

**Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский национальный технический университет**

Кафедра «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод»

**П.Р. Бартош
П.Н. Кишкевич**

СРЕДСТВА ГИДