Через напорный клапан воздух подается в пневмосеть.

Компрессоры возвратно-поступательного действия находят широкое применение, так как они обеспечивают получение сжатого воздуха в широком диапазоне давления и расхода. Для получения большого давления используют многоступенчатые компрессоры, в которых воздух охлаждается между отдельными ступенями компрессора.

Мембранные компрессоры принадлежат к группе объемных компрессоров возвратно-поступательного действия, в которых рабочий объем отделен от поршня мембраной. Достоинство этого типа компрессоров заключается в том, что компрессорное масло не может попасть в поток сжимаемого воздуха. Это особенно важно там, где недопустимо попадание масла в воздух, например, в пищевой, парфюмерной или химической промышленности.

В радиально-поршневых компрессорах сжатие воздуха осуществляется во вращающихся цилиндрах. Во время процесса сжатия воздуха рабочий объем компрессора постепенно уменьшается.

В винтовых компрессорах два вала с профилем винтовой формы вращаются друг относительно друга. При этом профили, входящие один в другой, уменьшают рабочий объем, из которого сжимаемый воздух вытесняется в сеть.

Для большинства применяемых лопастных компрессоров характерна большая производительность. Изготавливаются лопастные компрессоры с аксиальным и радиальным расположением лопастей. В них воздух приводится в движение с помощью одного или нескольких турбинных колес. В лопастных компрессорах кинетическая энергия движения воздуха преобразуется в потенциальную энергию давления. В осевых компрессорах воздух перемещается лопастями в осевом (аксиальном) направлении течения потока.

Для того чтобы производительность компрессора соответствовала потребляемому расходу воздуха, необходимо осуществлять регулирование компрессора. Производительность компрессора регулируется между максимальным и минимальным уровнями значения давления. Имеются различные способы регулирования компрессора.

При регулировании сбросом компрессор «работает» на предохранительный клапан. После достижения настроенного значения регулируемого давления открывается предохранительный клапан, и воздух сбрасывается в окружающую среду.

При регулировании запирающим переключением переключается всасывающая магистраль компрессора. Этот вид регулирования применяется, прежде всего, для радиально-поршневых компрессоров.

Для больших объемных компрессоров применяется регулирование «коротким замыканием», при котором во время части цикла сжатия всасывающий клапан остается открытым. При этом рабочий объем компрессора оказывается соединенным со всасывающей магистралью и компрессор не может сжать воздух, т. е. повысить его давление.

При регулировании по нагрузке в зависимости от давления в напорной магистрали компрессора изменяется число оборотов приводного мотора компрессора.

При регулировании дросселированием на всасывании производительность компрессора поддерживается за счет изменения сопротивления дросселя, установленного во всасывающей магистрали компрессора. При релейном регулировании компрессор работает на полной нагрузке или останавливается. Приводной мотор компрессора выключается при достижении давления, превышающего максимальное рабочее давление $P_{\text{макс}}$ и включается при достижении минимального рабочего давления $P_{\text{мин}}$.

Рекомендуется, чтобы продолжительность включенного состояния компрессора была не выше 75 %. При этом необходимо, чтобы среднее и максимальное значения расхода воздуха пневматической установки были определены, что важно для выбора типа компрессора. Если предположить, что потребление воздуха при модернизации установки увеличится, то необходимо применять элементы системы управления и подготовки сжатого воздуха, рассчитанные на больший расход воздуха. Иначе последующая модернизация системы будет связана с большими финансовыми расходами из-за необходимости модернизации компрессорной станции заводской пневматической сети.

Для стабилизации давления воздуха за компрессором устанавливается ресивер. Ресивер сжатого воздуха выравнивает колебания давления при отборе воздуха из системы. Если давление в ресивере опускается ниже определенного уровня, то компрессор заполняет его до тех пор, пока давление вновь не достигнет настроенного верхнего уровня. Преимущество такого режима работы заключается в том, что компрессор не работает непрерывно.

Благодаря относительно большой площади поверхности ресивера сжатый воздух в нем охлаждается. При этом выделяется конденсат, который необходимо регулярно удалять через отводной кран.

Размеры ресивера сжатого воздуха зависят от следующих параметров системы:

- производительности компрессора;
- количества воздуха, потребляемого пневмосистемой;
- допустимой емкости ресивера;
- способа регулирования компрессора;
- допустимого колебания давления в сети сжатого воздуха.

При всасывании компрессором воздуха из окружающей среды в него попадает вода. Влажность сжатого воздуха определяется его относительной влажностью, которая зависит от температуры и погодных условий.

Абсолютная влажность – это масса паров воды, содержащихся в 1 м³ воздуха. Влажность насыщенного пара – наибольшая масса паров воды, которая может содержаться в 1 м³ воздуха при данной температуре.

Так как влажность насыщенного пара зависит от температуры, то относительная влажность изменяется с изменением температуры, даже если абсолютная влажность остается постоянной.

Точкой росы называется температура, при которой относительная влажность становится равной 100 %. При понижении температуры ниже точки росы начинается конденсация содержащихся в воздухе паров воды. Повышенная влажность воздуха уменьшает долговечность пневматической системы. Поэтому для ее снижения необходимо устанавливать осушители.

При сравнении различных осушительных установок между собой принимается во внимание значение рабочего давления установки и температура точки росы воздуха, т. е. температура, которая достигается в сушилке при рабочем давлении. Температура точки росы осушаемого воздуха должна быть на 2 ... 3 °С ниже температуры охлаждающей среды. Снижение эксплуатационных расходов, сокращение времени простоя и повышение надежности пневмосистем относительно быстро окупают дополнительные затраты на установку осушителя воздуха.

Чаще всего в установках по осушке воздуха применяются рефрижераторные (холодильные) осушители. Протекающий воздух охлаждается в теплообменнике. Влага, содержащаяся в потоке воздуха, выделяется и собирается в отстойнике. Входящий в осушитель воздух предварительно охлаждается потоком выходящего холодного воздуха, поступающего из теплообменника. Затем в рефрижераторном осушителе он охлаждается еще на 2 ... 5 °С, Сухой воздух фильтруется. На выходе из рефрижераторного осушителя воздух нагревается в теплообменнике от потока входящего воздуха. Используя методы рефрижерации, можно получить значение точки росы в интервале 2 ... 5 °С.

Адсорбция – процесс поглощения вещества из газа или жидкости поверхностью твердого тела. Осушающее вещество, которое также называют гелем, имеет форму гранул, в состав которых обычно входит оксид силиция. На практике всегда используются две емкости. Когда гель в одном из адсорберов пропитывается водой, поток воздуха переключается на другой адсорбер с сухим гелем, а первый тем временем осушается горячим воздухом. Абсорбция – это чисто химический процесс, при котором твердое тело или жидкость поглощает газообразное вещество. Из-за высоких эксплуатационных расходов этот вид сушки применяется очень редко.

С помощью фильтра на входе в осушитель воздух очищается от больших капель воды и масла. Это достигается за счет закручивания потока сжатого воздуха перед входом в сушильную камеру, где вода соединяется с флюсом, т. е. с осушающим веществом. Затем это жидкое соединение поступает в сборник, размещенный в нижней части осушителя. Получаемое соединение должно регулярно удаляться, а флюс регулярно заменяться.

Для того чтобы гарантировать надежную и безаварийную работу системы распределения воздуха, необходимо выполнить ряд требований. При этом, безусловно, важно соблюдение рекомендаций по размерам трубопроводов, материалам, из которых они выполнены, условному проходу местных сопротивлений, порядку расположения труб и правилам обслуживания пневмосистемы.

На случай последующего монтажа новых пневмосистем следует предусмотреть возможность расширения сети сжатого воздуха. Поэтому размеры основной магистрали питания сжатым воздухом, определяемые техническими требованиями, должны быть рассчитаны с определенным запасом. Это впоследствии позволит легко расширить систему, используя заглушки и отсечные клапаны.

Во всех трубопроводах имеются потери давления из-за сопротивления течению потока, причиной которых являются потери на трение и особенно потери в местных сопротивлениях (сужения, расширения проходных сечений, пово-

роты потока, разветвления и т. п.). Эти потери должны преодолеваются напором (давлением) компрессора. Потери давления во всей сети должны быть, по возможности, меньшими.

Для расчета потерь давления необходимо знать общую приведенную длину трубопроводов. Местные сопротивления при расчете заменяются сопротивлением трубопроводов эквивалентной длины. Внутренний диаметр трубопроводов, который лучше всего определять с помощью специальных номограмм, также зависит от рабочего давления и производительности компрессора.

Любое препятствие на пути потока воздуха или изменение направления его движения внутри системы трубопроводов вызывает падение давления (увеличение сопротивления потоку). Это приводит к постоянным потерям давления в системе трубопроводов. Так как любая система питания сжатым воздухом не может обойтись без различных поворотов, разветвлений, элементов соединений трубопроводов, вентилей, задвижек и т. п., то избежать такого падения давления не удастся. Но его можно значительно снизить за счет оптимальной конфигурации системы трубопроводов и выбора подходящего материала для них, а также правильного соединения и установки в них необходимых элементов.

Современные системы питания сжатым воздухом предъявляют определенные требования к сети трубопроводов, которая должна обеспечивать:

- минимальные потери давления;
- герметичность;
- стойкость против коррозии;
- возможность модернизации системы.

При этом обращается внимание не только на стоимость труб и других элементов системы сжатого воздуха, но также и на стоимость монтажа. Наименьшая стоимость монтажа у пластмассовых трубопроводов. Применение герметиков при стыковке пластмассовых трубопроводов обеспечивает 100 % герметичность и облегчает перемонтаж в случае модернизации системы.

Медные и стальные трубопроводы более дешевы, но требуют антикоррозийного покрытия, а их сопряжение друг с другом осуществляется с помощью сварки или резьбовых соединений. Если монтаж такой системы трубопроводов произведен небрежно, то в нее могут попасть кусочки окалины, стружки, застывшие капли металла или обрезки уплотнительного материала, что может привести ко многим неисправностям.

Для систем с трубопроводами, имеющими небольшой и средний размер внутреннего диаметра, самыми подходящими с точки зрения стоимости, удобства монтажа, обслуживания и возможности модернизации являются пластмассовые трубопроводы. Необходимо обеспечивать надежный монтаж трубопроводов, так как иначе может возникнуть разгерметизация трубопровода из-за раскручивания соединений.

Кроме правильного выбора размеров и материала трубопроводов, решающим фактором в обеспечении экономичной работы системы питания сжатым воздухом является расположение трубопроводов (конфигурация системы трубопроводов). Сжатый воздух поступает систему от компрессора не непрерывным потоком, а по мере необходимости. При этом часто бывает так, что воздух расходуется потребителем в большом количестве лишь в короткие промежутки

времени. Все это может привести к сбою в работе системы питания. Поэтому основной линии питания рекомендуется придавать кольцевую форму, так как это обеспечивает относительное постоянство давления в магистрали питания.

Для того, чтобы ремонт и модернизация трубопроводов не нарушали работу всей системы питания, желательно с помощью запорных клапанов разделить ее на отдельные секции. Благодаря применению тройниковых соединений и трубопроводов с заглушками на концах появляется возможность, по мере надобности, подключения ответвлений для новых устройств, потребляющих сжатый воздух. Эти ответвления должны оборудоваться стандартными запорными кранами или обратными клапанами.

Различные функции системы подготовки сжатого воздуха (фильтрация, регулирование и смазка элементов пневмосистемы) могут выполняться отдельными элементами или одним устройством – блоком подготовки сжатого воздуха.

В современных пневматических системах подача смазки в сжатый воздух не всегда нужна. Это делается только в случае необходимости и, прежде всего, для смазки элементов исполнительной части системы. Влага, загрязнения и избыток масла могут привести к износу движущихся частей и уплотнений пневматических устройств. Из-за негерметичности соединений эти вещества могут вытекать наружу. И если не применять воздушный фильтр, то можно нанести вред обрабатываемым продуктам (например, в пищевой, парфюмерной и химической промышленности).

Выбор воздушного фильтра играет важную роль для обеспечения пневматической системы сжатым воздухом хорошего качества. Параметром фильтра сжатого воздуха является размер ширины ячейки фильтрующего элемента, от которого зависит размер наименьших частиц, задерживаемых фильтром. Собранный конденсат должен удаляться из отстойника прежде, чем он достигнет верхнего уровня, иначе конденсат вновь будет вовлекаться в движение потоком воздуха. При постоянном поступлении конденсата его целесообразно удалять автоматически, а не вручную. Однако и в этом случае также следует определить причины поступления конденсата. Например, неправильно проложенные трубопроводы могут служить причиной поступления конденсата в систему.

Автоматическое устройство для отвода конденсата содержит поплавков, который при достижении определенного предельного уровня конденсата открывает с помощью рычага сопло. Протекающий через сопло сжатый воздух, воздействует на поршень затвора седельного клапана, открывая канал для удаления конденсата из корпуса фильтра-влагоотделителя. Если поплавков достигает своего нижнего уровня, то сопло закрывается, и процесс сброса конденсата прекращается. При этом также возможно и ручное удаление конденсата из его накопителя.

Входящий в воздушный фильтр сжатый воздух протекает через направляющий аппарат, который приводит воздух во вращательное движение. Под воздействием центробежных сил частицы воды и твердые загрязнения выделяются из потока воздуха. Они устремляются к внутренней стенке корпуса фильтра. Предварительно очищенный воздух затем протекает через фильтрующий элемент. Здесь происходит дальнейшее отделение частиц загрязнений, размеры

которых больше, чем ширина ячеек фильтрующего элемента. В нормальных фильтрах размеры ячеек находятся в диапазоне 5...40 мкм.

Под степенью фильтрации фильтра понимается процент твердых частиц определенного размера, которые могут отделяться от потока воздуха. Например, степень фильтрации 99,99 % касается размеров частиц от 5 мкм. В фильтрах тонкой очистки могут отфильтровываться 99,999 % частиц величиной более 0,01 мкм.

При длительной эксплуатации установки фильтрующий элемент необходимо заменять, так как он может засориться отфильтрованными частицами. С увеличением степени загрязненности фильтра возрастает его сопротивление потоку газа. Поэтому потери давления на фильтре становятся больше. Для определения срока замены фильтра необходимо проводить визуальный контроль или измерение перепада давления на фильтре.

Периодичность замены фильтрующего элемента зависит от состояния сжатого воздуха, от количества воздуха, потребляемого пневматической системой, и от размеров фильтра. Обслуживание фильтра предполагает:

- замену или очистку фильтрующего элемента;
- удаление конденсата.

При выполнении работ по очистке фильтра должны использоваться чистящие вещества, рекомендуемые производителем фильтрующего элемента.

Давление сжатого воздуха, поступающего от компрессора, подвержено колебаниям. Эти колебания давления питания отрицательно сказываются на скорости движения цилиндров и на характеристиках переключения клапанов, дросселей, реле времени и распределителей с памятью.

Таким образом, постоянство давления питания является необходимым условием нормальной работы пневматических систем управления. Чтобы в пневмосистеме поддерживать постоянное давление питания, за фильтром сжатого воздуха (по течению потока) устанавливается регулятор давления (редукционный клапан), задачей которого является поддержание постоянного давления на выходе, несмотря на колебания давления и изменения расхода сжатого воздуха на входе. Установка в систему нескольких регуляторов давления позволяет независимо друг от друга поддерживать различные давления питания в отдельных ее частях. На практике установлено, что наилучшими и с экономической, и с технической точки зрения значениями давления питания являются:

- 600 кПа (6 бар) – для исполнительной части пневмосистемы;
- 300...400 кПа (3...4 бар) – для управляющей части.

Более высокий уровень давления приведет к неэкономичному расходованию энергии и ускорению износа элементов пневмосистем, тогда как более низкий уровень давления отрицательно скажется на эффективности работы пневмоэлементов и, прежде всего, элементов исполнительной части.

Давление на входе регулятора давления всегда должно быть больше, чем на выходе. Регулятор автоматически поддерживает давление на выходе с помощью мембраны. Выходное давление воспринимается мембраной, на которую с другой стороны воздействует пружина, а проходное поперечное сечение седельного клапана уменьшается или закрывается полностью. Седельный клапан открывается мембраной, и сжатый воздух может через разгрузочное и вентиля-

ционные отверстия в корпусе вытекать в атмосферу.

Если выходное давление упадет, то силой пружины клапан открывается. Таким образом, поддержание предварительно настроенного значения рабочего давления осуществляется за счет постоянного изменения проходного сечения седельного клапана, что вызывает изменение расхода протекающего через него сжатого воздуха и, как следствие, значения рабочего давления. Настройка выходного давления проводится путем изменения предварительного поджатия пружины с помощью регулировочного винта.

В современных пневмосистемах обычно в сжатый воздух масло не подается. Если подвижные части цилиндров, пневмомоторов и клапанов нуждаются во внешней смазке, то воздух предварительно обогащается маслом и подается только к тем элементам установки, которые нуждаются в смазке. Масло, попадающее в сжатый воздух из компрессора, не пригодно для смазки пневматических устройств.

Цилиндр с теплостойкими уплотнениями не должен работать с воздухом, обогащенным смазкой, так как консистентная смазка, заложенная в теплостойкие уплотнения при сборке, может вымываться маслом из цилиндра. Если системы, которые эксплуатировались на воздухе, обогащенном смазкой, переводятся на воздух без смазки, то необходимо обновить собственную оригинальную смазку цилиндров, пневмомоторов и клапанов, так как она могла быть вымыта в ходе эксплуатации.

Масло, попадающее в сжатый воздух из компрессора, нельзя использовать для смазки исполнительных устройств пневмосистем. При работе компрессора выделяется много тепла, масло обогащается углеродом, а его пары улетучиваются. Это вызывает ускоренный абразивный износ в цилиндрах и распределителях, в результате чего срок их службы значительно сокращается. Кроме того, масло, которое скапливается на внутренних поверхностях трубопроводов, вовлекается в движение потоком воздуха. Это вовлечение в движение скоплений масла не является контролируемым и может повышать загрязнение воздушных трубопроводов. Загрязненный изнутри маслом трубопровод уже не может быть очищен без его демонтажа.

Помимо этого, чрезмерное количество масла в воздухе способствует залипанию элементов пневмосистемы после некоторого времени ее бездействия (например, после выходных и праздничных дней). После включения системы, загрязненные маслом, элементы могут вначале давать сбой в работе.

Масло, предназначенное для смешения со сжатым воздухом, должно подаваться только в снабжаемую им часть пневмосистемы. Для этого маслораспылитель лучше всего устанавливать непосредственно перед нуждающимися в смазке устройствами. Для управляющей части системы должны выбираться самосмазывающиеся элементы, т. е. элементы, которые способны функционировать без жидкостной смазки. Поэтому основное правило гласит: предпочтительнее использование пневмосистем, которые работают на сжатом воздухе, не обогащенном жидкой смазкой.

Размеры блока подготовки воздуха определяются величиной расхода воздуха. При большем расходе воздуха возникают большие потери давления в элементах системы. Поэтому, безусловно, необходимо соблюдать рекоменда-

ции изготовителя, касающиеся технических характеристик блока.

Рабочее давление не должно превышать значения, допустимого для блока подготовки воздуха. Температура окружающей среды не должна превышать 50 °С, т. е. максимального значения температуры, допустимого для корпусов, изготовленных из пластмасс.

Вопросы для контроля

1. Совокупность каких устройств включает пневмопривод?
2. Какие сжатые газы применяются в пневмоприводах?
3. Чем осуществляется регулирование давления в системе?
4. Перечислите особенности пневматического привода, его достоинства и недостатки.
5. Изобразите принципиальную схему аккумуляторного питания пневмосистем.

Тема 2. Исполнительные устройства и выходные приборы пневматических систем

Ключевые вопросы темы

1. Пневматические цилиндры с поступательным движением выходного звена.
2. Пневматические цилиндры с вращательным движением выходного звена.
3. Поворотные пневматические цилиндры.
4. Пневматические моторы.

Ключевые понятия: исполнительное устройство, пневмоцилиндр, поршень, шток, пневмомотор, пневматический индикатор, оптический индикатор.

Литература: [2, с. 26–66].

Методические рекомендации:

Исполнительные устройства предназначены для преобразования энергии сжатого воздуха в работу. Сигнал на перемещение исполнительного устройства вырабатывается логико-вычислительной подсистемой и передается ему через управляющий распределитель. Исполнительные устройства относятся к выходным элементам пневматической системы. К выходным элементам относятся также индикаторы – приборы, которые показывают состояние системы управления или ее исполнительных устройств.

Пневматические исполнительные устройства разделяются на две группы – устройства с поступательным и с вращательным движением выходного звена:

- устройства с поступательным (линейным) движением:
 - цилиндры одностороннего действия;
 - цилиндры двустороннего действия;
- устройства с вращательным (ротационным) движением:
 - пневмомоторы;
 - пневмоцилиндры с вращательным движением выходного звена;
 - поворотные пневмоцилиндры.

В цилиндре одностороннего действия сжатый воздух воздействует на поршень только с одной стороны, с другой стороны полость цилиндра всегда соединена с атмосферой. Такой цилиндр может совершать работу только в одном направлении. Возврат поршня в исходное положение осуществляется под действием упругого элемента (обычно пружины) или внешней силы. Сила упругости встроенной в цилиндр пружины подбирается таким образом, чтобы поршень без нагрузки возвращался в исходное положение с относительно большой скоростью, приблизительно равной скорости рабочего хода при отсутствии нагрузки.

Ход цилиндров одностороннего действия со встроенной пружиной ограничен длиной пружины в свободном состоянии. Поэтому такие цилиндры имеют длину хода, равную примерно 80 мм. Благодаря простой конструкции цилиндры одностороннего действия применяются там, где нужны компактность и небольшие перемещения:

- подача заготовок;
- обрезка;
- соединение деталей;
- зажим заготовок;
- извлечение деталей;
- штамповка.

Поршни цилиндров одностороннего действия имеют всего одно уплотнение, обращенное рабочей стороной к поршневой полости, в которую подается сжатый воздух. Уплотнение изготавливается из упругого материала (пербунан), устанавливаемого в металлический или пластмассовый поршень. При движении уплотнения его кромки скользят по внутренней поверхности цилиндра, при этом воздух из штоковой полости свободно выходит в атмосферу через вентиляционное отверстие, защищенное фильтром или сетчатой крышкой от попадания загрязнений извне.

В мембранных цилиндрах в зависимости от их назначения применяются встроенные мембраны, выполненные из резины, пластмассы или металла. Шток поршня закреплен концентрично на мембране. Поскольку в мембранных цилиндрах отсутствуют трущиеся части, то силы трения в них минимальные. Такие цилиндры имеют совсем небольшой ход, и поэтому используются для зажима, тиснения и подъема деталей.

Конструкция цилиндра двустороннего действия аналогична конструкции цилиндра одностороннего действия. Однако здесь уже нет возвратной пружины, так как теперь два присоединительных отверстия используются для подвода воздуха к рабочим полостям цилиндра и его отвода. Цилиндр двустороннего действия позволяет совершать работу в двух направлениях движения штока. Это делает его более универсальным. При прямом ходе, когда шток цилиндра выдвигается, развиваемое им усилие несколько больше, чем при обратном ходе, когда шток втягивается, так как площадь поршня, на которую действует сжатый воздух со стороны поршневой полости, больше, чем со стороны штоковой полости, на величину площади поперечного сечения штока.

Чтобы избежать сильных ударов поршня о крышки цилиндра и поломки цилиндра в случае перемещения больших масс, применяют демпфирование в

конечных положениях. На некотором расстоянии от упора демпфирующий поршень перекрывает отверстие, по которому воздух свободно выходит из полости цилиндра. Теперь воздух вытекает через очень маленькое отверстие, проходное сечение которого может изменяться с помощью регулировочного винта. При этом увеличивается сопротивление потоку воздуха и повышается давление перед поршнем. На последней (тормозной) части хода поршня его скорость значительно снижается. Однако при чрезмерном уменьшении сечения поршень может не дойти до крайнего положения. При значительных передаваемых усилиях и больших ускорениях движения поршня следует принимать дополнительные меры предосторожности. Для того, чтобы усилить эффект торможения, устанавливаются внешние тормозные демпферы.

Тандем-цилиндр представляет собой два цилиндра двустороннего действия с общим штоком, объединенные в одном корпусе. При одновременной подаче сжатого воздуха под оба поршня такой цилиндр развивает почти вдвое большее усилие, чем обычный цилиндр с таким же диаметром поршня и штока. Тандем-цилиндры применяются там, где при ограниченных поперечных размерах цилиндра (диаметре) необходимо развивать значительные усилия.

Цилиндр с проходным штоком поршня имеет шток с обеих сторон поршня, т. е. шток является проходным. В такой конструкции цилиндра улучшаются условия работы трущихся поверхностей поршня и штока, так как шток опирается на две опоры. Усилия, развиваемые цилиндром, являются одинаковыми в обоих направлениях движения. Проходной шток может быть полым и через него можно пропускать сжатый воздух. Кроме того, к нему можно присоединять вакуумные присоски.

Многопозиционные цилиндры состоят из двух или более цилиндров двустороннего действия. Цилиндры соединены соосно один с другим. Воздух может подаваться независимо в различные полости цилиндров, что обеспечивает выдвигание или втягивание отдельных цилиндров. При двух цилиндрах с различными ходами получается четыре различных конечных положения.

Сила давления пневматического цилиндра ограничена. Цилиндр, в котором формируется большая кинетическая энергия, называется ударным цилиндром. Большое значение кинетической энергии получается за счет повышения скорости поршня. Скорость поршня ударного цилиндра лежит в диапазоне 7,5... 10 м/с. Однако при большом ходе скорость движения штока значительно меньше. Поэтому при больших ходах ударные цилиндры не находят применения.

Цилиндр с вращательным движением выходного звена имеет большую энергию, создавая большую силу. В рассматриваемой конструкции этого типа цилиндров шток цилиндра двустороннего действия соединен с зубчатой рейкой, посредством которой он вращает зубчатое колесо, преобразуя линейное движение во вращательное. Диапазон поворота зубчатого колеса различен: от 45° до 360°. Вращательный момент зависит от давления, площади поршня и коэффициента преобразования пары рейка-шестерня и может достигать 150 Нм.

В поворотном цилиндре сила на выходной вал передается непосредственно через поворотную лопасть. Угол поворота может бесступенчато изменяться от 0° до почти 180°. Вращающий момент обычно не превышает 10 Нм.

При разработке бесштоковых цилиндров используется три различных принципа построения конструкции:

- ленточные или тросовые цилиндры;
- цилиндры с ленточным уплотнением продольного шлица цилиндрической трубы;
- цилиндры с магнитной муфтой.

По сравнению с обычным цилиндром двустороннего действия бесштоковый цилиндр обладает меньшей длиной конструкции. Случаи поломки штока поршня исключаются полностью. Бесштоковый цилиндр может применяться при больших ходах: вплоть до 10 м. Приспособления, нагрузка и другие устройства могут крепиться непосредственно на монтажной поверхности каретки или на внешних салазках.

Ленточный цилиндр передает силу от поршня на каретку с помощью охватывающей его ленты. При выходе из рабочего объема цилиндра лента проходит через уплотнения в крышках цилиндра. Очистительное устройство предназначено для того, чтобы никакие загрязнения не переносились лентой к направляющему ролику.

В цилиндре с ленточным уплотнением продольного шлица вдоль всей длины корпуса выполнен сквозной шлиц (прорезь). Внешняя сила передается на каретку, которая жестко соединена с поршнем. Это соединение осуществляется с помощью элемента, скользящего в шлице корпусной трубы цилиндра. Уплотнение шлица обеспечивается стальной лентой, которая прилегает к внутренней стороне шлица. Каждая полость цилиндра герметизирована своими уплотнениями, установленными на поршне. Между этими уплотнениями лента изгибается и проходит под элементом, соединяющим поршень с кареткой. Вторая лента уплотняет шлиц снаружи, что защищает цилиндр от попадания загрязнений извне.

Цилиндр с магнитной муфтой двустороннего действия состоит из цилиндрического корпуса, бесштокового поршня и подвижной внешней каретки, скользящей по внешней поверхности корпуса цилиндра, имеющей в поперечном сечении форму круга. На поршне и на каретке размещены постоянные магниты, взаимодействующие между собой, т. е. передача усилия для перемещения нагрузки от поршня к каретке осуществляется с помощью магнитной муфты. После подачи воздуха в полость цилиндра синхронно с поршнем перемещается каретка. Полость цилиндра выполнена герметичной и не имеет никаких подвижных уплотнений, граничащих с окружающей средой, что полностью исключает возможность утечек воздуха из цилиндра.

Цилиндр состоит из корпуса, глухой и сквозной крышек, поршня с уплотнениями, штока, уплотнения штока (сальник или манжета в сквозной крышке), направляющей втулки, грязесъемного кольца и соединительных деталей.

Корпус цилиндра обычно изготавливается из цельнотянутой стальной трубы. Чтобы продлить срок службы уплотнений поршня, внутреннюю поверхность трубы подвергают механической обработке с достаточно высокой чистотой поверхности. В отдельных случаях корпус цилиндра может быть изготовлен из алюминия, бронзы или стали с хромированием внутренней поверхности. Такие цилиндры применяются при нерегулярном режиме работы и в тех случа-

ях, когда есть опасность коррозии.

Глухая и сквозная крышки цилиндра обычно изготавливаются литьем из алюминия или ковкого чугуна с последующей механической обработкой. Присоединяются они к корпусу с помощью резьбовых шпилек, фланцев или просто резьбы. Шток чаще всего изготавливается из закаленной стали с добавлением небольшого количества хрома против коррозии. Резьба на конце штока обычно накатывается во избежание появления трещин и изломов.

Для уплотнения по штоку в сквозной крышке цилиндра устанавливается манжета из упругого материала. Втулка, служащая направляющей для штока, может быть изготовлена из бронзы или металла с пластиковым покрытием. Перед втулкой в сквозную крышку вставлено грязесъемное кольцо, которое предотвращает попадание внутрь цилиндра пыли и мелких твердых частиц. Складывающийся защитный кожух в промышленных пневмоцилиндрах общего назначения обычно не используется.

Способ крепления цилиндра зависит от места его размещения в конструкции машины или установки. Цилиндр может иметь постоянное крепление, если нет необходимости изменять его в ходе эксплуатации. Но оно может быть выполнено и по модульному принципу, позволяющему в случае необходимости изменять способ крепления. Это в значительной степени облегчает складирование и хранение цилиндров, особенно когда они необходимы в больших количествах. При этом используется базовая конструкция цилиндра и все детали его крепления.

Установка цилиндра и присоединение нагрузки к штоку должны производиться в полном соответствии с условиями его применения, поскольку нагружать цилиндр можно только в осевом направлении.

При передаче усилия от цилиндра к машине или другой установке возникают напряжения в корпусе и штоке цилиндра, которые обычно рассчитывают без учета несоосности деталей. При плохом сопряжении деталей цилиндра или их несоосности могут возникнуть нагрузки «нерасчетного» характера, которые вызывают:

- ускорение износа кромок направляющей втулки из-за возрастания контактных напряжений;
- увеличение контактных напряжений в направляющих штока;
- увеличение и неравномерное распределение напряжений на уплотнениях поршня и штока;
- увеличение изгибающих напряжений в штоке, особенно в цилиндрах с большим ходом.

Внешние характеристики цилиндра могут рассчитываться теоретически или на основании технических данных изготовителя. Возможно применение обоих методов, но в общем случае для некоторых исполнений цилиндров и условий их применения расчет по техническим данным изготовителя предпочтительнее.

Развиваемое цилиндром усилие зависит от давления сжатого воздуха, подаваемого в его полости, диаметра поршня и сил трения в элементах уплотнения. На практике важно знать эффективную силу на штоке цилиндра. При ее расчете принимается во внимание сопротивление силы трения. При нормаль-

ных эксплуатационных условиях – давление питания в диапазоне 400 ... 800 кПа (4 ... 8 бар) – сила трения может приниматься в размере около 10 % от теоретической силы на поршне.

Длина хода штока обычных пневмоцилиндров, как правило, не превышает 2 м, а у бесштоковых цилиндров длина хода каретки достигает 10 м. При значительном ходе штока возникающие в нем и его направляющей втулке напряжения могут оказаться слишком большими. Чтобы избежать опасности продольного изгиба штока, следует для больших ходов выбирать и больший диаметр штока.

Скорость движения поршня в пневматическом цилиндре зависит от нагрузки, давления сжатого воздуха, подаваемого в цилиндр, длины и эффективного сечения трубопроводов между цилиндром и управляющим распределителем, а также от расхода воздуха, поступающего от распределителя. Кроме того, на скорость поршня влияет демпфирование в конце хода.

Средняя скорость поршня стандартных цилиндров колеблется в пределах 0,1 ... 1,5 м/с. В специальных цилиндрах (ударных) она может достигать 10 м/с. Скорость поршня при необходимости можно уменьшить с помощью пневмодросселей за счет снижения расхода воздуха, вытекающего из полости цилиндра, а увеличить – за счет применения клапанов быстрого выхлопа.

Устройства, преобразующие энергию сжатого воздуха в механическую энергию непрерывного вращательного движения, называются пневматическими моторами. Пневмомотор с неограниченным углом поворота вала в настоящее время стал одним из широко используемых исполнительных устройств. В зависимости от типа конструкции различают:

- поршневые пневмомоторы;
- пластинчатые пневмомоторы;
- шестеренные пневмомоторы;
- динамические моторы (турбины).

Поршневые пневмомоторы подразделяются на радиально- и аксиально-поршневые. Выходной вал мотора приводится во вращение попеременно срабатывающими под действием сжатого воздуха поршнями. Для получения равномерного вращения выходного вала пневмомотора необходимо иметь несколько поршней. Мощность пневмомотора зависит от входного давления сжатого воздуха, числа поршней, длины их хода и скорости их перемещения.

Принцип действия радиально- и аксиально-поршневых моторов одинаков, только в первом случае возвратно-поступательное перемещение радиально расположенных поршней передается на вал через штоки с шарнирами на концах, а во втором случае аксиально расположенные поршни передают движение на вал через наклонный диск. Обычно давление подводится одновременно к двум или более (зависит от их общего числа) поршням, что обеспечивает более плавное вращение вала.

Направление вращения вала мотора может быть, как по часовой стрелке, так и против. Максимальная скорость составляет около 5000 об/мин; выходная мощность при нормальном уровне давления находится в пределах 1,5...19 кВт (2...25 л.с).

Благодаря своей простой конструкции и малому весу пластинчатые пнев-

момоторы используются в ручных пневмоинструментах. Их принцип работы похож на принцип работы пластинчатого компрессора.

Ротор такого мотора установлен с эксцентриситетом на подшипниках в цилиндрической камере. В роторе выполнены щели, в которых размещаются лопасти с возможностью перемещения в радиальном направлении. При вращении ротора лопасти под действием центробежной силы прижимаются к внутренней поверхности цилиндрической камеры, за счет чего обеспечивается уплотнение рабочих объемов мотора друг относительно друга. Скорость вращения ротора составляет 3000...8500 об/мин. Направление вращения также может быть, как по, так и против часовой стрелки, то есть они имеют возможность реверсирования. Выходная мощность составляет 0,1 ... 17 кВт (0,14 ... 24 л.с).

В шестеренных пневмомоторах крутящий момент на выходном валу создается за счет подачи воздуха под давлением в камеру с двумя находящимися в зацеплении зубчатыми колесами, одно из которых связано с выходным валом. Моторы такого типа используются там, где требуется высокая мощность (до 44 кВт = 60 л.с). Если используются прямозубые цилиндрические или геликоидальные зубчатые передачи, шестеренные моторы также могут быть реверсивными.

Турбинные моторы используются только там, где требуется небольшая мощность. Скорость вращения их вала очень высокая. Например, зубо-врачебная бормашина, оснащенная турбиной, обеспечивает скорость вращения 500 000 об/мин. Принцип работы турбинного мотора обратен принципу работы центробежного компрессора.

Характерными преимуществами пневмомоторов являются:

- непрерывная регулировка скорости и крутящего момента;
- небольшие размеры и вес;
- большой диапазон скоростей;
- защищенность от перегрузки;
- нечувствительность к загрязнениям, воде, высокой и низкой температуре;
- взрывобезопасность;
- простота обслуживания;
- реверсивность.

Пневматические индикаторы позволяют визуально определить операционное состояние пневмосистемы и служат для целей диагностики. Каждый цвет оптического индикатора несет определенную информацию о состоянии системы управления. Оптические индикаторы устанавливаются на панели управления, они показывают состояние и фактическую последовательность выполнения функций системой управления.

Вопросы для контроля

1. Чем отличаются двигатели возвратно-поступательного и вращательного движения?
2. Каким пневмодвигателем обеспечивается вращательное движение рабочего органа? Приведите его графическое обозначение в схемах.
3. Преимущества и недостатки дроссельного регулирования скорости ис-

полнительных механизмов.

4. Какие способы регулирования скорости рабочего органа существуют?

5. Опишите принцип действия радиально- и аксиально-поршневых моторов.

Тема 3. Пневматические распределители

Ключевые вопросы темы

1. Основные типы распределителей.

2. Расходные характеристики распределителей.

3. Надежность работы распределителей.

Ключевые понятия: пневмораспределитель, золотник, позиция покоя, исходная позиция, толкатель.

Литература: [4, с. 70–96].

Методические рекомендации:

Распределители – это устройства, предназначенные для пуска, останова и изменения направления движения потока сжатого воздуха. Условное обозначение распределителя дает информацию о числе линий (каналов) для прохода воздуха, числе позиций переключения и виде управления. Это изображение, однако, не дает представление о конструкции распределителя, а указывает только на его функциональные возможности.

За позицию покоя принимается позиция переключения распределителя с самодействующим возвратным устройством, например, пружиной, которую занимают подвижные части распределителя, если он не находится под воздействием сигнала управления. Исходной позицией называется позиция переключения, которую принимают подвижные части распределителя после его монтажа на установке и включения источников энергии (питания сжатым воздухом и (или) электрическим током) и с которой начинается выполнение предусмотренной программы (последовательности) переключений.

Конструкция распределителя оказывает существенное влияние на такие его характеристики, как срок службы, время переключения, усилие переключения, способ управления, виды присоединения к трубопроводам и размеры.

По конструктивному исполнению различают распределители с запорными элементами:

- клапанного (седельного) типа:
 - шариковые;
 - тарельчатые (плоские);
- золотникового типа:
 - с цилиндрическим золотником;
 - с плоским золотником;
 - с торцевым золотником.

В распределителях клапанного (седельного) типа каналы прохода сжатого воздуха открываются и закрываются посредством шариковых, тарельчатых, дисковых или конических запорных элементов, которые взаимодействуют с седлами соответствующей формы. Уплотнение по площади контакта запорного элемента с седлом обычно достигается за счет применения эластичных материалов в месте контакта. В клапанных (седельных) распределителях почти нет де-

талей, подверженных износу (отсутствуют пары трения), поэтому они имеют большой срок службы. Кроме того, они также нечувствительны к загрязнениям и могут работать в неблагоприятных условиях. Однако для переключения таких распределителей необходимо значительное усилие, чтобы преодолеть действие возвратной пружины или возвратного давления.

В распределителях золотникового типа отдельные каналы соединяются или разъединяются посредством цилиндрических, плоских или торцевых золотников.

2/2-распределитель имеет две линии подвода/отвода воздуха и две позиции переключения. В основном он используется как отсечной (запорный) распределитель, так как реализует только функцию перекрытия или открытия прохода воздуха через себя, не имея возможности в закрытом положении отводить воздух в атмосферу (в отличие от 3/2-распределителя).

С помощью 3/2-распределителя можно включать и выключать поток воздуха. 3/2-распределитель имеет три линии подвода/отвода воздуха и две позиции переключения. Дополнительный, по сравнению с 2/2-распределителем, выхлопной канал 3(R) позволяет отключать сигнал на выходе распределителя, соединяя его с атмосферой. В нормально закрытом распределителе в исходной позиции шариковый клапан под воздействием пружины перекрывает проток воздуха из линии питания 1(P) к выходному каналу 2(A). Канал 2(A) соединяется через отверстие в толкателе и канал 3(R) с атмосферой.

Под действием внешней силы толкатель нажимает на шарик клапана, преодолевая силу возвратной пружины и противодействующее давление сжатого воздуха. В состоянии включения канал 2(A) отсекается от выхлопного канала 3(R), сжимается возвратная пружина и шарик отходит от седла, открывая проток воздуха от канала питания 1(P) к каналу 2(A), и на выходе распределителя появляется пневматический сигнал. Если устранить воздействие на толкатель, распределитель вернется в исходное положение. В данном случае распределитель имеет ручное или механическое управление. Требуемое для переключения распределителя управляющее усилие зависит от значения давления питания, силы поджатия пружины и сил трения в распределителе. Это усилие ограничивает размеры распределителя, поскольку с ростом проходного сечения управляющее усилие также возрастает. Конструкция распределителя со сферическим клапанным затвором очень проста и компактна.

У нормально открытого 3/2-распределителя открыт проход сжатого воздуха из канала питания 1(P) в канал 2(A). В этом положении каналы 1(P) и 2(A) соединены между собой через канал в запорном элементе, тогда как последний, удерживаемый пружиной на седле, блокирует выхлопной канал 3(R). При воздействии на толкатель он сначала, вступая в контакт с запорным элементом, блокирует канал питания 1(P), а затем, отрывая запорный элемент от седла против силы действия пружины, открывает проход от канала 2(A) к выхлопному каналу 3(R). При снятии воздействия с толкателя сначала более мощная пружина запорного элемента без нарушения контакта его с толкателем сажает его на седло, блокируя канал 3(R), а затем пружина толкателя возвращает его в исходное положение, открывая проход от канала питания 1(P) к каналу 2(A).

Управление 3/2-распределителями может быть ручным, механическим

или пневматическим. Вид управления зависит от требований системы управления.

Конструкция 3/2-распределителя золотникового типа с двусторонним ручным управлением очень проста и компактна. Распределитель имеет две фиксированные позиции – открытую и закрытую. При смещении вручную золотника, имеющего вид втулки на трубопроводе, канал питания 1(P) соединяется с выходным каналом 2(A). При обратном переключении канал 2(A) сообщается с атмосферой через канал 3(R), сжатый воздух удаляется из системы. Такой распределитель используется для подключения питания пневмосистемы сжатым воздухом.

3/2-распределитель с пневматическим управлением имеет управляющий поршень и возвратную пружину. В позиции покоя распределитель нормально закрыт, так как канал питания 1(P) блокируется дисковым запорным элементом, а выходной канал 2(A) соединен посредством канала 3(R) с атмосферой. Распределитель переключается поступающим на его вход 12(Z) давлением сжатого воздуха, прикладываемым к управляющему поршеньку. При этом канал 1(P) соединяется с каналом 2(A). После снятия давления в управляющем канале 12(Z) распределитель возвращается под действием возвратной пружины в исходную позицию (позицию покоя). Клапан разъединяет каналы 1(P) и 2(A). Выходной канал 2(A) соединяется через канал 3(R) с атмосферой. 3/2-распределитель с односторонним пневматическим управлением и возвратной пружиной выполняется нормально закрытым и нормально открытым.

3/2-распределители непрямым управлением от рычага с роликом и с предварительным каскадом усиления позволяют уменьшить усилие управления. Распределители, имеющие каскад непрямого управления, называют распределителями с непрямым управлением, а элемент управления, осуществляющий функцию предварительного каскада усиления, – пилотным клапаном (или пилотным золотником). К пилотному клапану подводится давление питания. Если нажать на рычаг с роликом, то открывается пилотный клапан. Сжатый воздух воздействует на мембрану, которая перемещает тарельчатый запорный элемент главного клапана вниз. При этом происходит процесс последовательного переключения 3/2-распределителя: сначала прерывается соединение канала 2(A) с каналом 3(R), а затем канал 1 (P) соединяется с каналом 2(A). Возврат распределителя в исходное положение происходит после отпускания рычага с роликом. Благодаря этому закрывается пилотный клапан. Воздух из-под мембраны вытекает через каналы направляющей буксы толкателя пилотного клапана. Управляющий поршень главного клапана под действием возвратной пружины занимает исходное положение.

Конструкция этого распределителя позволяет применять его как в качестве нормально закрытого, так и в качестве нормально открытого распределителя. Она выполнена таким образом, что канал питания 1(P) и канал выхлопа 3(R) можно поменять местами, а управляющая головка с каналом 12(Z) может быть повернута на 180°.

Распределитель с управлением от ломающегося рычага включается только в том случае, если переключающий толкатель воздействует на ролик в одном определенном направлении. Распределитель устанавливается в качестве конеч-

ного выключателя для опроса положения втягивающегося и выдвигающегося штока цилиндра. При этом необходимо обратить внимание на то, что клапан при монтаже должен быть сориентирован таким образом, чтобы он включался только при желаемом направлении движения.

Конструкция этого распределителя также позволяет применять его как в качестве нормально закрытого, так и в качестве нормально открытого распределителя. Она выполнена таким образом, что канал питания 1(P) и канал выхлопа 3(R) можно поменять местами, а управляющая головка с каналом 12(Z) может быть повернута на 180°.

4/2-распределитель имеет 4 канала подвода/отвода воздуха и 2 позиции переключения. 4/2-распределитель выполняет такие же функции, как и комбинация двух 3/2-распределителей, один из которых должен быть нормально открытым, а другой – нормально закрытым. При одновременном воздействии на оба толкателя сначала перекрываются проходы между каналами 1(P) и 2(B) и между каналами 4(A) и 3(R). По мере дальнейшего перемещения толкателей уже вместе с клапанными запорными элементами против силы действия пружин открываются проходы между каналами 1(P) и 4(A) и между каналами 2(B) и 3(R).

После снятия управляющего воздействия на толкатели распределитель возвращается в исходное положение под действием возвратной пружины. 4/2-распределители используются для управления цилиндрами двустороннего действия.

Имеются также 4/2-распределители с односторонним пневматическим управлением и возвратной пружинкой, с двусторонним пневматическим управлением, с непрямым управлением от рычага с роликом. В качестве органа распределения в них могут использоваться плоские или цилиндрические золотники. Как правило, 4/2-распределители выполняют такие же функции, как и 5/2-распределители.

В распределителях с плоским золотником коммутация каналов подвода/отвода воздуха осуществляется на плоской поверхности с помощью скользящего по ней плоского запорного элемента. Запорный элемент приводится в движение управляющим поршнем, жестко соединенным с ним. Рассматриваемый распределитель имеет прямое двустороннее пневматическое управление. При снятии давления управления управляющий поршень вместе с запорным элементом остается в занятой им позиции до тех пор, пока новый сигнал управления не поступит с противоположного канала управления.

4/3-распределитель имеет 4 канала подвода/отвода воздуха и 3 позиции переключения. Примером такого распределителя может служить распределитель с плоским краном, оснащенный ручным или ножным (педальным) управлением. При повороте плоского крана с выполненными в нем проточками происходит соединение входных и выходных каналов между собой.

5/2-распределитель имеет 5 каналов подвода/отвода воздуха и 2 позиции переключения. Он используется в основном как управляющий элемент пневмосистем управления с цилиндрами двустороннего действия. Примером такого распределителя может служить распределитель с цилиндрическим золотником в качестве подвижного запорного элемента. Коммутация и перекрытие соответ-

ствующих каналов происходит при осевом смещении золотника. В отличие от распределителей с шариковыми и тарельчатыми запорными элементами, управляющее усилие в них, действующее на торец золотника со стороны сжатого воздуха или возвратной пружины, невелико из-за небольших сил сопротивления. Для управления распределителем с цилиндрическим золотником могут применяться все виды управления – ручное, механическое, пневматическое или электрическое. Для возвращения распределителя в исходное положение используются те же виды управления. Управляющее перемещение у золотниковых распределителей больше, чем у клапанных. Кроме того, в цилиндрических золотниках осложнено решение задачи уплотнения. Как говорят, уплотнение типа «металл по металлу» требует точной подгонки цилиндрического золотника к отверстию в корпусе или гильзе.

Зазор между золотником и корпусом должен быть в пневматическом распределителе, по возможности, меньше, так как иначе возможны слишком большие утечки. Фактическое значение радиального зазора находится в диапазоне 0,002...0,004 мм. Чтобы как-то снизить стоимость производства золотниковых пар, допустимый зазор несколько увеличивают, а золотник или корпус снабжают уплотнительными кольцами из упругого материала. Уплотнения в виде круглых колец или чашечных манжет могут устанавливаться на золотник, а круглые кольца в корпус. Во избежание повреждения уплотнений каналы распределителя располагают по окружности золотниковой втулки (корпуса).

5/2-распределители обычно устанавливаются в систему вместо 4/2-распределителей. 5/2-распределитель позволяет удалять воздух из рабочих полостей цилиндра по различным каналам выхлопа при выдвижении и втягивании штока. Функции управления 4/2- и 5/2-распределителей, в основном, одинаковые.

Распределитель с двусторонним пневматическим управлением золотникового типа может быть оснащен уплотняющим элементом в виде тарельчатого седельного клапана, имеющего относительно малый ход переключения. Тарельчатые седельные клапаны, размещенные на золотнике, соединяют канал 1(P) с каналом 2(B) или 4(A). А клапаны, размещенные на поршеньках, открывают или закрывают соответственно каналы выхлопа. Кроме того, рассматриваемый распределитель с обеих сторон имеет ручное управление.

5/2-распределитель с двусторонним пневматическим управлением обладает свойством памяти. Распределитель управляется путем попеременной подачи пневматического сигнала в каналы управления 14(Z) и 12(Y). Позиция переключения сохраняется и после снятия сигнала управления до тех пор, пока не будет подан сигнал управления с противоположной стороны распределителя.

5/3-распределитель имеет пять рабочих каналов подвода/отвода воздуха и три позиции переключения. С помощью таких распределителей можно останавливать поршень цилиндра двустороннего действия в любом месте по ходу штока. При этом в нейтральной позиции распределителя поршень цилиндра останавливается под действием кратковременного повышения давления, а движение поршня начинается со сброса давления в соответствующей полости цилиндра. Если сигнал управления отсутствует в обоих управляющих каналах, то золотник удерживается в нейтральной позиции с помощью центрирующих пружин.

жин.

При выборе распределителя пользователь прежде всего должен обратить внимание на потери давления и расход воздуха, пропускаемый пневматическим распределителем. Выбор распределителя определяется:

- объемом и скоростью поршня цилиндра;
- требуемой частотой переключений;
- допустимыми потерями давления.

Распределитель испытывается путем прогона через него воздуха в определенных направлениях. При этом измеряются входное и выходное давление воздуха. По измерениям массы прошедшего через распределитель воздуха определяют номинальный расход. Сведения о номинальном расходе распределителей можно найти также в каталогах изготовителей.

Надежность управления системой в определенной мере зависит от способа крепления концевых выключателей. Концевые выключатели должны конструироваться таким образом, чтобы обеспечивались их простая установка и присоединение. Это важно для точного определения положения штока цилиндра.

Кроме правильного выбора типа распределителей, на надежность работы системы влияет и их монтаж, от которого зависят характеристики переключения, безаварийная работа и возможность доступа для ремонта и обслуживания. Это относится как к распределителям, подводящим питание к цилиндрам, так и к распределителям, выполняющим логико-вычислительные или информационные функции.

Облегчению работ по обслуживанию и ремонту способствуют:

- нумерация элементов системы;
- установка оптических индикаторов;
- наличие полного комплекта документации.

Обычно распределители с ручным управлением, используемые для ввода сигналов, устанавливаются на пульте или панели управления. Поэтому удобно использовать сменные управляющие головки на корпусе базовой конструкции распределителя. Для выполнения широкого разнообразия вариантов ввода сигналов имеются самые различные конструкции управляющих головок.

Распределители в качестве управляющих элементов (усилителей мощности) определяют рабочие процессы пневматических исполнительных устройств. Основным требованием к управляющим распределителям, которые используются для управления исполнительными устройствами, является обеспечение быстрого реверса последних при подаче нового управляющего сигнала. Поэтому такие распределители должны располагаться, по возможности, вблизи исполнительных устройств, чтобы сократить длину трубопроводов, а следовательно, и время переключения самих устройств. В идеальном случае распределитель должен устанавливаться непосредственно на исполнительном устройстве, перемещениями которого он управляет, в результате чего сокращаются число промежуточных соединений и длина трубопроводов, а также значительно снижается время монтажа системы.

Вопросы для контроля

1. Какие элементы пневмопривода входят в простейшую схему возвратно-поступательного движения?
2. Приведите графическое обозначение в схемах 4/2-распределителя с односторонним пневматическим управлением и возвратной пружиной.
3. Какие основные правила составления принципиальных пневматических схем?
4. Приведите графическое обозначение в схемах 2/2-распределителя с односторонним пневматическим управлением и возвратной пружиной.
5. В каком случае включается распределитель с управлением от ломающего рычага?

Тема 4. Пневматические аппараты

Ключевые вопросы темы

1. Обратные клапаны.
2. Логико-вычислительные элементы.
3. Клапан быстрого выхлопа.
4. Запорный клапан.
5. Регуляторы расхода.
6. Клапаны давления.

Ключевые понятия: пневмоаппарат, обратный клапан, логический клапан, клапан быстрого выхлопа, регулятор расхода, дроссель, клапан давления, комбинированный клапан.

Литература: [8, с. 8–36].

Методические рекомендации:

Обратные клапаны – это устройства, позволяющие свободно протекать воздуху в одном направлении и закрывающие проход его в противоположном направлении. Конструкция обратного клапана такова, что давление за запорным элементом клапана действует в сторону, противоположную его рабочему перемещению, что увеличивает герметичность пары «запорный элемент-седло».

Собственно, обратные клапаны полностью перекрывают поток воздуха в одном из направлений. В противоположном направлении воздух протекает с минимальной потерей давления, то есть сопротивление клапана в этом направлении минимально. В качестве подвижного запорного элемента могут применяться шарики, мембраны, конические или плоские (тарельчатые, дисковые) запорные элементы.

Элементы, обладающие свойствами обратного клапана, могут выполнять логические операции над двумя входными сигналами, формируя выходной сигнал управления. В качестве элементов, осуществляющих логические операции, рассмотрим два типа клапанов, имеющих один выходной и два входных канала. Клапан двух давлений, реализующий логическую функцию «И», вырабатывает на выходе сигнал только при наличии обоих входных сигналов, а перекидной клапан, реализующий логическую функцию «ИЛИ», для получения выходного сигнала требует присутствия на входе хотя бы одного из двух сигналов. По функциональному назначению эти клапаны относятся к логико-

вычислительным элементам системы управления.

Клапан двух давлений (логическая «И»-функция) имеет два входных и один выходной каналы. Сжатый воздух проходит через клапан только в случае подачи сигнала на оба его входа. При подаче одного входного сигнала проход воздуха через клапан блокируется. Если сигналы появляются на обоих входах Х и У клапана, то последний из поданных сигналов проходит на выход. Если давление входных сигналов различно, то большее по значению давление прижимает подвижный элемент к упору, а на выход проходит сигнал с меньшим давлением. Клапан двух давлений используется главным образом для блокировки сигналов, реализации условий безопасности, контрольных функций и логических операций.

Перекидной клапан (логическая «ИЛИ»-функция) имеет также два входа, Х и У, и один выход А. Если сжатый воздух подается на вход Х, то подвижный элемент клапана прикрывает вход У, позволяя воздуху проходить на выход А. Если воздух следует на выход А от входа У, то запирается вход Х. При обратном течении сжатого воздуха, то есть когда воздух из полости цилиндра или от распределителя выпускается в атмосферу, подвижный элемент остается в положении последнего переключения и удерживается в нем давлением протекающего через клапан воздуха. Этот клапан также называют клапаном «ИЛИ». Если необходимо управлять цилиндром или управляющим распределителем по двум или более каналам управления, то следует установить один или несколько перекидных клапанов.

Клапан быстрого выхлопа используется для увеличения скорости перемещения поршня цилиндра при прямом или обратном ходе. Это сокращает время обратного хода цилиндра, что особенно важно для цилиндров одностороннего действия. За счет снижения сопротивления пневмолинии, в которой установлен клапан быстрого выхлопа, поршень цилиндра может двигаться практически с максимальной скоростью. При этом воздух сбрасывается в атмосферу через относительно большое выхлопное отверстие. Клапан имеет поочередно перекрываемые канал давления 1(Р) и атмосферный канал 3(Р), а также выходной канал 2(А).

Если давление подается на вход 1(Р), то подвижный запорный элемент закрывает выхлопной канал 3(Р). Сжатый воздух протекает от 1(Р) к 2(А). Если давление в канале 1(Р) снято, то воздух, поступающий из канала 2(А), перемещает подвижный запорный элемент в сторону канала 1(Р) и закрывает его. Удаляемый воздух может по кратчайшему пути свободно выходить в атмосферу. Линия сброса воздуха в атмосферу не должна иметь длинных или узких каналов. Целесообразно клапан быстрого выхлопа устанавливать в непосредственной близости от цилиндра.

Запорным краном называется устройство, которое непрерывно открывает или закрывает проток воздуха в обоих направлениях. В качестве запорных кранов широко используются вентили с шаровыми и дисковыми запорными элементами.

Регуляторы расхода предназначены для управления расходом сжатого воздуха. К регуляторам расхода в пневмоавтоматике относятся дроссели. Дроссель дозирует расход сжатого воздуха в обоих направлениях течения потока.

Дроссель, как правило, является регулируемым. Он применяется для управления скоростью движения штоков цилиндров. При этом следует обратить внимание на то, что дроссель не должен полностью закрываться.

Дроссель с обратным клапаном осуществляет дросселирование воздуха только в одном направлении. Обратный клапан закрывает проток воздуха в этом направлении и воздух может протекать лишь через регулируемое поперечное сечение дросселя. В обратном направлении воздух имеет свободный проход через открывающийся обратный клапан. Дроссели с обратным клапаном применяются для регулирования скорости поршней пневматических цилиндров. Они должны устанавливаться в непосредственной близости от цилиндров.

Различают два вида дросселирования при управлении цилиндрами:

- дросселирование в напорной линии;
- дросселирование в линии выхлопа.

При дросселировании в напорной линии дроссель с обратным клапаном устанавливается таким образом, что в цилиндр попадает дросселированный воздух. Удаление воздуха из цилиндра осуществляется свободно через обратный клапан, находящийся в линии выхлопа. При этом виде дросселирования даже при малых изменениях нагрузки на штоке, например, при срабатывании концевого выключателя, возникают значительные изменения скорости перемещения поршня. Снижение нагрузки в подвижных частях цилиндра (например, нагрузки от возвратной пружины в цилиндре одностороннего действия) вызывает ускорение поршня цилиндра. Поэтому дросселирование в напорной линии применяется при управлении цилиндрами одностороннего действия и цилиндрами малых объемов.

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

Применяя механически регулируемые дроссели с обратным клапаном, можно изменять скорость поршня цилиндра по ходу его движения. Регулируемым винтом настраивается основная скорость, а с помощью кулачка, который воздействует на роликовый рычаг механически регулируемого дросселя с обратным клапаном, изменяется поперечное сечение дросселя по ходу штока.

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

- регуляторы давления (или редуccionные клапаны);
- предохранительные клапаны;

- клапаны последовательности (или реле давления).

Задачей регуляторов давления является поддержание постоянного давления на выходе, несмотря на колебания давления на входе. При этом входное давление всегда должно быть больше требуемого выходного.

Предохранительные клапаны используются главным образом как устройства безопасности, защищающие пневмосистему от чрезмерного повышения давления. При достижении заданного максимального уровня давления на входе клапана он открывается и сбрасывает излишки сжатого воздуха в атмосферу. Клапан остается открытым до тех пор, пока давление не упадет до установленного значения, после чего он под действием пружины закрывается.

Клапаны последовательности действует по тому же принципу, что и предохранительный клапан, то есть при достижении на входе заданного значения давления, которое определяется настройкой пружины, клапан открывается. Воздух проходит через клапан от канала 1(P) к выходу 2(A), который открывается только после достижения заданного значения давления в канале управления 12(Z). Давление входного сигнала, воздействуя через мембрану, открывает пилотный клапан, который открывает проход воздуху из линии питания к основной мембране, связанной с главным клапаном. При перемещении главного клапана происходит соединение линии питания 1(P) с выходом 2(A). Клапан последовательности устанавливается в пневматической системе, в которой необходимо управление по давлению, т. е. сигнал на выполнение следующего шага поступает только после того, как давление в определенном месте системы достигает заданного значения.

Рассмотренные выше пневматические элементы могут объединяться в различные блоки, свойства и конструктивные особенности которых определяются применяемыми клапанами. Такие блоки называют комбинированными клапанами. Их условные графические обозначения представляют собой также комбинации обозначений, входящих в них элементов, соединенных друг с другом соответствующим образом.

Вопросы для контроля

1. Что представляет собой клапан давления?
2. Опишите принцип действия регулятора давления.
3. Каким образом можно изменять скорость поршня цилиндра по ходу его движения?
4. Опишите виды дросселирования при управлении цилиндрами.
5. С какой целью применяется клапан быстрого выхлопа?

Тема 5. Теоретические основы гидравлических систем

Ключевые вопросы темы

1. Состав гидроприводов.
2. Рабочие жидкости.
3. Вязкость, плотность, упругость рабочих жидкостей.
4. Требования к рабочим жидкостям.

Ключевые понятия: гидросистема; гидропривод; рабочая жидкость; вяз-

кость; плотность; гидроустройство; объемная упругость.

Литература: [6, с. 36–54].

Методические рекомендации:

Гидропривод – совокупность гидравлических устройств, предназначенных для приведения в движение механизмов и машин с помощью рабочей жидкости под давлением. Гидроприводы бывают двух типов: гидродинамические и объемные. В гидродинамических приводах используется кинетическая энергия потока жидкости. В объемных гидроприводах используется потенциальная энергия давления рабочей жидкости. По характеру движения выходного звена различают объемные гидроприводы вращательного, возвратно-поступательного и поворотного движения. По возможности регулирования различают гидроприводы регулируемые и нерегулируемые – с ручным и автоматическим регулированием, с замкнутой и разомкнутой циркуляцией рабочей жидкости.

К основному оборудованию объемного гидропривода относятся гидромашины (насосы и моторы), гидроаппаратура (гидрораспределители, гидроклапаны, регуляторы, делители потоков), очистители рабочей жидкости, теплообменники, гидробаки, гидроаккумуляторы, гидролинии и их элементы (трубопроводы и соединительная арматура). К вспомогательному гидрооборудованию относятся средства подпитки насоса, устройства для выпуска воздуха из гидросистемы (вентили, фильтры – сапуны), измерения расхода, давления, температуры, уровня рабочей жидкости и др.

Принцип действия гидропривода: насос засасывает жидкость из бака и нагнетает его в систему. Если распределитель перекрывает напорный трубопровод, то давление поднимается, увеличивается открытие переливного клапана и вся жидкость направляется через этот клапан снова в бак. В этом режиме вся энергия приводного двигателя преобразуется в тепло жидкости, дросселирующей через клапан.

При открытом распределителе жидкость только частично идет через клапан, основная ее часть проходит через гидрораспределитель и дроссельный регулятор на гидродвигатель (в данном случае – гидроцилиндр) с нагрузкой, перемещает нагрузку, совершая работу.

Жидкость поступает в одну из полостей гидроцилиндра, а из противоположной полости вытесняется в бак, при этом она проходит через фильтр и теплообменник. Изменяя открытие дросселя, регулируют скорость движения нагрузки, переключая распределитель, изменяют направление движения нагрузки.

Преимущества и недостатки гидроприводов рассматривают в сравнении с электрическими, механическими и пневматическими приводами, но в основном в сравнении с электрическими. Определяются достоинства (и недостатки) гидропривода свойством его рабочего тела – жидкостью. Жидкость – текучая, несжимаемая среда, которая может дробиться на отдельные потоки в любой пропорции. Главным преимуществом гидропривода является его большая мощность в расчете на единицу собственного веса или, как говорят, большая удельная мощность. Для типовых гидродвигателей этот показатель в 5–10 раз больше, чем для типовых электродвигателей.

Особенно существенно то, что возможности повышения удельной мощности гидроприводов, в отличие от электроприводов, теоретически не ограничены. Возможности приводов определяются «съёмом» усилия с одного квадратного сантиметра рабочей поверхности двигателя.

Для гидропривода это усилие равно рабочему давлению и составляет 100, 200, 300, 500, 700 атмосфер. С совершенствованием конструкции эта цифра будет расти. Для типовых же электродвигателей уже при съёме с одного квадратного сантиметра поверхности ротора тангенциальной величина усилия в 15 кг обычно предельная и дальнейший рост усложняется. Правда, использование редкоземельных материалов в электродвигателях существенно улучшает их характеристики, но и повышает стоимость таких электродвигателей.

Существует несколько преимуществ гидропривода, являющихся следствием главного преимущества: малые габариты, удобство компоновки гидропривода на машине, высокое быстродействие, высокая точность. Другое важнейшее преимущество гидропривода – регулируемость скорости гидродвигателя в широком диапазоне, в том числе и осуществление реверса.

В гидроприводе очень просто реализуется прямолинейное движение: за счет использования гидроцилиндров, а также предохранение от перегрузок. Гидропривод имеет высокие энергетические показатели, надежен, долговечен, хорошо сочетается с электронными средствами управления, имеет другие преимущества.

К недостаткам гидропривода относят сравнительно большую сложность, стоимость, высокие требования к технологической культуре производителей и потребителей, сложность коммуникаций (трубопроводов), в отдельных случаях повышенный шум, вибрацию, пожароопасность.

Области применения гидроприводов напрямую связаны с их преимуществами и недостатками. Малый вес при большой мощности имеет решающее значение на любой мобильной технике: от кораблей и самолётов до автомобилей, строительно-дорожной, сельскохозяйственной техники и колесных роботов, и манипуляторов.

Широко используется гидропривод в энергетике, машиностроении вообще и станкостроении, в частности; на лесозаготовительных машинах, в горнодобывающем оборудовании и др. Гидроприводы применяются в военной технике, космонавтике, медицине и проч. Область использования гидравлических устройств постоянно расширяется, обеспечивая эффективность, комфорт, повышение качества жизни.

Рабочая жидкость (РЖ) является рабочим элементом гидропривода, она передает усилие, движение, энергию от одной части гидропривода к другой. В этом состоит главная функция РЖ. Так как РЖ является важнейшим элементом гидросистемы, то все ее свойства отражаются и на характеристиках системы. Главное свойство – это текучесть. Именно оно и используется в гидромашинах для транспортирования энергии по каналам различной конфигурации, обеспечивая гибкость в преобразовании параметров движения.

Но и другие свойства РЖ весьма важны, так как с ними связаны конкретные конструктивные решения гидроустройств и систем, их характеристики и области применения. Перечислим некоторые из них: плотность, упругость, вяз-

кость, растворимость газов (воздуха), смазывающие и химические свойства, токсичность, радиационная стойкость, прочность, диапазон рабочих температур. Все эти и многие другие свойства РЖ необходимо принимать во внимание при проектировании гидроустройств. На статических, динамических, энергетических характеристиках устройств, приводов и систем в первую очередь сказываются вязкость жидкости и ее упругие свойства.

Как известно, вязкость – это способность жидкости сопротивляться сдвиговой деформации, вязкость – свойство, противоположенное текучести. Чем больше вязкость жидкости, тем больше тратится энергии на трение при ее движении, а значит, больше потери мощности в гидросистеме. Это, – с одной стороны. Но, с другой, – с увеличением вязкости уменьшаются утечки жидкости по зазорам (из рабочих зон), а значит, уменьшаются потери энергии из-за этого фактора. Вязкость определяет и смазывающие свойства жидкости: без смазки работа гидроустройств невозможна.

Вязкость неодинакова у различных жидкостей и весьма сильно зависит от температуры. Переменность вязкости – отрицательный фактор, так как вносит нестабильность в характеристики гидроустройств, в их регулируемость. При макромоделировании гидроустройств вязкость учитывается через коэффициент утечек и через коэффициент трения. Эти параметры можно задавать как постоянные (если работа системы происходит при постоянной температуре) или в виде функций (если работа системы происходит при переменной температуре). Обычно в качестве РЖ применяют минеральные масла. Величина вязкости минеральных масел связана с длиной цепочки ее полимерной молекулы. В процессе эксплуатации эти цепочки постепенно рвутся и вязкость жидкости снижается. Считается, что допустимо снижение вязкости на 30 процентов от исходной. После этого жидкость в гидросистеме необходимо заменить.

Жидкость – малосжимаемая среда. Во многих расчетах ее сжимаемостью можно пренебречь. С другой стороны, при растяжении она практически не оказывает сопротивления и рвется с образованием воздушного пузыря. Упругие свойства жидкости характеризуются ее объемным модулем упругости. Модуль упругости жидкости зависит от многих факторов: примеси воздуха в жидкости, типа самой жидкости, скорости процесса деформации жидкости, уровня давления и др. В связи с изменением давления в широком диапазоне часто необходимо учитывать сжимаемость жидкости. При этом целесообразно рассматривать рабочую жидкость как газожидкостную смесь, так как в области давлений, близких к атмосферному и ниже, содержащийся в жидкости газ существенно влияет на значение внутрижидкостных напряжений. Газ в растворенном виде механических свойств жидкости не меняет, но интенсивно выделяется в местах пониженного давления по пути движения жидкости, а в этом виде он влияет на суммарную упругость жидкости, меняя характеристики привода.

Растворенный воздух, кроме того, окисляет (постепенно) жидкость, ухудшая ее рабочие свойства. От воздуха в гидросистеме стремятся освободиться. Из гидросистемы воздух удаляют через специальные пробки и клапаны. Возможны и другие меры (замкнутая циркуляция, разделители сред и т. п.).

При попытке растяжения столба жидкости давление сначала резко снижается, а затем столб разрывается с образованием газового пузыря. Можно счи-

тать, что разрыв происходит при давлении насыщенных паров, хотя на этот процесс влияет и наличие газа в жидкости. Это давление разное для разных жидкостей и зависит от температуры жидкости. Гидросистемы проектируют таким образом, чтобы вакуумметрическое давление в жидкости не опускалось ниже 0,3–0,5 атм.

Плотность жидкости практически постоянна и значительно уменьшается только при разрыве потока. Важным вопросом является зависимость плотности жидкости от температуры, а значит, и объема жидкости. Основными показателями, по которым подбирают жидкость для гидросистем, являются: вязкостно-температурные свойства, химическая и физическая стабильность, агрессивность к уплотнениям, совместимость с материалами гидропривода, рабочий диапазон температур, смазочная способность.

Желательно, чтобы рабочие жидкости не имели резкого запаха, были не токсичными, огнестойкими, обладали низкими облитерирующими свойствами, стойкими к радиации. По комплексу показателей наилучшими в настоящее время остаются минеральные масла, которые вырабатывают из нефти и улучшают присадками. Идет постоянная работа над совершенствованием искусственных, синтетических жидкостей (силиконы, диэфиры), но они дороги, токсичны, хотя пожаробезопасны и имеют неплохой индекс вязкости. Иногда используют эмульсии – водная основа + присадки. Эти жидкости негорючие, дешевы, но имеют плохие смазывающие свойства, способствуют коррозии.

Жидкие металлы и сплавы также иногда используются в качестве рабочих жидкостей. В этом случае приводы могут работать в зоне высоких температур (до 800 градусов). Недостатки таких жидкостей в том, что они дороги, агрессивны, требуют специальной уплотнительной техники и др.

Жидкости определяют специфику конструктивных форм гидроустройств. Ряд устройств построены при использовании упругих свойств жидкости: гидроружина, гидроаккумулятор, импульсный привод и т. д.

Такие свойства жидкостей, как плотность, сжимаемость и вязкость, при расчете гидроустройств и гидросистем необходимо учитывать в первую очередь, так как эти свойства определяют статические, динамические и энергетические характеристики гидросистем.

Вопросы для контроля

1. Совокупность каких устройств включает гидропривод?
2. Какие рабочие жидкости применяются в гидроприводах, работающих на открытом воздухе и в закрытых помещениях?
3. Как зависит вязкость рабочей жидкости от давления и температуры?
4. Какие сорта рабочих жидкостей следует применять зимой и летом?
5. Для чего служит насос?

Тема 6. Гидравлические машины и аппаратура

Ключевые вопросы темы

1. Назначение насосов и гидромоторов.
2. Гидроцилиндры.

3. Направляющие гидроаппараты.

4. Регулирующие гидроаппараты.

Ключевые понятия: гидронасос; гидромотор; гидроцилиндр; гидрораспределитель; гидроклапан: гидрозамок; дроссель; объемное регулирование; дроссельное регулирование.

Литература: [3, с. 20–44].

Методические рекомендации:

Насос предназначен для преобразования механической энергии приводного двигателя в энергию потока рабочей жидкости. В гидроприводах применяют шестеренные, лопастные, радиально- и аксиально-плунжерные и винтовые насосы. Гидромотор служит для преобразования энергии потока рабочей жидкости, развиваемой насосом, в энергию вращения выходного вала (исполнительного механизма машины). В гидроприводах машин наиболее часто применяют аксиально-плунжерные и радиально-плунжерные гидромоторы с регулируемым и нерегулируемым рабочим объемом.

Основными параметрами насоса и гидромотора являются рабочий объем, номинальное давление и частота вращения, производными – подача, мощность привода насоса, расход рабочей жидкости гидромотора и крутящий момент, а также полный КПД гидромашин.

Гидроцилиндры являются объемными гидродвигателями, предназначенными для преобразования энергии потока рабочей жидкости в механическую энергию выходного звена (штока или гильзы). Гидроцилиндры бывают одностороннего и двустороннего действия, поршневые с односторонним или двусторонним штоком и телескопические. Основными параметрами гидроцилиндров являются номинальное давление, диаметр цилиндра (поршня), диаметр и скорость хода штока.

Направляющая гидроаппаратура предназначена для изменения направления потока рабочей жидкости путем открытия или закрытия рабочего проходного сечения. К ней относятся гидрораспределители, делители потока, гидроклапаны (обратные, выдержки времени, последовательности, логические) и гидрозамки. С помощью направляющих гидроаппаратов осуществляют пуск, изменение направления движения и остановка исполнительных механизмов машины. Основными параметрами направляющих гидроаппаратов являются номинальный расход, номинальное давление и условный проход.

В конструкции распределителей предусматривают возможность управлять ручным электрическим, гидравлическим или электрогидравлическим устройствами. По числу золотников распределители бывают одно- и многозолотниковые, по числу позиций – двух-, трех- и четырехпозиционные, а в зависимости от числа внешних гидролиний – двух-, трех- и четырехлинейные. Управление гидродвигателями по параллельной, последовательной и комбинированной схемам обеспечивается секционными распределениями.

Делители потока предназначены для деления потока рабочей жидкости на две равные части с целью синхронизации движения исполнительных органов независимо от значения действующих на них нагрузок. Деление потока осуществляется двумя диафрагмами с равным проходным сечением. Их можно применять и для деления потока в любом соотношении потоков в отводах.

Обратные клапаны предназначены для пропуска рабочей жидкости только в одном направлении. При движении потока рабочей жидкости в обратном направлении проходное сечение клапана закрывается. Установка в гидроприводе машины обратного клапана исключает самопроизвольное опускание рабочего оборудования под воздействием внешней нагрузки, а также может служить элементом гидроавтоматики.

Гидрозамки предназначены для предотвращения самопроизвольного движения и для надежной фиксации рабочего органа машины. Обычно гидрозамки устанавливаются между гидрораспределителем и гидроцилиндром. Односторонние гидрозамки перекрывают одну гидролинию, а двусторонние – обе гидролинии, идущие от гидрораспределителя к гидроцилиндру.

Регулирующие гидроаппараты предназначены для изменения давления или расхода рабочей жидкости путем частичного открытия рабочего проходного сечения. К регулирующим гидроаппаратам относятся гидроклапаны предохранительные, редуционные, напорные, делители и сумматоры потока, гидродроссели.

Гидроклапаны давления различают напорные и редуционные, клапаны разности давлений, клапаны прямого и непрямого действия. По назначению напорные делятся на предохранительные и переливные.

Предохранительные клапаны для регулирования давления в гидросистеме устанавливаются в напорной гидролинии насоса (разгружающие насос) и в гидролинии после распределителя для ограничения максимального давления в полости гидродвигателя.

Редуционные клапаны с регулятором предназначены для поддержания установленного давления, сниженного по отношению к давлению, создаваемому насосом.

Регуляторы потока предназначены для поддержания установленной скорости перемещения рабочих органов независимо от нагрузки в гидросистеме. Регуляторы потока с предохранительным клапаном служат для регулирования скорости рабочих органов и предохранения гидросистемы от перегрузки.

Дроссели с обратными клапанами предназначены для направления потока рабочей жидкости в одном направлении и свободном пропуске его в другом направлении. В гидроприводе, когда два гидроцилиндра соединены параллельно и необходимо обеспечить одинаковые скорости выходных звеньев, синхронизация движения штоков гидроцилиндров осуществляется дросселями с одинаковым сечением отверстий.

В гидроприводе для автоматизации процессов применяются логические элементы «И», «ИЛИ», а также обратные клапаны, реле давления, клапаны последовательности, усилители, сумматоры и делители потока, реле времени. Автоматизация технологических процессов, оснащенных гидроприводом широко осуществляется с помощью регулирующей аппаратуры, снабженной приводом для изменения основных параметров и характеристик гидродвигателей.

Основными параметрами объемного гидропривода является давление и расход рабочей жидкости, а характеристиками – нагрузки, скорости гидродвигателей, мощность и потери. КПД и тепловой режим характеризуют работу объемного гидропривода. Дополнительными расчетными параметрами являются

ся максимальная мощность, крутящий момент, развиваемый гидромотором, и усилие на штоке гидроцилиндра. В гидроприводе могут применяться объемное и дроссельное регулирование скорости гидродвигателей.

Объемное регулирование скорости гидродвигателя осуществляется изменением подачи насоса или гидромотора в зависимости от рабочего объема. Рабочий объем может изменяться автоматически с помощью регулятора мощности или других управляющих устройств. Объемное регулирование скорости является наиболее эффективным в гидроприводах с регулируемыми насосами и гидромоторами, так как происходит без потерь на дросселирование потока. Аксиально-плунжерные насосы автоматически обеспечивают постоянную мощность при изменении внешней нагрузки. При этом подача и давление обратно пропорциональны.

В схемах с насосами постоянной подачи скорость движения исполнительных механизмов регулируют изменением проходных сечений дросселей. Дроссельный способ регулирования менее эффективен при эксплуатации гидроприводов большой мощности. Для привода небольшой мощности нередко применяют дроссельное регулирование, при котором часть рабочей жидкости сливается в бак, а ее энергия переходит в тепло. Дроссели могут устанавливаться в напорной или сливной гидролинии.

Надежная работа гидропривода возможна в условиях оптимального теплового состояния. Основной причиной нагрева рабочей жидкости является наличие гидравлических сопротивлений, а также объемные и гидромеханические потери. Потери мощности в гидроприводе равны количеству тепла, выделяемого в гидроприводе в единицу времени.

По условиям приемлемости теплового режима в гидроприводе необходимо равенство перепада температур между рабочей жидкостью и окружающим воздухом в установившемся режиме и максимально допустимым перепадом, зависящего от площади теплообмена. Если суммарная площадь теплоотдающих поверхностей меньше требуемой, необходима установка теплообменника.

Расчет объемного гидропривода машин сводится к определению номинального давления, подачи (производительности) насоса, мощности привода насоса и КПД гидропривода. Пневмопривод по сравнению с гидроприводом имеет существенные отличия, например, использование в качестве рабочей среды сжатого воздуха, который требует предварительной подготовки перед подачей в пневмосистему. В системах автоматизации производственных процессов, при выборе типа привода следует руководствоваться достоинствами и недостатками гидравлических и пневматических систем.

Вопросы для контроля

1. Какая гидроаппаратура относится к направляющей? Чем руководствуются при выборе аппаратуры?
2. Выбор гидрооборудования в зависимости от климата эксплуатации.
3. Как обозначается умеренный, холодный и тропический климат эксплуатации аппаратуры?
4. Приведите зависимость для определения действительной производительности насоса.

5. Какие гидромашины применяются в системах с дроссельным регулированием?

Тема 7. Теоретические основы мехатронных систем

Ключевые вопросы темы

1. Понятие мехатроники.
2. Мехатронные объекты.
3. Кинематическая схема привода.
4. Структурная схема привода.

Ключевые понятия: мехатронная система; мехатронный объект; мехатронный модуль; мехатронный узел; мехатронность; мехатронные технологии.

Литература: [12, с. 6–24].

Методические рекомендации:

Мехатроника – область науки, посвященная анализу исполнительных состояний мехатронных объектов и функционального взаимодействия механических, энергетических и информационных процессов между ними и с внешней средой, а также синтезу мехатронных объектов. С другой стороны, мехатроника – область техники, обеспечивающая полный жизненный цикл мехатронного объекта.

Мехатронный объект синтезируется на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающими проектирование и производство качественно новых модулей, систем, машин с интеллектуальным управлением их функциональными состояниями (в том числе движениями).

На данный момент предлагается иерархия терминов мехатроники. В этой иерархии, термин «мехатронный объект» – это обобщающее понятие, которое включает в себя мехатронные систему, агрегат, модуль или узел.

К первому уровню относят мехатронный узел или мехатронный модуль. Мехатронный модуль – унифицированный мехатронный объект, имеющий автономную документацию и предназначенный, как правило, для реализации движений по одной координате. Примерами мехатронных модулей служат части станков – шпиндельная бабка, поворотный стол. В качестве модулей могут выступать двигатели, редукторы и т. п. Более сложные модули (автономные приводы) – мотор-редуктор, мотор-колесо, мотор-шпиндель, мотор-барабан и поворотный стол. Узел принципиально отличается от модуля тем, что он не унифицирован.

Второй уровень – агрегат (машина), включающий в себя несколько модулей, предназначенных для реализации заданных движений в условиях взаимодействия с внешней средой. Примеры агрегатов – промышленные роботы, станки с ЧПУ и т. д.

Третий уровень – мехатронная система, состоящая из нескольких агрегатов или агрегата и ряда отдельных модулей, т. е. из объектов одинаковых или разных низших уровней. Система – совокупность компонентов, каким-либо образом связанных между собой: подчиненных определенному отношению, зави-

симости или закономерности; действующих как одно целое. Она полностью отвечает этому определению как совокупность механических, электронных и управляющих компонентов, образующих синергетическое единство, действующее как одно целое. Пример мехатронных систем – гибкие производственные системы.

Термин «устройство» применяется как общее название для узла (модуля), агрегата (машины). Термин «прибор» относится к измерительным и регулирующим устройствам, предназначенным для получения и преобразования информации.

Мехатронные технологии – информационные технологии управления движением, т. е. реализация с помощью информационных технологий сложных законов исполнительных движений, которые по тем или иным причинам не могли быть реализованы с использованием традиционных технологий ранее. Например, интеллектуализация металлорежущих станков и достижения в области динамики резания позволяют с помощью данных технологий управлять различными видами колебаний, динамической характеристикой технологической системы, корректировать возникающие недостатки этой системы и т. д.

Важным является определение признаков мехатронности. Мехатронными объектами являются большинство современных электромеханических систем с управлением. Очень многие электронные объекты фактически являются мехатронными.

К объектам разной степени мехатронности или уровней интеграции можно отнести станки с ЧПУ, промышленные и специальные роботы, многие образцы авиакосмической, военной техники и автомобилестроения.

Мехатронными являются офисная техника (факсы, копиры), средства вычислительной техники (плоттеры, принтеры, дисководы), видеотехника (видеомагнитофоны), бытовая техника (стиральные, швейные, посудомоечные и др. машины-автоматы), нетрадиционные транспортные средства (электровелосипеды, грузовые тележки, электророллеры, инвалидные коляски), тренажеры для подготовки пилотов и операторов, шоу-индустрия (системы звукового и светового оформления).

Мехатронность объектов – динамическое явление, формируемое в процессе их эволюционного развития и совершенствования. Отсюда и различная степень интеграции компонентов и уровня их интеллектуализации.

К полностью мехатронным относят объекты, в которых реализована максимально возможная степень интеграции в сочетании с наивысшим уровнем интеллектуализации. В настоящее время большей частью применяют мехатронизированные объекты, чем в значительной мере и определяется настоящий период развития мехатроники.

Методологической основой разработки мехатронных систем служат методы параллельного проектирования (concurrent engineering methods). При традиционном проектировании машин с компьютерным управлением последовательно проводится разработка механической, электронной, сенсорной и компьютерной частей системы, а затем выбор интерфейсных блоков.

Парадигма параллельного проектирования заключается в одновременном и взаимосвязанном синтезе всех компонент системы. Внешней средой для ма-

шин рассматриваемого класса является технологическая среда, которая содержит основное и вспомогательное оборудование, технологическую оснастку и объекты работ. При выполнении мехатронной системой заданного функционального движения объекты работ оказывают возмущающие воздействия на рабочий орган. Примерами таких воздействий могут служить силы резания для операций механообработки, контактные силы и моменты сил при сборке, сила реакции струи жидкости при операции гидравлической резки.

Внешние среды делят на два основных класса: детерминированные и недетерминированные. К детерминированным относятся среды, для которых параметры возмущающих воздействий и характеристики объектов работ могут быть заранее определены с необходимой точностью для проектирования мехатронных систем. Некоторые среды являются недетерминированными по своей природе (например, экстремальные среды: подводные, подземные и т. п.). Характеристики технологических сред, как правило, могут быть определены с помощью аналитико-экспериментальных исследований и методов компьютерного моделирования.

Например, для определения сил резания при механообработке проводятся экспериментальные исследования на специальных установках, параметры вибрационных воздействий измеряют на вибростендах с последующим формированием математических и/или компьютерных моделей возмущающих воздействий. Однако для проведения таких исследований, как правило, требуются слишком сложные и дорогостоящие аппаратура и измерительные технологии. Так для предварительной оценки силовых воздействий на рабочий орган на операции роботизированного удаления облоя с отливок необходимо контролировать их форму и размеры. В таких случаях целесообразно применять методы адаптивного управления, которые позволяют автоматически корректировать закон движения рабочих органов мехатронных систем непосредственно в ходе выполнения операции.

Первичным признаком мехатронных систем является наличие трех обязательных частей – механической (электромеханической), электронной и компьютерной, связанных энергетическими и информационными потоками. Электромеханическая часть включает механические звенья и передачи, рабочий орган, электродвигатели, сенсоры и дополнительные электротехнические элементы (тормоза, муфты). Механическое устройство предназначено для преобразования движений звеньев в требуемое движение рабочего органа. Электронная часть состоит из микроэлектронных устройств, силовых преобразователей и электроники измерительных цепей.

Сенсоры предназначены для сбора данных о фактическом состоянии внешней среды и объектов работ, механического устройства и блока приводов с последующей первичной обработкой и передачей этой информации в устройство компьютерного управления.

В состав компьютерного устройства обычно входят компьютер верхнего уровня и контроллеры управления движением. Устройство компьютерного управления выполняет следующие основные функции:

- управление процессом механического движения мехатронного модуля или многомерной системы в реальном времени с обработкой сенсорной информации;
- организация управления функциональными движениями мехатронной системы, которая предполагает координацию управления механическим движением мехатронной системы и сопутствующими внешними процессами;
- взаимодействие с оператором через интерфейс в режимах автономного программирования (off-line) и непосредственно в процессе движения мехатронной системы (on-line);
- организация обмена данными с периферийными устройствами, сенсорами и другими устройствами системы.

Задачей мехатронной системы является преобразование входной информации, поступающей с верхнего уровня управления, в целенаправленное механическое движение с управлением на основе принципа обратной связи.

Особенность мехатронного подхода к проектированию заключается в интеграции в единый функциональный модуль двух или более элементов возможно даже различной физической природы. Соответственно на стадии проектирования из традиционной структуры машины исключается как минимум один интерфейс при сохранении физической сущности преобразования, выполняемого данным модулем.

В идеальном для пользователя варианте мехатронный модуль, получив на вход информацию о цели управления, будет выполнять заданное функциональное движение с допустимой погрешностью. Аппаратное объединение элементов в единые конструктивные модули обязательно сопровождается разработкой интегрированного программного обеспечения.

Программные средства обеспечивают непосредственный переход от замысла системы через ее математическое моделирование к управлению функциональным движением в реальном времени.

Применение мехатронного подхода при создании машин с компьютерным управлением определяет их основные преимущества по сравнению с традиционными средствами автоматизации:

- относительно низкую стоимость благодаря высокой степени интеграции, унификации и стандартизации элементов и интерфейсов;
- высокую точность сложных движений вследствие применения методов интеллектуального управления;
- высокую надежность, долговечность и помехозащищенность;
- конструктивную компактность модулей (вплоть до миниатюризации в микромашинах);
- улучшенные массогабаритные и динамические характеристики машин вследствие упрощения кинематических цепей;
- возможность комплексирования функциональных модулей в сложные системы и комплексы под конкретные задачи заказчика.

Вопросы для контроля

1. Перечислите классификационные признаки мехатронных устройств по конструктивным признакам.

2. Приведите примеры мехатронных преобразователей движения.
3. Что представляет собой серводвигатель и сервопривод?
4. Каковы достоинства и недостатки двигателей постоянного тока?
5. Объясните принцип работы и преимущества двигателей постоянного тока.

Тема 8. Проектирование и управление мехатронными модулями

Ключевые вопросы темы

1. Механические узлы мехатронных модулей.
2. Виды передач в мехатронных модулях.
3. Устройства управления мехатронных модулей.
4. Стандарт языков программирования ПЛК.
5. Понятие промышленной информационной сети.

Ключевые понятия: мехатронный модуль; передача; промышленный логический контроллер; язык программирования; промышленная информационная сеть.

Литература: [16, с. 20–54]

Методические рекомендации

Передача движения от двигателя к выходному звену мехатронного модуля может быть обеспечена с помощью различных преобразователей движения (передач), структура и конструктивные особенности которых зависят от типа двигателя, вида перемещения выходного звена и их расположения (компоновки).

Преобразователи движения предназначены для преобразования одного вида движения в другое, согласования скоростей и вращающих моментов двигателя и выходного звена.

Для преобразования движения используют зубчатые, червячные передачи, передачи с гибкой связью и передачи винт-гайка. Электродвигатели мехатронных систем в основном высокооборотные, рабочие скорости выходных звеньев мехатронных модулей сравнительно невелики, то для согласования скоростей используют понижающие передачи (редукторы): зубчатые цилиндрические и конические, червячные, планетарные и волновые. Тип преобразователя движения выбирают, исходя из сложности его конструкции, коэффициента полезного действия, люфта в передаче, габаритных размеров и массы, свойств самоторможения, жесткости, удобства компоновки, технологичности, долговечности, стоимости и т. п. Выбор преобразователя движения оказывает существенное влияние на характеристики мехатронного модуля.

Цилиндрическая передача предназначена для преобразования (изменения угловых скоростей и моментов) вращательного движения между валами с пересекающимися осями.

Планетарными называют передачи, содержащие зубчатые колеса, оси которых подвижны. Движение этих колес сходно с движением планет и поэтому их называют планетарными или сателлитами.

Простейшая планетарная передача состоит из центрального солнечного зубчатого колеса с наружными зубьями, центрального корончатого зубчатого

колеса с внутренними зубьями, сателлитов с внешними зубьями, которые входят в зацепление одновременно с солнечным и корончатым колесами, и водила, на котором расположены оси сателлитов.

Состоит из жёсткого неподвижного элемента – зубчатого колеса с внутренними зубьями, неподвижного относительно корпуса передачи; гибкого элемента – тонкостенного упругого зубчатого колеса с наружными зубьями, соединённого с выходным валом; генератора волн – кулачка, эксцентрика или другого механизма, растягивающего гибкий элемент до образования в двух (или более) точках пар зацепления с неподвижным элементом.

Число зубьев гибкого колеса несколько меньше числа зубьев неподвижного элемента. Число волн деформации равно числу выступов на генераторе. В вершинах волн зубья гибкого колеса полностью входят в зацепление с зубьями жёсткого, а во впадинах волн – полностью выходят из зацепления. Линейная скорость волн деформации соответствует скорости вершин выступов на генераторе, т. е. в гибком элементе существуют бегущие волны с известной линейной скоростью. Разница чисел зубьев жёсткого и гибкого колёс обычно равна (реже кратна) числу волн деформации.

Реечная передача предназначена для преобразования вращательного движения шестерни в поступательное движение рейки и, наоборот, поступательного движения рейки во вращательное движение шестерни. Основными звеньями реечной передачи являются шестерня и зубчатая рейка.

Червячные передачи применяют для передачи вращательного движения между валами, у которых угол скрещивания осей составляет 90° . Червячная передача – это зубчато-винтовая передача, движение в которой осуществляется по принципу винтовой пары. Ведущим является червяк, т. е. короткий винт с трапецеидальной или близкой к ней резьбой. Для облегчения тела червяка венец червячного колеса имеет зубья дугообразной формы, что увеличивает длину контактных линий в зоне зацепления.

Передачи с гибкой связью предназначены для передачи вращательного движения и преобразования поступательного во вращательное движение и наоборот вращательного в поступательное движение. К передачам с гибкой связью относят ременную, цепную, тросовую передачи.

Передача винт-гайка качения (шарики-винтовая передача) предназначена для преобразования вращательного в поступательное движение, и наоборот, поступательного во вращательное движение (при обеспечении отсутствия самоторможения). В винтовых шариковых парах между рабочими винтовыми поверхностями винта и гайки (иногда вкладыша) помещены стальные шарики.

Для обеспечения непрерывной циркуляции шариков концы рабочей части винтовой поверхности соединены возвратным каналом. Возвратный канал может представлять собой отверстие, просверленное в теле гайки и соединяющее начало первого витка с концом последнего витка резьбы, изогнутую трубку, концы которой вставлены в отверстия гайки, просверленные по касательной к поверхности резьбы, специальный вкладыш, который направляет шарики из впадин одного витка через выступ резьбы винта во впадину соседнего витка.

Электромеханические преобразователи – это класс устройств, созданных для преобразования электрической энергии в механическую, и наоборот. Ос-

новным видом электромеханического преобразователя является электродвигатель (электродвигатель).

В мехатронных модулях (ММ) применяют двигатели постоянного тока, синхронные и асинхронные двигатели переменного тока. Наиболее простым в управлении является двигатель постоянного тока, так как при постоянном значении магнитного потока регулирование момента производят только изменением величины тока.

Синхронный двигатель (иногда его называют вентильным) состоит из синхронной электрической машины, датчика положения ротора и электронного устройства управления.

Управление синхронным двигателем сложнее, поскольку при фиксированном значении магнитного потока, кроме регулирования величины тока, необходимо также регулировать величину пространственного угла, добиваясь получения требуемого значения момента.

Наиболее сложным в управлении является асинхронный двигатель. Управление им требует регулирования тока статора при поддержании постоянства магнитного потока и пространственного угла для получения максимального значения развиваемого момента.

По большинству других характеристик, и прежде всего по массогабаритным показателям, двигатели переменного тока превосходят двигатели постоянного тока.

При выборе двигателя постоянного тока необходимо учитывать его форму, так как она в значительной мере определяет геометрические параметры ММ. Форма двигателя зависит от конструкции якоря и вида встроенных датчиков. Известны три вида конструктивного исполнения якорей двигателей постоянного тока: классический, гладкий и малоинерционный. Вид якоря определяют по наличию на нем паза (классический) или отсутствию паза (гладкий) и выполнению якоря полым или дисковым (малоинерционный).

Технология непосредственного привода линейного двигателя обеспечивает значительно лучший подход к решению задач позиционирования. Данная технология предполагает прямое применение силы электромагнитного взаимодействия без использования ремня, шариковинтовой передачи или иного промежуточного звена. Линейный привод производит непосредственное линейное перемещение, а не преобразует вращательное движение в поступательное.

Самый простой способ описать устройство линейного двигателя – это представить двигатель вращения с постоянными магнитами, разрезанный вдоль и развернутый в плоскость. Традиционные линейные двигатели имеют именно такую конструкцию. Новые линейные двигатели, так называемые tubular linear actuator, имеют форм-фактор соленоида.

Любая машина, способная автоматически выполнять некоторые операции, имеет в своем составе контроллер – модуль, обеспечивающий логику работы устройства. Контроллер – это мозг машины. Естественно, чем сложнее логика работы машины, тем «умнее» должен быть контроллер.

Технически контроллеры реализуются по-разному. Это может быть механическое устройство, пневматический или гидравлический автомат, релейная или электронная схема, или даже компьютерная программа. Контроллеры, вы-

полненные на основе реле или микросхем с «жесткой» логикой, невозможно научить делать другую работу без существенной переделки. Очевидно, что такой возможностью обладают только программируемые логические контроллеры (ПЛК). Идея создания ПЛК родилась практически сразу с появлением микропроцессора, т. е. более 30 лет назад.

Программируемый логический контроллер, ПЛК – микропроцессорное устройство, предназначенное для управления технологическими процессами в промышленности и другими сложными технологическими объектами. Принцип работы ПЛК заключается в сборе сигналов от датчиков и их обработке по прикладной программе пользователя с выдачей управляющих сигналов на исполнительные устройства. Физически, типичный ПЛК представляет собой блок, имеющий определенный набор выходов и входов, для подключения датчиков и исполнительных механизмов.

Программируемый контроллер – это программно управляемый дискретный автомат, имеющий некоторое множество входов, подключенных посредством датчиков к объекту управления, и множество выходов, подключенных к исполнительным устройствам. ПЛК контролирует состояния входов и вырабатывает определенные последовательности программно заданных действий, отражающихся в изменении выходов. ПЛК предназначен для работы в режиме реального времени в условиях промышленной среды и должен быть доступен для программирования неспециалистом в области информатики.

Изначально ПЛК предназначались для управления последовательными логическими процессами, что и обусловило слово «логический» в названии ПЛК. Современные ПЛК помимо простых логических операций способны выполнять цифровую обработку сигналов, управление приводами, регулирование, функции операторского управления и т. д.

Основные функции, выполняемые ПЛК в системах управления – это управление, защита, измерение физических сигналов, отображение и регистрация технологических процессов. ПЛК является основным функциональным элементом современных АСУ ТП.

На заре своего появления ПЛК имели только бинарные входы, т. е. входы, значения сигналов на которых способны принимать только два состояния – логического нуля и логической единицы. Так, наличие тока (или напряжения) в цепи входа считается обычно логической единицей. Отсутствие тока (напряжения) означает логический ноль. Датчиками, формирующими такой сигнал, являются кнопки ручного управления, концевые датчики, датчики движения, контактные термометры и многие другие.

Бинарный выход также имеет два состояния – включен и выключен. Сфера применения бинарных выходов очевидна: электромагнитные реле, силовые пускатели, электромагнитные клапаны, световые сигнализаторы и т. д.

В современных ПЛК широко используются аналоговые входы и выходы. Аналоговый или непрерывный сигнал отражает уровень напряжения или тока, соответствующий некоторой физической величине в каждый момент времени. Этот уровень может относиться к температуре, давлению, весу, положению, скорости, частоте и т. д., словом, к любой физической величине.

Аналоговые входы контроллеров могут иметь различные параметры и возможности. Так, к их параметрам относятся: разрядность АЦП, диапазон входного сигнала, время и метод преобразования, несимметричный или дифференциальный вход, уровень шума и нелинейность, возможность автоматической калибровки, программная или аппаратная регулировка коэффициента усиления, фильтрация.

Особые классы аналоговых входов представляют входы, предназначенные для подключения термометров сопротивления и термопар. Здесь требуется применение специальной аппаратной поддержки (трехточечное включение, источники образцового тока, схемы компенсации холодного спая, и т. д.).

В сфере применения ПЛК бинарные входы и выходы называют обычно дискретными. Хотя, конечно, это не точно. Аналоговые сигналы в ПЛК обязательно преобразуются в цифровую, т. е. заведомо дискретную форму представления. Но в технических документах ПЛК любой фирмы вы встретите именно указание количества дискретных и аналоговых входов. Поэтому и далее мы сохраним устоявшуюся здесь терминологию.

Помимо «классических» дискретных и аналоговых входов-выходов многие ПЛК имеют специализированные входы-выходы. Они ориентированы на работу с конкретными специфическими датчиками, требующими определенных уровней сигналов, питания и специальной обработки. Например, блоки управления шаговыми двигателями, интерфейсы дисплейных модулей и т. д.

Входы-выходы ПЛК не обязательно должны быть физически сосредоточены в общем корпусе с процессорным ядром. В последние годы все большую популярность приобретают технические решения, позволяющие полностью отказаться от прокладки кабелей для аналоговых цепей. Входы-выходы выполняются в виде миниатюрных модулей, расположенных в непосредственной близости от датчиков и исполнительных механизмов. Соединение подсистемы ввода-вывода с ПЛК выполняется посредством одного общего цифрового кабеля (промышленной сети).

Без пользовательской программы ПЛК является бесполезной коробкой, поскольку обработка состояния входов в состояние выходов осуществляется с помощью программы. Поэтому, прежде чем использовать ПЛК, его нужно программировать. В 1979 г. в рамках Международной Электротехнической Комиссии (МЭК) была создана специальная группа технических экспертов по проблемам ПЛК, включая аппаратные средства, программирование, монтаж, тестирование, документацию и связь.

Первый вариант стандарта МЭК 61131 был опубликован в 1982 г. Ввиду сложности получившегося документа было решено разбить его на несколько частей. В настоящее время стандарт включает следующие части.

Часть 1. Общая информация.

Часть 2. Требования к оборудованию и тестам.

Часть 3. Языки программирования.

Часть 4. Руководства пользователя.

Часть 5. Спецификация сообщений.

Часть 6. Промышленные сети.

Часть 7. Программирование с нечеткой логикой.

Часть 8. Руководящие принципы применения и реализации языков ПЛК.

Третий раздел этого стандарта (МЭК 61131-3) посвящен языкам программирования ПЛК. Согласно ему, стандартными считаются пять языков программирования. Три графических:

- Ladder Diagram (LD, LAD, PKC) – язык релейной (лестничной) логики;
- Function Block Diagram (FBD) – язык функциональных логических блоков;
- Sequential Function Chart (SFC) – язык последовательных функциональных диаграмм;

и два текстовых языка:

- Instruction List (IL) – список инструкций (аппаратно-независимый низкоуровневый ассемблероподобный язык);
- Structured Text (ST) – Текстовый Паскалеподобный язык программирования.

Включение в стандарт пяти языков объясняется в первую очередь историческими причинами. Разработчики стандарта столкнулись наличием огромного количества различных вариаций похожих языков программирования ПЛК. Вошедшие в стандарт языки созданы на основе наиболее популярных языков программирования наиболее распространенных в мире контроллеров.

Текстовые языки программирования предназначены, в первую очередь, для программистов, а более простые, графические языки, доступны для понимания и применения любому инженеру или технологу. После принятия стандарта появилась возможность создания аппаратно-независимых библиотек. Это регуляторы, фильтры, управление сервоприводом, модули с нечеткой логикой и т. д. Наиболее удачные, отработанные востребованные библиотеки становятся коммерческими продуктами.

Все производители ПЛК соблюдают требования стандарта МЭК 61131-3. Специалист, прошедший обучение по программе, включающей стандарт МЭК 61131, сможет работать с ПЛК любой фирмы.

Промышленная сеть – термин АСУ ТП, под ним понимается сеть передачи данных, связывающая различные датчики исполнительные механизмы, промышленные контроллеры. Устройства используют сеть для:

- передачи данных;
- настройки, ввода в эксплуатацию и диагностики оборудования АСУ ТП;
- питания датчиков и исполнительных механизмов;
- передачи данных между датчиками и исполнительными механизмами, минуя центральный контроллер;
- связи между датчиками, исполнительными механизмами, ПЛК, и АСУ ТП верхнего уровня;
- связи между контроллерами и системами человеко-машинного интерфейса (операторскими системами).

Промышленные сети применяют для передачи данных кабели, оптоволоконные линии, беспроводную связь. Промышленные сети могут взаимодействовать с обычными компьютерными сетями, в частности использовать глобальную сеть Internet.

Часто промышленные сети называют «Полевая шина». Название «Полевая шина» происходит дословного перевода английского термина *fieldbus*. В настоящее время в профессиональной технической литературе применяется термин «Промышленная сеть», который является более адекватным переводом.

Промышленная сеть – это среда передачи данных, которая должна отвечать множеству разнообразных, а зачастую противоречивых требований.

Промышленная сеть – это набор стандартных протоколов обмена данными, позволяющих связать воедино оборудование различных производителей, а также обеспечить взаимодействие нижнего и верхнего уровней АСУ.

Промышленная сеть – это образ мысли инженера, определяющий конфигурацию и принципы построения системы.

Появлению промышленных сетей способствовал следующий фактор. Когда микропроцессоры и другие специализированные микросхемы стали достаточно дешевыми, стало целесообразным выделять в общей системе АСУ отдельные локальные задачи, решение которых поручать локальным контроллерам. Контур управления, таким образом, замыкается на нижнем уровне. Сеть же позволяет контроллерам в качестве аргументов для вычисления управляющего воздействия использовать переменные других контроллеров, обеспечивая связанность системы управления в целом. Такая архитектура существенно увеличивает производительность, надежность и масштабируемость систем. Кроме того, современные исполнительные механизмы, как правило, уже сами являются интеллектуальными и законченными «субъектами» промышленных сетей.

Все виды промышленных сетей можно классифицировать по следующим показателям:

- топология сети,
- объем информационного сервиса, предоставляемого сетью,
- способ доступа к физическому каналу передачи данных.

Наиболее распространенный тип сетевой топологии – это общая шина. Основное преимущество – простота и дешевизна, легкость переконфигурирования. Не боится отключения или подключения устройств во время работы. Хорошо подходит для сильно распределенных объектов. Имеет ряд «генетических» недостатков, а именно: присутствие в каждой точке сети общего трафика, опасность потери связи при одиночном обрыве канала связи или фатальном выходе из строя одного узла.

Наиболее распространенными стандартами промышленных информационных сетей являются:

- RS-485 – самая простая, дешёвая и широко распространённая промышленная сеть;
- Промышленный Ethernet;
- HART – сеть для аналоговых датчиков и их настройки;
- AS-Interface – дешёвая и помехозащищённая сеть для дискретных датчиков малой производительности;
- CAN – промышленная сеть для транспорта и машиностроения автоматики: CANbus, CANopen, DeviceNet;

– ProfiBus – промышленная сеть, международный стандарт, созданный с активным участием фирмы Siemens AG, содержащий ряд профилей, например: ProfiBus DP, ProfiBus FMS, ProfiBus PA.

Основой почти всех промышленных информационных сетей является интерфейс RS-485.

RS-485 – полудуплексный многоточечный последовательный интерфейс передачи данных. Передача данных осуществляется по одной паре проводников с помощью дифференциальных сигналов. Разница напряжений между проводниками одной полярности означает логическую единицу, разница другой полярности – ноль.

Вопросы для контроля

1. Перечислите классификационные признаки мехатронных модулей по конструктивным признакам.
2. Приведите примеры преобразователей движения.
3. Область применения речных передач.
4. Особенности применения планетарных передач.
5. Особенности применения волновых зубчатых передач.
6. Что такое программируемые логические контроллеры?
7. Что такое интеллектуальные мехатронные модули?

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практические занятия проводятся с целью формирования у студентов умений и навыков моделирования и расчета производственных установок.

Практические занятия по дисциплине «Пневматические, гидравлические и мехатронные системы» являются важной составной частью учебного процесса изучаемого курса, поскольку помогают лучшему усвоению курса дисциплины, закреплению знаний.

В ходе самостоятельной подготовки студентов к практическому занятию необходимо не только воспользоваться литературой, рекомендованной преподавателем, но и проявить самостоятельность в отыскании новых источников, связанных с темой практического занятия.

Тематический план практических (ПЗ) занятий представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Объем (трудоёмкость освоения) и структура ПЗ

Номер темы	Содержание практического (семинарского) занятия	Кол-во часов ПЗ	
		очная форма	заочная форма
1	Разработка пневматической установки для штамповки деталей	4	1
2	Разработка пневматического устройства для передачи деталей между конвейерами	4	1
3	Разработка пневматической системы управления	4	1

Номер темы	Содержание практического (семинарского) занятия	Кол-во часов ПЗ	
		очная форма	заочная форма
	загрузкой бункера		
4	Разработка пневматической системы управления поворотным столом	4	1
5	Расчет пневматического привода технологической машины	4	1
6	Разработка пневматического зажимного устройства для деталей	4	1
7	Разработка системы управления мехатронной передаточной станцией	4	2
8	Разработка пневматической системы управления прессом	4	2
Итого		32	10

Практическая работа № 1: Разработка пневматической установки для штамповки деталей.

Цель: получение практических умений и навыков по разработке принципиальной пневматической и электрической схемы установки для штамповки деталей.

Задание по практической работе: разработать принципиальную пневматическую схему и принципиальную электрическую схему производственной установки для штамповки деталей.

Примечание: схема установки для штамповки деталей и алгоритм ее работы определяются по согласованию студента с преподавателем.

Контрольные вопросы: зависят от конкретного вида установки для штамповки деталей и ее технологических параметров.

Методические рекомендации:

На специальном столе (рисунок 1) штампуются детали. Привод пуансона штампа производится от пневматического цилиндра. При нажатии на два кнопочных переключателя шток цилиндра выдвигается, в результате чего происходит выдавливание детали. При отпускании кнопок шток возвращается в исходное положение.

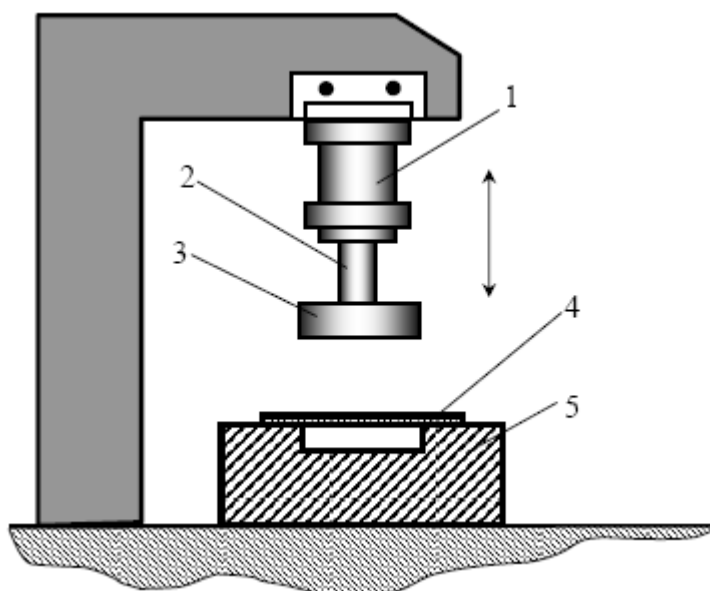


Рисунок 1 – Эскиз объекта управления
1 – пневматический цилиндр; 2 – шток; 3 – пуансон;
4 – заготовка (лист); 5 – матрица

Пример выполнения практической работы

При одновременном или последовательном нажатии на оба кнопочных переключателя S1 и S2 (рисунки 2, 3) замыкается электрическая цепь подачи тока на обмотку электромагнита Y1, при этом 3/2-(5/2) распределитель включается. Шток цилиндра одностороннего (двустороннего) действия выдвигается. При отпускании кнопок S1 и S2 цепь управления электромагнитом Y1 размыкается, и распределитель возвратной пружиной переключается в исходное положение. Шток цилиндра втягивается.

Следует помнить, что представленное описание является только реализацией логической функции «И», но не является примером безопасного управления двумя руками.

Перечень используемых элементов приведен в таблицах 4 и 5.

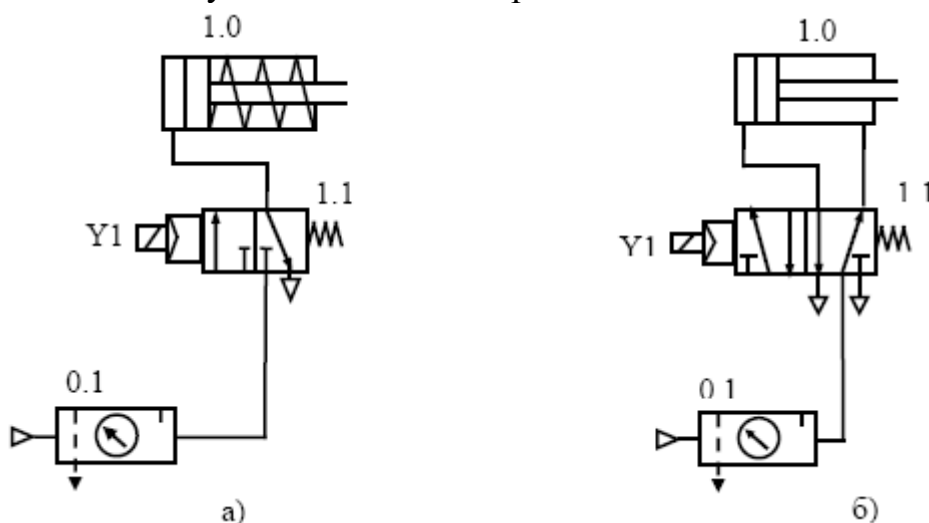


Рисунок 2 – Принципиальная пневматическая схема:
а – использование 3/2 распределителя и цилиндра одностороннего действия;
б – использование 5/2 распределителя и цилиндра двустороннего действия

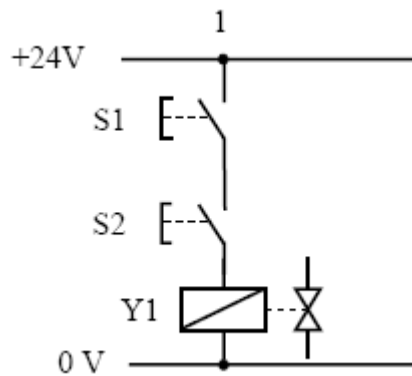


Рисунок 3 – Принципиальная электрическая схема

Задание для самостоятельного выполнения:

В целях обеспечения безопасности производства (например, если применение электрических систем запрещено), необходимо по заданному преподавателем условию задачи разработать схему установки для безопасной штамповки деталей, используя только пневматические элементы.

Таблица 4 –

Перечень элементов пневматической схемы

Маркировка	Наименование	Номер на схеме	Кол-во
ESN-25-50P	Цилиндр одностороннего действия	1.0	1
DSNN-25-100PPV-A	Цилиндр двухстороннего действия	1.0	1
FRC-1/8S	Блок подготовки воздуха	0.1	1
D.ER-MFH-3-3,3	3/2-распределитель с односторонним электромагнитным управлением, нормально закрытый	1.1	1
MFH-5-PK-3	5/2-распределитель с односторонним электромагнитным управлением	1.1	1

Таблица 5 –

Перечень элементов электрической схемы

Наименование	Количество
Панель ввода сигналов, электрическая	1
Панель индикаторов и коллектор, электрическая	1

Вопросы для контроля:

1. Какие основные параметры характеризуют электроприводы мехатронных систем?
2. Приведите примерные зависимости предельных значений мощности и момента на валу электродвигателя от скорости.
3. Поясните сущность комбинированного принципа управления электроприводом мехатронных систем.
4. Какие функции выполняет рабочая среда в пневмоприводе?
5. На чем основан мультипликационный эффект объемного гидропривода?

Практическая работа № 2: Разработка пневматического устройства для передачи деталей между конвейерами.

Цель: получение практических умений и навыков по разработке принципиальной пневматической и электрической схемы устройства для передачи деталей между конвейерами.

Задание по практической работе: разработать принципиальную пневматическую схему и принципиальную электрическую схему пневматического устройства для передачи деталей между конвейерами.

Примечание: схема устройства для передачи деталей и алгоритм работы определяются по согласованию студента с преподавателем.

Контрольные вопросы: зависят от конкретного вида устройства для передачи деталей и его технологических параметров.

Методические рекомендации:

С помощью передаточного устройства (рисунок 4) детали передаются с одного рольганга на другой. При нажатии на кнопочный переключатель рама передаточного устройства передвигается с линии одного рольганга на линию другого. При этом деталь передается с одного рольганга на другой, по которому она движется в противоположном направлении. При нажатии на другой переключатель рама возвращается в исходное положение.

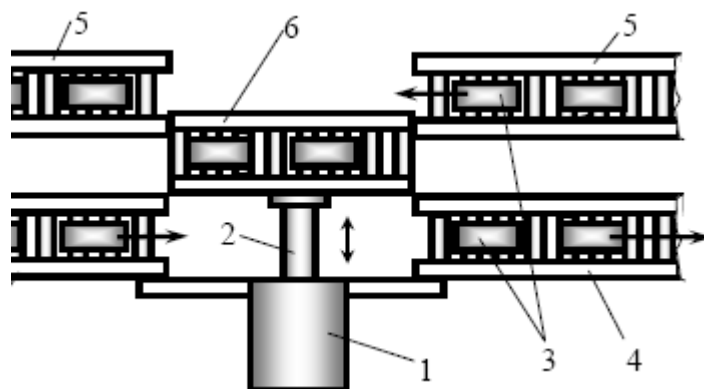


Рисунок 4 – Эскиз объекта управления:

1 – пневматический цилиндр; 2 – шток; 3 – перемещаемые детали; 4 – рольганг прямого направления; 5 – рольганг обратного направления; 6 – рама передаточного устройства

Пример выполнения практической работы

При нажатии на кнопочный переключатель S1 (рисунки 5, 6) замыкается электрическая цепь подачи тока на обмотку электромагнита Y1, который переключает 5/2-распределитель с двусторонним управлением. Шток цилиндра одностороннего (двустороннего) действия выдвигается. При отпускании кнопки S1 электрическая цепь электромагнита Y1 размыкается. При нажатии кнопочного переключателя S2 замыкается цепь подачи тока на электромагнит Y2, который переключает распределитель в исходное положение. Шток цилиндра втягивается. После отпускания кнопки S2 размыкается электрическая цепь электромагнита Y2. Перечень используемых элементов приведен в таблицах 6, 7.

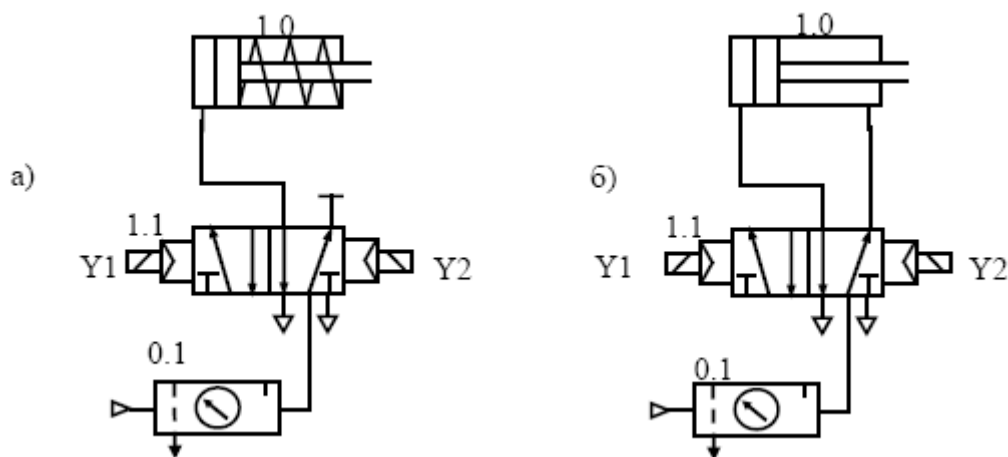


Рисунок 5 – Принципиальная пневматическая схема:

а – использование цилиндра одностороннего действия;

б – использование цилиндра двустороннего действия

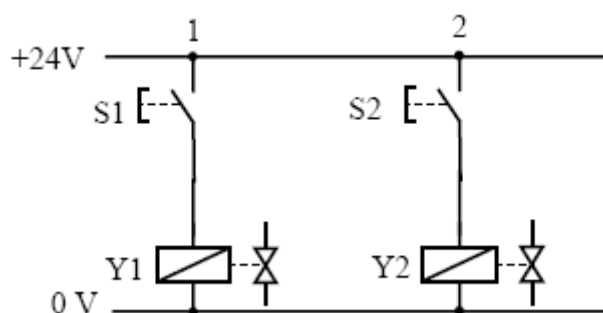


Рисунок 6 – Принципиальная электрическая схема

Таблица 6 –

Перечень элементов пневматической схемы

Маркировка	Наименование	Номер на схеме	Кол-во
ESN-25-50P	Цилиндр одностороннего действия	1.0	1
DSNN-25-100PPV-A	Цилиндр двухстороннего действия	1.0	1
FRC-1/8S	Блок подготовки воздуха	0.1	1
D.ER-IMFH-5-3.3	5/2-распределитель с двухсторонним электромагнитным управлением	1.1	1

Таблица 7 –

Перечень элементов электрической схемы

Наименование	Количество
Панель ввода сигналов, электрическая	1
Панель индикаторов и коллектор, электрическая	1

Задание для самостоятельного выполнения:

В целях обеспечения безопасности производства (например, применение электрических систем запрещено), необходимо по заданному преподавателем условию задачи разработать схему установки для передаточного устройства, используя только пневматические элементы.

Вопросы для контроля:

1. Какие параметры следящего привода с дроссельным управлением позволяют уменьшить ошибку слежения?
2. Каковы преимущества автономного электрогидравлического привода с объемно-дроссельным регулятором и цифровым управлением?
3. Назовите преимущества цифровым систем управления электроприводами мехатронных систем по сравнению с аналоговыми.
4. Назовите виды объемных приводов в зависимости от задачи управления.
5. Назовите три составные части следящего пневмопривода.

Практическая работа № 3: Разработка пневматической системы управления загрузкой бункера.

Цель: получение практических умений и навыков по разработке принципиальной пневматической и электрической схемы системы управления загрузкой бункера сыпучим материалом.

Задание по практической работе: разработать принципиальную пневматическую схему и принципиальную электрическую схему системы управления загрузкой бункера сыпучим материалом.

Примечание: схема системы управления загрузкой бункера сыпучим материалом и алгоритм ее работы определяется по согласованию студента с преподавателем.

Контрольные вопросы: зависят от конкретного вида системы управления загрузкой бункера сыпучим материалом и ее технологических параметров.

Методические рекомендации:

Сыпучий материал (рисунок 7) следует удалить из бункера. При нажатии на кнопочный переключатель бункер открывается, и материал из него высыпается. При нажатии на другой переключатель бункер снова закрывается. Открытием и закрытием створок бункера управляет пневматический цилиндр.

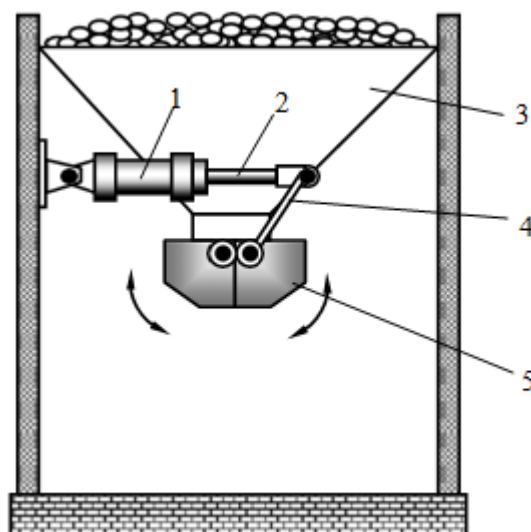


Рисунок 7– Эскиз объекта управления:

1 – пневматический цилиндр; 2 – шток; 3 – бункер; 4 – рычаг; 5 – ковш

Пример выполнения практической работы

При нажатии на кнопочный переключатель (рисунки 8, 9) S1 замыкается цепь подачи тока на обмотку реле K1. Контакты K1 замыкаются и пропускают ток на обмотку электромагнита Y1, который переключает 5/2-распределитель с двусторонним управлением. Шток цилиндра одностороннего (двустороннего) действия выдвигается. При отпускании кнопки S1 электрическая цепь реле K1, а за ней и цепь с электромагнита Y1 размыкаются.

Перечень используемых элементов приведен в таблицах 8, 9.

Задание для самостоятельного выполнения:

Для дозировки поступления шлама из бункера необходимо обеспечить любое фиксированное положение створок бункера. Необходимо разработать схему, удовлетворяющую данному условию, используя имеющиеся элементы.

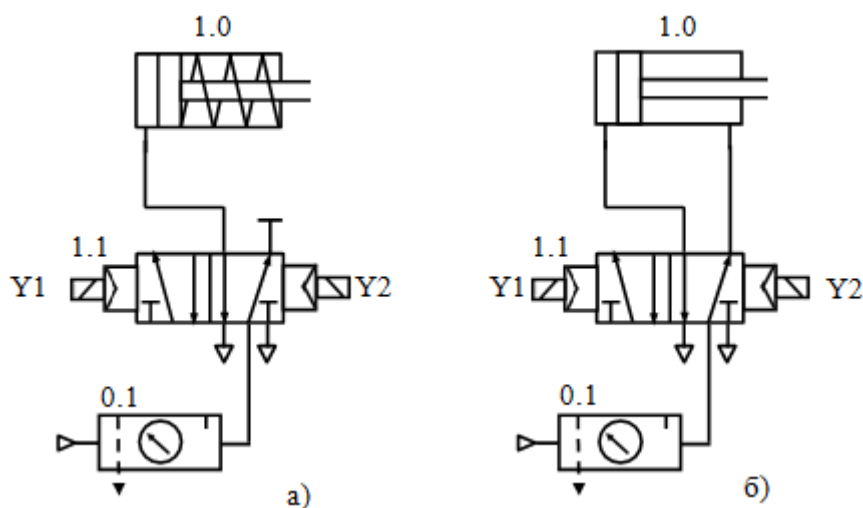


Рисунок 8 – Принципиальная пневматическая схема:
а – использование цилиндра одностороннего действия;
б – использование цилиндра двустороннего действия

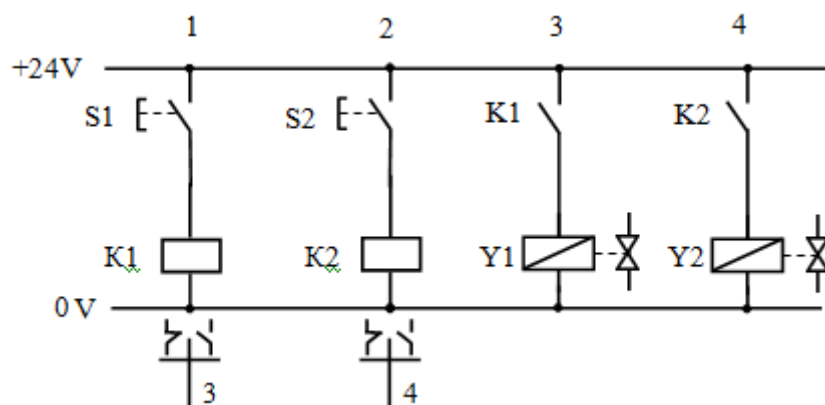


Рисунок 9 – Принципиальная электрическая схема

Таблица 8 –

Перечень элементов пневматической схемы

Маркировка	Наименование	Номер на схеме	Кол-во
ESN-25-50P	Цилиндр одностороннего действия	1.0	1
DSNN-25-100PPV-A	Цилиндр двухстороннего действия	1.0	1
FRC-1/8S	Блок подготовки воздуха	0.1	1
D.ER-IMFH-5-3.3	5/2-распределитель с двухсторонним электромагнитным управлением	1.1	1

Таблица 9 –

Перечень элементов электрической схемы

Наименование	Количество
Панель ввода сигналов, электрическая	1
Панель индикаторов и коллектор, электрическая	1
Панель с реле	1

Вопросы для контроля:

1. Что определяет постоянная времени электрического блока управления следящего привода?
2. Каким типовым динамическим звеньям соответствует передаточная функция исполнительного механизма объемного привода?
3. Каким требованиям должны удовлетворять рабочие жидкости гидрофицированного оборудования?
4. Какие законы управления используются в аналоговых системах управления электроприводов мехатронных систем?
5. Как влияет коэффициент демпфирования на качество переходного процесса в электроприводе мехатронных систем?

Практическая работа № 4: Разработка пневматической системы управления поворотным столом.

Цель: получение практических умений и навыков по разработке принципиальной пневматической и электрической схемы системы управления поворотным столом для перемещения продукции.

Задание по практической работе: разработать принципиальную пневматическую схему и принципиальную электрическую схему системы управления поворотным столом для перемещения продукции.

Примечание: схема системы управления поворотным столом для перемещения продукции и алгоритм ее работы определяется по согласованию студента с преподавателем.

Контрольные вопросы: зависят от конкретного вида системы управления поворотным столом для перемещения продукции и ее технологических параметров.

Методические рекомендации:

С помощью поворотного стола с фиксацией положения по углу поворота (рисунок 10) пластмассовые канистры перемещаются с одинаковым ша-

гом. При нажатии на кнопочный переключатель с фиксацией стол поворачивается с равным угловым шагом за счет возвратно-поступательного перемещения штока цилиндра, присоединенного к столу через кривошип. При повторном нажатии на переключатель движение прекращается.

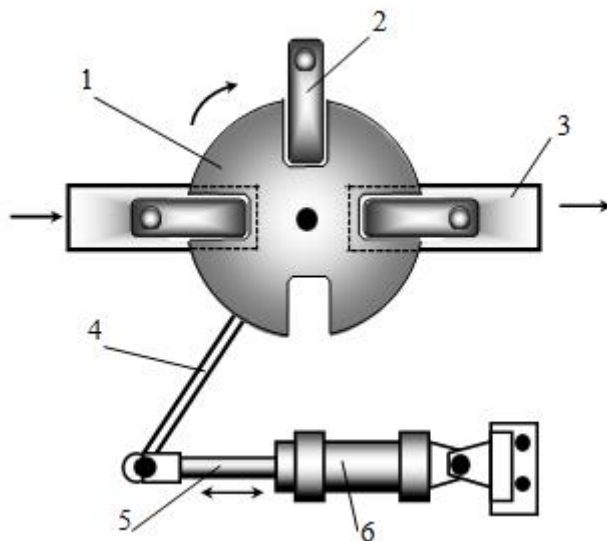


Рисунок 10 – Эскиз объекта управления

1 – поворотный стол с прорезями; 2 – канистра;
3 – подвижная площадка; 4 – кривошип; 5 – шток; 6 – цилиндр

Пример выполнения практической работы

При срабатывании выключателя S2 замыкается цепь подачи тока на обмотку реле K2, контакты K2 которого, замыкаясь, подают ток на электромагнит Y2, и 5/2-распределитель переключается в исходное положение. Шток цилиндра втягивается и в исходном положении снова нажимает на концевой выключатель S1.

С началом движения штока в обратном направлении концевой выключатель S2 отключается, размыкая электрическую цепь питания обмотки реле K2, после чего размыкается и цепь питания электромагнита Y2.

При возврате штока в исходное положение, благодаря НАЖАТОЙ кнопке S3 и срабатыванию выключателя S1, снова включается реле K1, замыкая цепь электромагнита Y1. 5/2-распределитель снова переключается, шток цилиндра опять начинает выдвигаться.

Перечень используемых элементов приведен в таблицах 10, 11.

Задание для самостоятельного выполнения:

Для предотвращения аварии необходимо прервать движение штока поворотного стола. Остановка штока должна происходить при нажатии кнопки «СТОП», с последующей световой сигнализацией об аварийной остановке. Помимо этого, необходимо знать, втянут или вытянут шток. Необходимо разработать схему, удовлетворяющую данному условию.

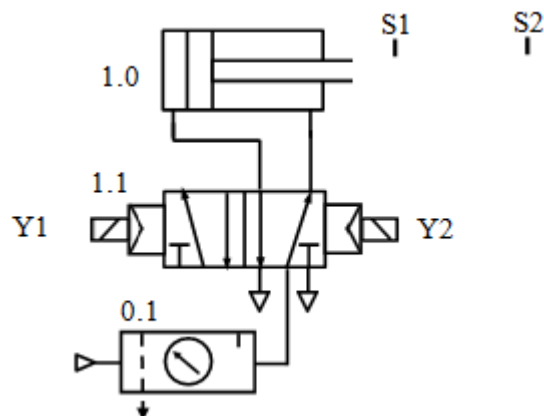


Рисунок 11 – Принципиальная пневматическая схема

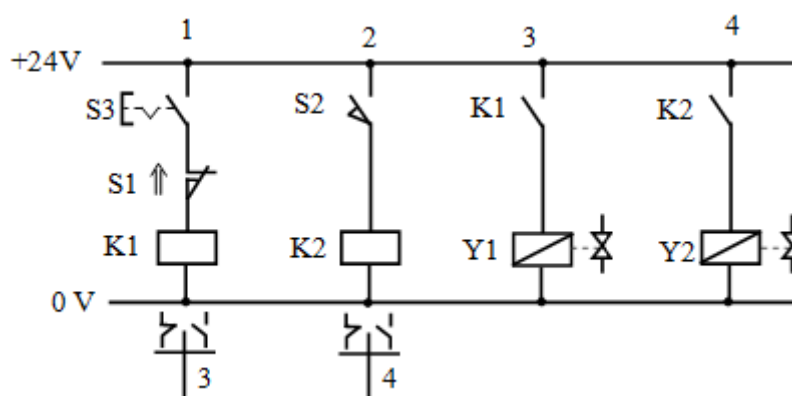


Рисунок 12 – Принципиальная электрическая схема

Таблица 10 –

Перечень элементов пневматической схемы

Маркировка	Наименование	Номер на схеме	Кол-во
DSNN-25-100PPV-A	Цилиндр двухстороннего действия	1.0	1
FRC-1/8S	Блок подготовки воздуха	0.1	1
D.ER-IMFH-5-3.3	5/2-распределитель с двухсторонним электромагнитным управлением	1.1	1

Таблица 11 –

Перечень элементов электрической схемы

Наименование	Кол-во
Панель ввода сигналов, электрическая	1
Панель индикаторов и коллектор, электрическая	1
Панель с реле	1
Концевой выключатель, электрический, с включением слева	1
Концевой выключатель, электрический, с включением справа	1

Вопросы для контроля:

1. Мехатронные технологические машины в машиностроении.
2. Уровни интеграции мехатронных систем.
3. Современные тенденции развития мехатронных систем.
4. Этапы проектирования мехатронных систем и модулей.

5. Схема процесса проектирования мехатронных систем.

Практическая работа № 5. Расчет пневматического привода технологической машины.

Цель: получить практические навыки расчета пневмопривода машины для порционирования пищевых продуктов.

Задание по практической работе: выполнить расчет динамики пневмопривода по значениям, выданным преподавателем.

Примечание: наименование, назначение и параметры машины определяются по согласованию студента с преподавателем.

Контрольные вопросы: зависят от конкретно выбранной машины и ее технологических параметров.

Методические рекомендации:

Для обоснования основных параметров необходимо выполнить математическое моделирование динамики пневмопривода. В общем случае это возможно сделать на основе системы нелинейных дифференциальных уравнений, решаемых численными методами.

Принципиальная схема пневмопривода мехатронного комплекса для порционирования пищевых продуктов приведена на рисунке 13.

К основным уравнениям динамики пневмодвигателя отнесены уравнения изменения давления в его камерах и уравнение движения режущего рабочего органа. Характер изменения давления в камере пневмодвигателя определяется интенсивностью подвода и отвода воздуха, а также и протекающими в этой камере термодинамическими процессами. При математическом моделировании сжатый воздух рассматривается как идеальный газ, давление и температура в напорной пневмолинии полагаются неизменными, а процессы в камере пневмодвигателя считаются квазистационарными.

Баланс энергии в камере пневмодвигателя определяется следующим выражением:

$$dQ_M = dU + dL + dQ_a .$$

Энергия dQ_M , подводимая к камере с поступающим в нее сжатым воздухом, расходуется на изменение внутренней энергии воздуха dU , а также на работу расширения dL . Кроме того, часть энергии dQ_a выделяется в окружающую среду с вытекающим из камеры воздухом.

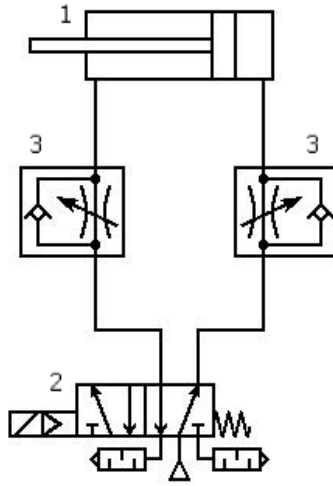


Рисунок 13 – Принципиальная схема пневматического привода:
1 – пневмодвигатель (пневмоцилиндр); 2 – пневмораспределитель;
3 – регулятор скорости

Заменим $dQ_M = i_M d\theta_M$; $dQ_a = i d\theta_a$; $dU = \theta du + u d\theta$; $dL = p dV$;
 $i_M = c_p T_M$; $i = c_p T$; $u = c_v T$, где θ_M, θ_a – массы втекающего и вытекающего из
камеры воздуха, θ – масса воздуха в камере, u – удельная внутренняя энергия
воздуха в камере, i_M, i – удельная энтальпия воздуха, поступающего в камеру
из напорной пневмолинии и вытекающего из камеры в атмосферу, p – давле-
ние воздуха в камере, V – объём камеры, c_p, c_v – теплоёмкость воздуха при по-
стоянном давлении и постоянном объёме, T_M, T – температура воздуха в напор-
ной пневмолинии и в камере.

С учётом замены запишем выражение (1) в следующем виде:

$$\begin{aligned} c_p T_M d\theta_M - c_p T d\theta_a = \\ = c_v \theta dT + c_v T d\theta + p dV \end{aligned}$$

Используя уравнение состояния воздуха $pV = \theta RT$, где R – газовая по-
стоянная для воздуха, получаем:

$$\theta dT = \frac{1}{R} (p dV + V dp + R T d\theta)$$

Подставим одно выражение в другое, заменив $c_p/c_v = k$ (k – показатель
адиабаты), $c_p - c_v = R$:

$$\begin{aligned} k R T_M d\theta_M - k R T d\theta_a = \\ = k p dV + V dp \end{aligned}$$

где $d\theta_M = G_M dt$, $d\theta_a = G_a dt$, G_M , G_a – расходы воздуха, втекающего в
камеру и вытекающего из нее, t - время.

Уравнение представим в следующем виде:

$$\dot{p} = \frac{k}{V} (G_M R T_M - G_a R T - p \dot{V})$$

Уравнение изменения температуры воздуха в полости получаем из выра-

жения, заменив $d\theta = (G_M - G_a)d\tau$, $\theta = \frac{pV}{RT}$:

$$\dot{T} = \frac{T}{V} \dot{V} + \frac{T}{p} \dot{p} - \frac{R}{pV} T^2 (G_M - G_a).$$

В случае $T = \text{const}$ выражение (5) принимает вид:

$$\dot{p} = \frac{1}{V} (G_M R T_M - G_a R T - p \dot{V}).$$

Для двустороннего пневматического цилиндра выразим объемы полостей через площади поршня, а также координаты его положения в цилиндре:

$$V_1 = (x_0 + x) F_1; V_2 = (x_0 - x) F_2,$$

где F_1, F_2 – площади поршня; x_0 – координата среднего (начального) положения поршня; x – текущая координата поршня, отсчитываемая от среднего положения вправо по оси абсцисс.

Пневматический привод режущего органа работает в цикловом режиме. Поршень перемещается от одного крайнего положения в другое, при этом полости пневмодвигателя соединяются пневмораспределителем поочередно то с напорной пневмолинией, то с атмосферой. Примем, что камера 1 пневмоцилиндра соединена с питающей линией пневмораспределителя, а камера 2 соединена с выхлопной линией. Поскольку в камере 2 идет процесс чистого опорожнения, процесс изменения её состояния описывается уравнением адиабаты. Кроме того, сделаем допущение о постоянстве температуры воздуха в камере.

Получим уравнения изменения давления в первой и второй камерах пневмоцилиндра:

$$\begin{aligned} \dot{p}_1 &= \frac{k}{x_0 + x} \left(\frac{f_{\text{э}}}{F_1} K p_1 \right), \\ \dot{p}_2 &= \frac{k}{x_0 - x} \left(-f_{\text{э}} \bar{K} \cdot \frac{\sqrt{R T_0}}{F_2} \cdot \frac{p_2^{(3k-1)/2k}}{p_M^{(k-1)/2k}} \cdot \frac{p_{\text{атм}}}{p_2} \cdot \varphi(\varepsilon) \right) - \\ &\quad - \frac{k}{x_0 - x} p_2 x, \end{aligned}$$

где k – показатель адиабаты; $f_{\text{э}}$ – эффективная площадь проходного сечения питающего и выхлопного отверстий пневмоцилиндра; $K = \bar{K} \sqrt{R T_0} = \sqrt{\frac{2k R T_0}{k-1}} \approx 760$ м/с; $\bar{K} = \sqrt{\frac{2k}{k-1}}$; p_M – давление воздуха в питающей пневмолинии; T_0 – температура воздуха в камерах; $\varphi(\varepsilon)$ – расходная функция; ε – отношение давлений воздуха за отверстием и перед отверстием,

$$\varphi(\varepsilon) = \sqrt{\varepsilon^{2/k} - \varepsilon^{(k+1)/k}} \quad \text{при } \varepsilon \geq \varepsilon_*;$$

$$\varphi(\varepsilon) = \varphi(\varepsilon_*) = 0,259 \quad \text{при } \varepsilon < \varepsilon_*.$$

Уравнение движения поршня и связанных с ним механизмов с предположением, что приведённая к штоку масса подвижных частей зависит от положения штока, выражается следующим образом:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{1}{2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 \frac{dm}{dx} = F_1 p_1 - F_2 p_2 - C_B \frac{dx}{dt} - P_{mp} \operatorname{sgn} \left(\frac{dx}{dt} \right) - P_C,$$

где m – приведённая к штоку масса подвижных частей пневмоцилиндра, включая режущий инструмент; C_B – коэффициент вязкого трения; P_{mp} – сила сухого трения; P_C – сила полезного сопротивления.

Таким образом, при допущении о постоянстве температуры воздуха в камерах пневмоцилиндра, приведенные выражения (являются математическим описанием динамики пневмоцилиндра).

Определим силу сопротивления при движении штока с режущим инструментом:

$$P_C = [F_1 p_1 - F_2 p_2] - \left[C_B \frac{dx}{dt} - P_{mp} \operatorname{sgn} \left(\frac{dx}{dt} \right) \right] - \left[m \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{1}{2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 \frac{dm}{dx} \right],$$

Очевидно, что сила сопротивления определяется рабочим усилием пневмодвигателя с учётом потерь на трение и инерции подвижных частей.

Режущим рабочим органом мехатронного комплекса является пластинчатый нож, который имеет перемещение в одном направлении, перпендикулярном режущей кромке. Нож характеризуется углом заточки и толщиной. Для повышения качества среза и повышения износостойкости инструмента режущей кромке пластинчатого ножа придается фасонная форма.

Усилие, необходимое для вдавливания ножа в продукт, должно уравновешиваться нормальными и касательными напряжениями на контактных прямых:

$$Q = 2 \tau_0 a \left[\frac{\gamma}{2} + \alpha + \frac{\cos \gamma}{\cos \frac{\gamma}{2}} \sin \left(\frac{\gamma}{2} + \delta \right) \right] \sin \frac{\gamma}{2},$$

где τ_0 – напряжение трения; δ – угол трения; a – длина контактного участка; γ – угол заточки ножа; α – угол, определяющий размер области с упругой деформацией (зависит от угла заточки ножа).

Полное усилие резания включает силу сопротивления скольжению:

$$P_C = 2 \tau_0 a \left[\frac{\gamma}{2} + \alpha + \frac{\cos \gamma}{\cos \frac{\gamma}{2}} \sin \left(\frac{\gamma}{2} + \delta \right) \right] \cdot \sin \frac{\gamma}{2} + k_C U_n S$$

где k_C – коэффициент сопротивления скольжению; U_n – скорость движения ножа; S – площадь боковых поверхностей ножа.

Далее получаем выражение для максимальной толщины пласта, разрезае-

мого ножом с пневматическим приводом:

$$a = \frac{[F_1 p_1 - F_2 p_2] - \left[C_B \frac{dx}{dt} - P_{mp} \operatorname{sgn} \left(\frac{dx}{dt} \right) \right]}{2 \tau_0 \left[\frac{\gamma}{2} + \alpha + \frac{\cos \gamma}{\cos \frac{\gamma}{2}} \sin \left(\frac{\gamma}{2} + \delta \right) \right] \sin \frac{\gamma}{2}} - \frac{\left[m \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{1}{2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 \frac{dm}{dx} \right] - k_C U_n S}{2 \tau_0 \left[\frac{\gamma}{2} + \alpha + \frac{\cos \gamma}{\cos \frac{\gamma}{2}} \sin \left(\frac{\gamma}{2} + \delta \right) \right] \sin \frac{\gamma}{2}},$$

На рисунках 14, 15 приведены график изменения скорости и ускорения рабочего органа, а также график изменения давления в пневмодвигателе и координаты рабочего органа пневматического привода.

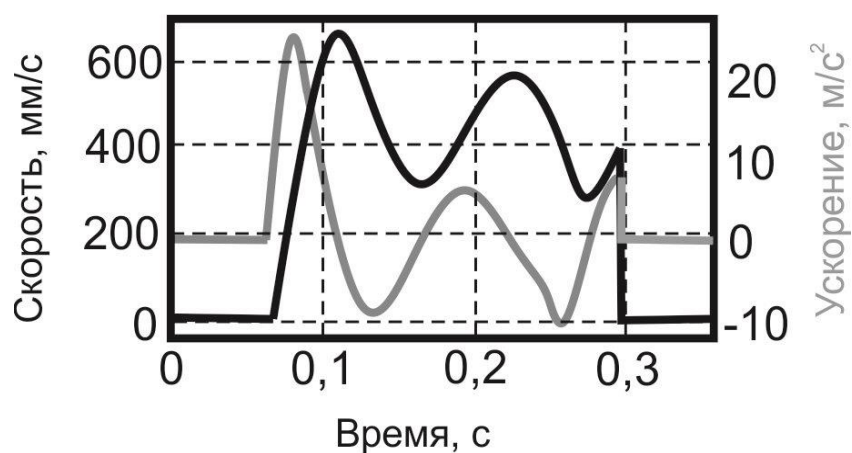


Рисунок 14 – График изменения скорости и ускорения рабочего органа пневматического привода

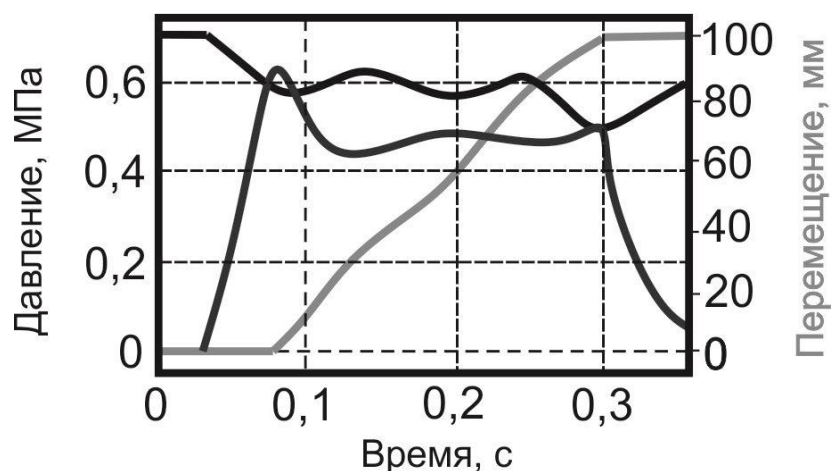


Рисунок 15 – График изменения давления в пневмодвигателе и координаты рабочего органа пневматического привода

Контрольные вопросы:

1. Какие способы резания пищевых продуктов используются в пищевой промышленности?
2. Какие виды режущих устройств с мехатронным приводом применяются в пищевой промышленности?
3. Каковы устройство и принцип действия пневматической машины для нарезки рыбы?
4. От каких факторов зависит мощность пневмопривода машины для нарезки рыбы?
5. Какие виды машин обеспечивают более высокую производительность нарезки?

Практическая работа № 6: Разработка пневматического зажимного устройства для деталей.

Цель: получение практических умений и навыков по разработке принципиальной пневматической и электрической схемы пневматического зажимного устройства для деталей.

Задание по практической работе: разработать принципиальную пневматическую схему и принципиальную электрическую схему пневматического зажимного устройства для деталей.

Примечание: схема пневматического зажимного устройства для деталей и алгоритм работы определяется по согласованию студента с преподавателем.

Контрольные вопросы: зависят от конкретного вида пневматического зажимного устройства для деталей и его технологических параметров.

Методические рекомендации:

Детали зажимаются с помощью тисков с пневматическим приводом (рисунок 16). При нажатии на кнопочный переключатель подвижная часть тисков перемещается вперед и зажимает деталь. При нажатии на другой кнопочный переключатель подвижная часть возвращается в исходное положение (тиски разжаты).

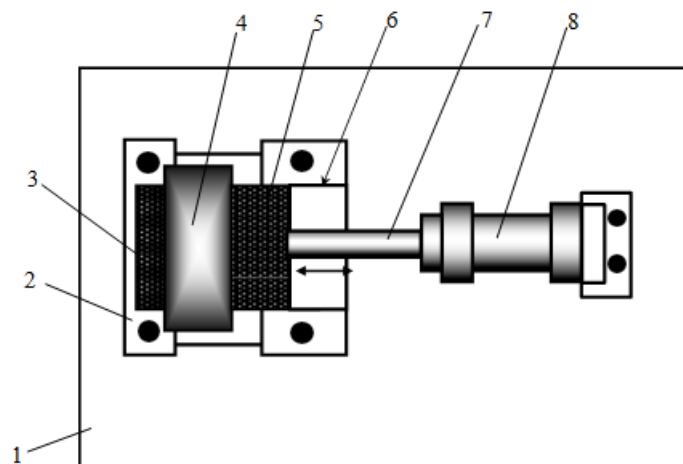


Рисунок 16 – Эскиз объекта управления:

- 1 – стол; 2 – основание тисков; 3 – неподвижные губки тисков; 4 – деталь;
5 – подвижные губки тисков; 6 – направляющая подвижных губок; 7 – шток;
8 – пневматический цилиндр

Пример выполнения практической работы

При нажатии на кнопочный переключатель S1 (ВКЛ) (рисунки 17, 18) замыкается цепь подачи тока на обмотку реле K1. Контакты K1 (13, 14) через нормально замкнутые контакты переключателя S2 (ВЫКЛ) обеспечивают «самоподхват», удерживая замкнутой цепь подачи тока на обмотке реле K1 даже после отпускания кнопки S1, а контакты (23, 24) обеспечивают подачу тока на обмотку электромагнита Y1, который переключает 3/2-(5/2) распределитель. Шток цилиндра одностороннего (двустороннего) действия выдвигается.

При срабатывании переключателя S2 (ВЫКЛ) размыкается цепь подачи тока на реле K1, контакты K1, которого размыкаются, прекращая подачу тока на электромагнит Y1. 3/2-(5/2) распределитель пружиной возвращается в исходное положение. Шток цилиндра втягивается.

Перечень используемых элементов приведен в таблицах 12, 13.

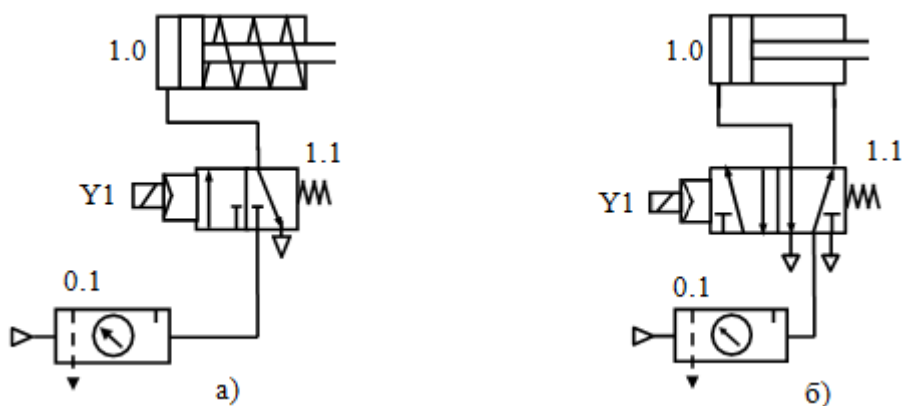


Рисунок 17 – Принципиальная пневматическая схема:

- а – использование 3/2 распределителя и цилиндра одностороннего действия;
- б – использование 5/2 распределителя и цилиндра двустороннего действия

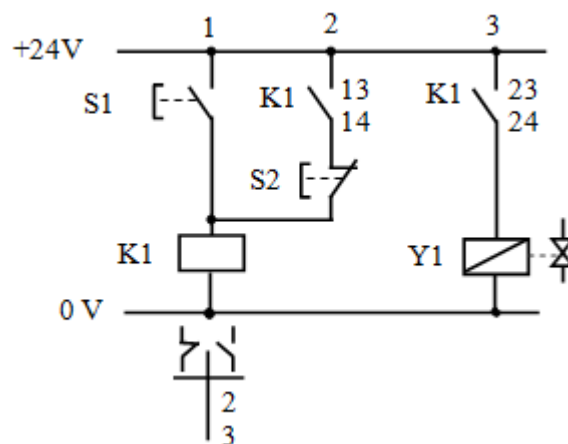


Рисунок 18 – Принципиальная электрическая схема

Задание для самостоятельного выполнения:

Модернизировать представленные выше схемы так, чтобы при одновременном нажатии кнопок S1 и S2 происходило втягивание штока (доминирующее выключение), затем разработать схему, удовлетворяющую данному условию.

Таблица 12 –

Перечень элементов пневматической схемы

Маркировка	Наименование	Номер на схеме	Кол-во
ESN-25-50P	Цилиндр одностороннего действия	1.0	1
DSNN-25-100PPV-A	Цилиндр двухстороннего действия	1.0	1
FRC-1/8S	Блок подготовки воздуха	0.1	1
D.ER-MFH-3-3,3	3/2-распределитель с односторонним электромагнитным управлением, нормально закрытый	1.1	1
MFH-5-PK-3	5/2-распределитель с односторонним электромагнитным управлением	1.1	1

Таблица 13 –

Перечень элементов электрической схемы

Наименование	Количество
Панель ввода сигналов, электрическая	1
Панель индикаторов и коллектор, электрическая	1
Панель с реле	1

Вопросы для контроля:

1. Как производится выбор регулирующей и направляющей пневмоаппаратуры?
2. Для чего служит распределитель?
3. Чем осуществляется регулирование давления в системе?
4. Какие способы регулирования скорости рабочего органа существуют?
5. Перечислите особенности пневматического привода, его достоинства и недостатки.

Практическая работа № 7: Разработка системы управления мехатронной передаточной станцией.

Цель: получение практических умений и навыков по разработке принципиальной пневматической и электрической схемы системы управления мехатронной передаточной станцией.

Задание по практической работе: разработать принципиальную пневматическую схему и принципиальную электрическую схему системы управления мехатронной передаточной станцией.

Примечание: схема системы управления мехатронной передаточной станцией и алгоритм ее работы определяется по согласованию студента с преподавателем.

Контрольные вопросы: зависят от конкретного вида системы управления мехатронной передаточной станцией и ее технологических параметров.

Методические рекомендации:

С помощью передаточной станции нужно перемещать блоки из магазина на станцию обработки (рисунок 19).

Блоки выталкиваются из магазина цилиндром А, а затем передаются на

станцию обработки цилиндром В. Шток цилиндра В может вернуться в исходное положение только после того, как втянется шток цилиндра А.

Для определения наличия блоков в магазине установлен концевой переключатель. Если блоков в магазине нет, новый цикл начать невозможно. Об этом свидетельствует звуковой сигнал. Система управления должна работать в режиме одиночного цикла, т. е. по команде система должна совершить один цикл и остановиться.

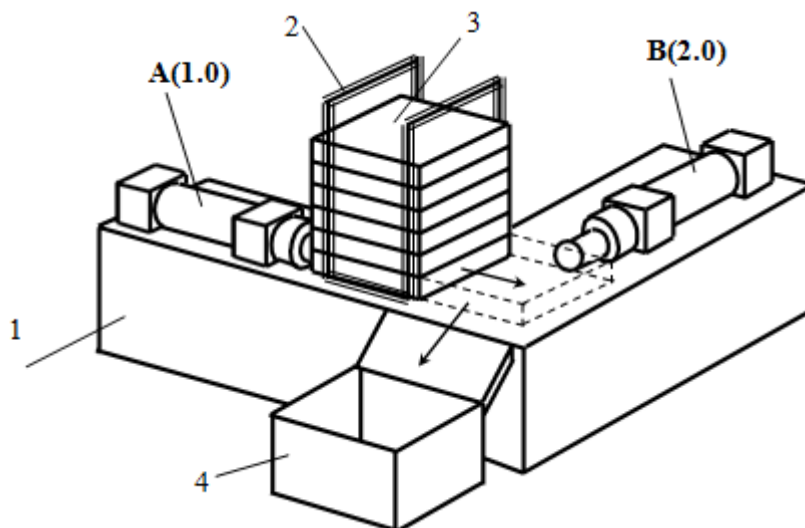


Рисунок 19 – Эскиз объекта управления

1 – основание; 2 – магазин; 3 – детали; 4 – станция обработки;
А, В – пневматические цилиндры (в скобках указано их обозначение на пневматической схеме)

Пример выполнения практической работы

Для имитации концевого выключателя, определяющего наличие блоков в магазине, необходимо использовать кнопочный переключатель с фиксацией (имеется на панели ввода сигналов), т. е. при нажатии на переключатель имитируется наличие блоков в магазине.

Пустой магазин

Если кнопка с фиксацией S3 **не нажата** (рисунки 20, 21), через контакты S3 (31,32) замкнута цепь звукового сигнала Н1. Электрическое питание в систему не подается, так как контакты S3 (13,14) разомкнуты.

Заполненный магазин

При нажатой кнопке S3 цепочка звукового сигнала разомкнута, а питание в систему подается через замкнувшиеся контакты S3 (13,14).

Шаг 1

При нажатии на кнопочный переключатель S4, замыкается цепь подачи тока на обмотку реле К1, контакты которого К1 при этом замыкаются. Контакт К1 (13, 14) обеспечивает «самоподхват» реле, удерживающий его включенным даже после отпускания кнопки S4, а контакт К1 (23, 24) обеспечивает подачу тока на электромагнит Y1, включающий 5/2-распределитель с односторонним управлением. Шток цилиндра А выдвигается и в крайнем положении включает датчик В2.

Шаг 2

Замыкается электрическая цепь обмотки реле K2, контакт которого K2 пропускает ток на электромагнит Y2. 5/2-распределитель с двусторонним управлением переключается, шток цилиндра **В** выдвигается и в крайнем положении нажимает на концевой выключатель S2. С началом движения штока концевой выключатель S1 выключается и размыкает цепь питания обмотки реле K1, контакты которого K1 размыкаются и обесточивают электромагнит Y1. 5/2-распределитель с односторонним управлением пружиной возвращается в исходное положение, шток цилиндра **А** втягивается, включая в исходном положении датчик B1.

Шаг 3

С началом движения поршня цилиндра **А** датчик B2 выключается, размыкая цепь питания обмотки реле K2. Контакты K2 размыкают электрическую цепь электромагнита Y2. При нажатии на кнопку S2 в крайнем выдвинутом положении штока цилиндра **В** и включенном датчике B1 при исходном положении штока цилиндра **А** включается реле K3, контакты которого замыкают электрическую цепь питания с электромагнита Y3. 5/2-распределитель с двусторонним управлением переключается в исходное положение, шток цилиндра **В** втягивается. Как только шток сходит с концевой выключателя S2, выключается реле K3, размыкаются контакты K3, и далее отключается электромагнит Y3.

Перечень используемых элементов приведен в таблицах 14, 15.

Задание для самостоятельного выполнения:

Для технологических нужд потребовалось, чтобы скорость выдвижения штоков цилиндров регулировалась. Разработать схему, удовлетворяющую данному условию.

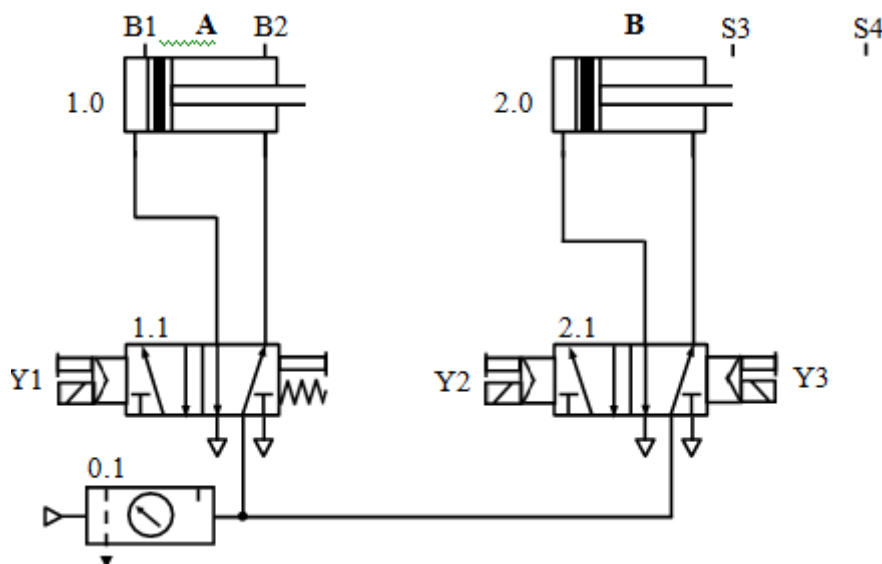


Рисунок 20 – Принципиальная пневматическая схема

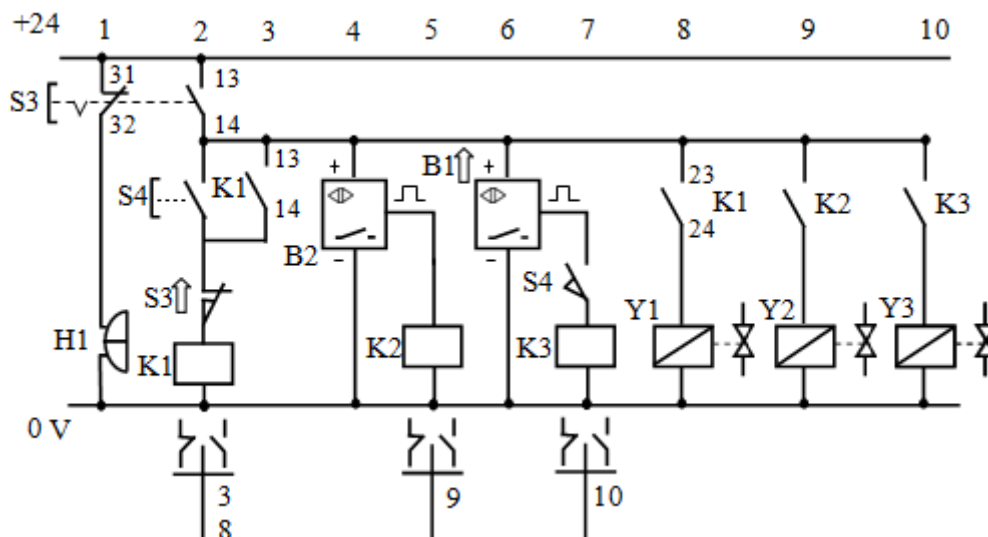


Рисунок 21 – Принципиальная электрическая схема

Таблица 14 –

Перечень элементов пневматической схемы

Маркировка	Наименование	Номер на схеме	Кол-во
DSNN-25-100PPV-A	Цилиндр двухстороннего действия	1.0, 2.0	2
FRC-1/8S	Блок подготовки воздуха	0.1	1
MFH-5-PK-3	5/2-распределитель с односторонним электромагнитным управлением	1.1	1
D.ER-IMFH-5-3.3	5/2-распределитель с двухсторонним электромагнитным управлением	2.1	1

Таблица 15 –

Перечень элементов электрической схемы

Наименование	Количество
Панель ввода сигналов, электрическая	1
Панель индикаторов и коллектор, электрическая	1
Панель с реле	1
Концевой выключатель, электрический, с включением слева	1
Концевой выключатель, электрический, с включением справа	1
Датчик приближения с установкой на цилиндре (геркон)	2

Вопросы для контроля:

1. Приведите уравнение массового расхода газа, вытекающего через отверстие.
2. Какое отношение давлений называют критическим? По какой зависимости определяют критическое отношение давлений?
3. Опишите работу воздуходувок, вентиляторов и компрессоров.
4. Охарактеризуйте магистральный, компрессорный, аккумуляторный пневмопривод.
5. Изобразите принципиальную схему аккумуляторного питания пневмосистем.

Практическая работа № 8: Разработка пневматической системы управления прессом.

Цель: получение практических умений и навыков по разработке принципиальной пневматической и электрической схемы системы управления прессом.

Задание по практической работе: разработать принципиальную пневматическую схему и принципиальную электрическую схему системы управления прессом.

Примечание: схема системы управления прессом и алгоритм ее работы определяется по согласованию студента с преподавателем.

Контрольные вопросы: зависят от конкретного вида системы управления прессом и ее технологических параметров.

Методические рекомендации:

Запрессовка стальных штифтов в деталь производится цилиндром двустороннего действия (рисунок 22).

Для обеспечения требований безопасности при управлении прессом необходимо задействовать обе руки (для получения сигнала на включение пресса нужно нажать на две кнопки). Причем, чтобы исключить возможность искусственной, преднамеренной блокировки одной из двух кнопок, временной интервал между их нажатиями не должен превышать 0,5 сек. Шток цилиндра должен немедленно отводиться при отжатии одной или обеих кнопок.

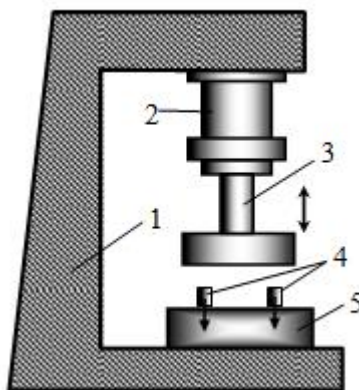


Рисунок 22 – Эскиз объекта управления

1 – станина пресса; 2 – пневматический цилиндр; 3 – шток; 4 – прессуемые штифты; 5 – деталь

Пример выполнения практической работы

При нажатии на кнопочный переключатель S1 контакты S1 (23–24) замыкают цепь подачи тока на обмотке реле времени K2 (рисунок 24), реле времени начинает отсчет установленного интервала времени, кроме того, контакты S1(13–14) замыкают цепь подачи тока на кнопочный переключатель S2.

При нажатии на переключатель S2 в течение промежутка времени срабатывания реле времени K2, т. е. пока контакт K2 замкнут, происходит замыкание контактов S2 (13–14), и электрический ток через нормально замкнутые контакты реле времени K2 подается на обмотку реле K1. Контакты реле K1 (13–14) обеспечивают «самоподхват», удерживая замкнутой цепь подачи тока на обмотке реле K1. Даже при срабатывании реле времени (по истечении установ-

ленного интервала времени нормально замкнутые контакты реле времени К2 разомкнутся) контакты К1 (23–24) обеспечивают подачу тока на обмотку электромагнита Y1, который переключает 5/2-распределитель. Шток цилиндра двухстороннего действия выдвигается.

Перечень используемых элементов приведен в таблицах 16, 17.

Задание для самостоятельного выполнения:

В целях обеспечения безопасности производства (например, применение электрических систем запрещено) по условию задачи следует разработать схему установки для штамповки деталей, используя только пневматические элементы.

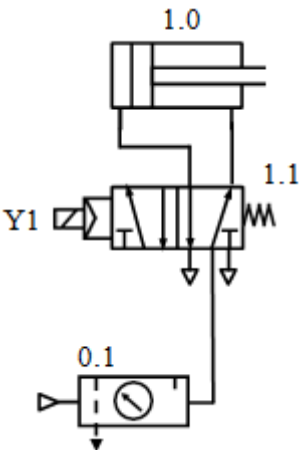


Рисунок 23 – Принципиальная пневматическая схема

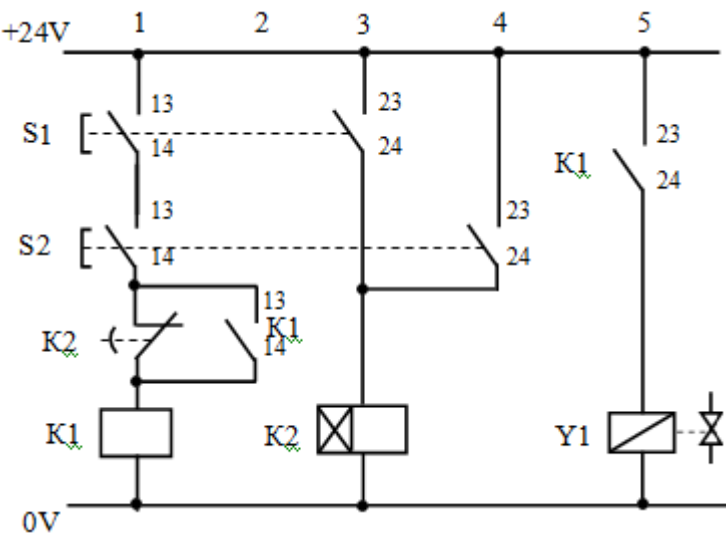


Рисунок 24 – Принципиальная электрическая схема

Таблица 16 –

Перечень элементов пневматической схемы			
Маркировка	Наименование	Номер на схеме	Кол-во
ESN-25-50P	Цилиндр одностороннего действия	1.0	1
DSNN-25-100PPV-A	Цилиндр двухстороннего действия	1.0	1
FRC-1/8S	Блок подготовки воздуха	0.1	1
MFH-5-PK-3	5/2-распределитель с односторонним электромагнитным управлением	1.1	1

Таблица 17 –

Перечень элементов электрической схемы

Наименование	Количество
Панель ввода сигналов, электрическая	1
Панель индикаторов и коллектор, электрическая	1
Панель с реле	1

Вопросы для контроля:

1. Чем осуществляется управление «входом»?
2. Что такое «степень усиления выхода»?
3. Какие существуют виды обратной связи между «входом» и «выходом»?
4. Что такое многокаскадное усиление?
5. Приведите блок-схему следящего привода.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Согласно учебному плану дисциплины «Пневматические, гидравлические и мехатронные системы» направления 15.03.02 Технологические машины и оборудование, студенты заочной формы обучения закрепляют изучаемый материал самостоятельно в виде выполнения контрольной работы.

Работа должна быть выполнена на листах формата А4 с одной стороны листа, в печатном варианте. Шрифт текстовой части размер – 12 (для заголовков – 14), вид шрифта – Times New Roman, интервал 1,5. Поля страницы: левое 3 см, правое 1,5 см., верхнее и нижнее 2 см. Нумерация страниц внизу справа.

Структура контрольной работы:

- титульный лист (приложение)
- введение
- содержание
- текстовая часть (каждый вопрос начинать с нового листа)
- выводы
- список используемой литературы (оформляется в соответствии с ГОСТ 7.001-2003, ГОСТ 7.82-2001).

В текстовой части не допускается сокращение слов. Объем выполненной работы не должен превышать 15 листов формата А4.

Контрольная работа должна быть оформлена в соответствии с общими требованиями, предъявляемыми к контрольным работам:

- текст должен быть отпечатан на компьютере;
- основной текст подразделяется на озаглавленные части в соответствии с содержанием работы. Заглавия не подчеркиваются, в конце заголовка точка не ставится, переносы допускаются;
- страницы текста пронумерованы арабскими цифрами в правом верхнем углу без точек. Титульный лист считается первым и не нумеруется;
- на каждой странице оставлены поля для замечаний рецензента;
- список использованных источников оформляются по соответствующим

требованиям.

Стиль и язык изложения материала контрольной работы должны быть четкими, ясными и грамотными. Грамматические и синтаксические ошибки недопустимы. Выполненная контрольная работа представляется для регистрации на кафедру, затем поступает на рецензирование преподавателю.

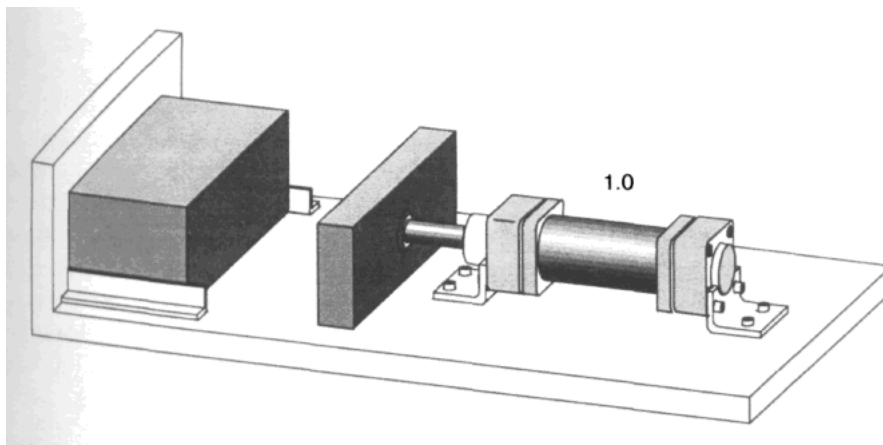
Задание по контрольной работе направлено на формирование навыков владения методикой расчета мехатронных пневмоавтоматических систем и предусматривает решение двух задач.

Положительная оценка «зачтено» выставляется при решении двух задач, если расчёты проведены верно, составлены правильные схемы, или получены неверные схемы из-за ошибок в обозначении, но при этом имеется верная последовательность всех шагов решения.

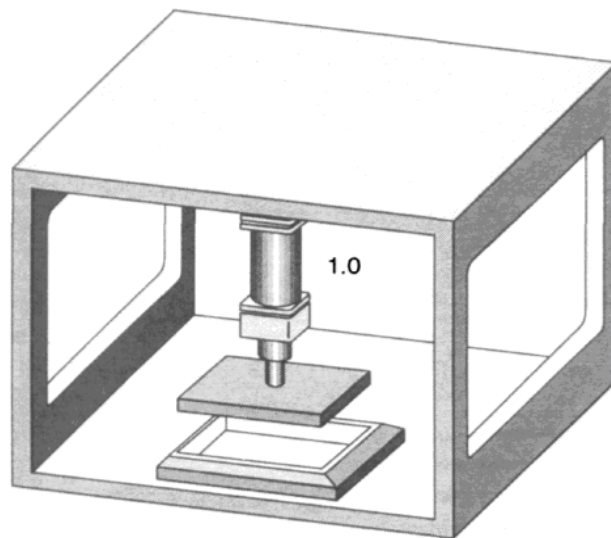
Контрольная работа с оценкой «не зачтено» возвращается студенту с рецензией, выполняется студентом вновь и сдается вместе с не зачтенной работой на проверку преподавателю. Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, возвращается без проверки и зачета.

Типовые задачи для выполнения контрольной работы приведены ниже:

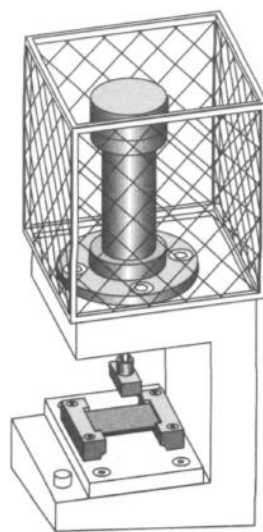
Задача № 1. По эскизу объекта управления составьте принципиальную схему пневмоавтоматической системы и опишите ее работу. Цилиндр одностороннего действия с диаметром поршня 25 мм при нажатии на пневмокнопку должен зажимать деталь. Пока кнопка удерживается в нажатом положении, шток цилиндра остается в крайнем выдвинутом положении. При отпускании кнопки деталь освобождается за счет отвода штока.



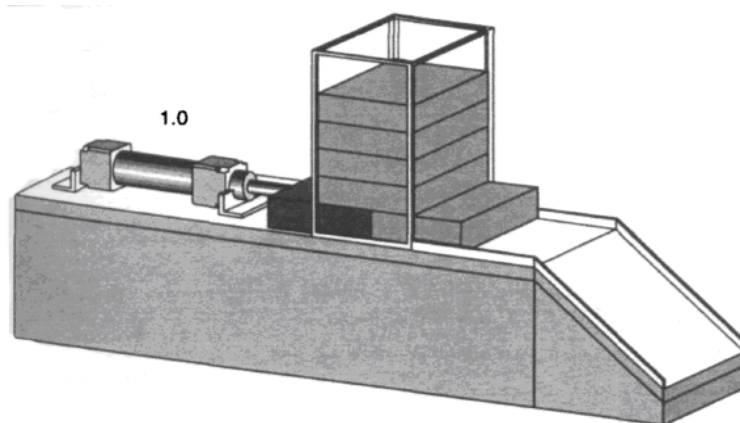
Задача № 2. По эскизу объекта управления составьте принципиальную схему пневмоавтоматической системы и опишите ее работу. Шток цилиндра двустороннего действия должен выдвигаться при нажатии на кнопку и втягиваться после ее отпускания. Цилиндр имеет диаметр поршня 250 мм и потребляет большой расход воздуха.



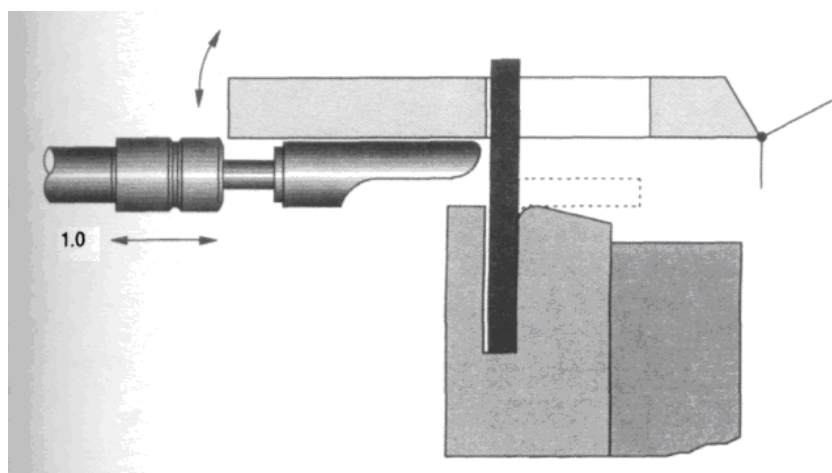
Задача № 3. Составьте принципиальную схему пневмоавтоматической системы и опишите ее работу. Шток поршня цилиндра должен выдвигаться только в том случае, если деталь установлена на станке, защитная сетка опущена и оператором нажата кнопка распределителя. После отпускания кнопки распределителя или смещения защитной сетки из ее нижнего положения поршень цилиндра должен вернуться в свое исходное положение.



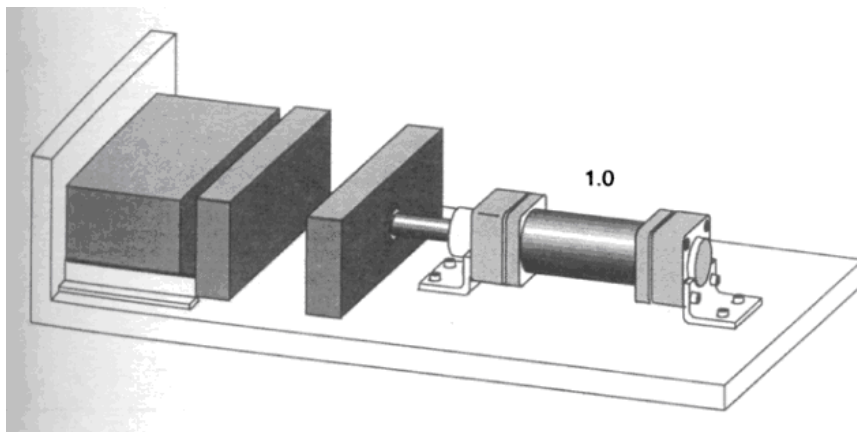
Задача № 4. Для подачи деталей из магазина используется цилиндр двустороннего действия. Шток поршня цилиндра выдвигается полностью при нажатии на кнопку или на ножную педаль. При достижении крайнего выдвинутого положения шток должен начать втягиваться. Для опроса конечного положения должен использоваться 3/2-распределитель с управлением от рычага с роликом.



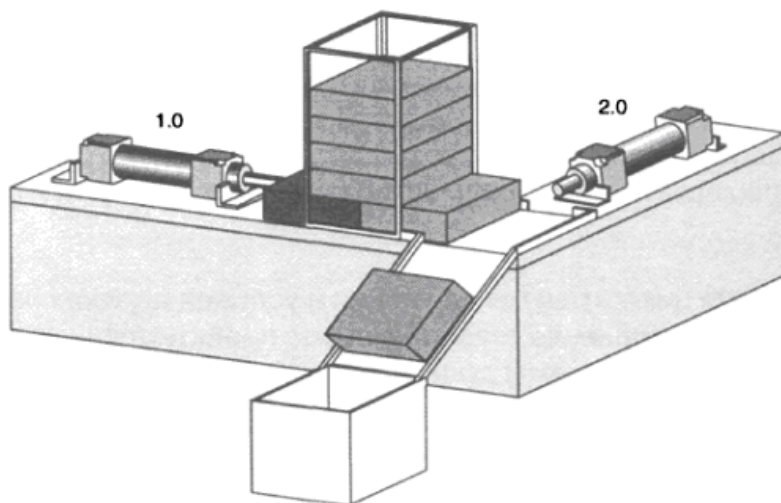
Задача № 5. Составьте принципиальную схему пневмоавтоматической системы и опишите ее работу. При совместном срабатывании распределителя с управлением от кнопки и концевого выключателя, управляемого рычагом с роликом, гибочный инструмент наезжает на кромку заготовки и кантует материал. Инструмент приводится в движение штоком цилиндра двустороннего действия. Для повышения скорости выдвижения штока в схеме должен быть использован клапан быстрого выхлопа. Скорость втягивания штока поршня должна быть регулируемой. Если какая-либо из кнопок будет отпущена, шток цилиндра медленно возвращается в исходное положение.



Задача № 6. Составьте принципиальную схему пневмоавтоматической системы и опишите ее работу. Для прижатия склеиваемых деталей друг к другу используется цилиндр двустороннего действия. После нажатия кнопки шток цилиндра должен медленно выдвигаться. В крайнем выдвинутом положении шток цилиндра должен оставаться в течение 6 секунд, а затем должен автоматически вернуться в исходное положение. Скорость выдвижения штока должна быть регулируемой. Новое срабатывание цилиндра возможно только при условии возвращения штока в исходное положение.



Задача № 7. Составьте принципиальную схему пневмоавтоматической системы и опишите ее работу. Для перемещения деталей из магазина на лоток используются два цилиндра двустороннего действия. При нажатии кнопки шток первого цилиндра выдвигается, выталкивая деталь из магазина и перемещая ее в зону действия второго цилиндра, расположенного напротив лотка. Как только шток первого цилиндра полностью выдвинется, выдвигается шток второго цилиндра, сталкивая деталь на лоток, по которому она перемещается в коробку. После этого шток первого, а за ним и второго цилиндров втягиваются. Для надежной транспортировки деталей должно обеспечиваться координированное (согласованное) движение штоков цилиндров. Для этого проводится опрос достижения штоками цилиндров исходного и всех конечных положений.



Оценка результатов выполнения заданий по контрольной работе производится при представлении студентом отчета. Результаты защиты контрольной работы оцениваются преподавателем по двухбалльной шкале «зачтено – не зачтено». Студент, самостоятельно выполнивший не менее 60 % от каждого задания и продемонстрировавший знания, получает по контрольной работе оценку «зачтено».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кушнир, А. П. Пневматические производственные системы: учеб. пособие / А. П. Кушнир. – Москва: РТУ МИРЭА, 2019. – 78 с.
2. Пугин, К. Г. Гидравлические и пневматические машины: учеб.-метод. пособие / К. Г. Пугин, В. И. Моисеев. – Пермь: ПНИПУ, 2017. – 88 с.
3. Володько, О. С. Гидравлические и пневматические системы транспортных и технологических машин: учеб. пособие / О. С. Володько. – Пенза: ПГАУ, 2018. – 167 с.
4. Нагорный, В. С. Гидравлические и пневматические системы: учеб. пособие / В. С. Нагорный. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 444 с.
5. Ковыршин, С. В. Моделирование гидро- и пневмопривода в средах FluidSim и Siemens Simatic STEP 7: учеб. пособие / С. В. Ковыршин, С. П. Круглов, А. В. Лившиц. – Иркутск: ИрГУПС, 2020. – 92 с.
6. Дорошенко, В. А. Объемный гидро- и пневмопривод: учеб. пособие / В. А. Дорошенко. – Екатеринбург: УрФУ, 2019. – 196 с.
7. Сажин, А. И. Свойства рабочих жидкостей. Гидростатика: учеб. пособие / А. И. Сажин. – Новосибирск: НГТУ, 2019. – 76 с.
8. Макаров, В. А. Пневматические и гидравлические мехатронные системы: учеб. пособие / В. А. Макаров, Ф. А. Королев. – Москва: РТУ МИРЭА, 2021. – 71 с.
9. Симанин, Н. А. Системы приводов технологического оборудования. Гидравлические и пневматические приводы и системы: учеб.-метод. пособие / Н. А. Симанин. – Пенза: ПензГТУ, 2012. – 152 с.
10. Баржанский, Е. Е. Гидравлические и пневматические системы Т и ТТМО: учеб. пособие / Е. Е. Баржанский. – Москва: РУТ (МИИТ), 2013. – 192 с.
11. Кузнецов, В. В. Гидравлика. Проектирование и расчет объемной гидрореперации: учеб. пособие / В. В. Кузнецов, К. А. Ананьев. – Кемерово: КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2020. – 72 с.
12. Лапшина, М. Л. Информационные технологии в мехатронике и робототехнике: учеб. пособие / М. Л. Лапшина, Д. Д. Лапшин. – Воронеж: ВГЛУ, 2023. – 116 с.
13. Зариковская, Н. В. Математическое моделирование систем: учеб. пособие / Н. В. Зариковская. – Москва: ТУСУР, 2014. – 168 с.
14. Мехатроника. Инженерный подход / А. Н. Веригин, Н. А. Незамаев, А. Г. Ишутин [и др.]; под редакцией А. Н. Веригин. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 644 с.
15. Лютов, А. Г. Программирование микропроцессорных систем: метод. рекомендации / А. Г. Лютов, В. Т. Лузинский, М. Б. Новоженин. – Москва: РТУ МИРЭА, 2023. – 33 с.
16. Лютов, А. Г. Электромеханические и мехатронные системы: метод. указания / А. Г. Лютов, М. Б. Новоженин. – Москва: РТУ МИРЭА, 2021. – Ч. 1. – 2021. – 86 с.
17. Лютов, А. Г. Электромеханические и мехатронные системы: метод. указания / А. Г. Лютов, М. Б. Новоженин. – Москва: РТУ МИРЭА, 2022 – Ч. 2. – 2022. – 37 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

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

Институт агроинженерии и пищевых систем
Кафедра инжиниринга технологического оборудования

Контрольная работа
допущена к защите:
должность (звание), ученая степень
_____ Фамилия И. О.
«__» _____ 202__ г.

Контрольная работа
защищена
должность (звание), ученая степень
_____ Фамилия И. О.
«__» _____ 202__ г.

Контрольная работа

по дисциплине
ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ, ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ И МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ
Шифр студента _____
Вариант № _____

Работу выполнил:
студент гр. _____
_____ Фамилия И. О.
«__» _____ 202__ г.

Локальный электронный методический материал

Олег Вячеславович Агеев

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ, ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ И
МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

Редактор С. Кондрашова
Корректор Т. Звада

Уч.-изд. л. 7,0. Печ. л. 5,3.

Издательство федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1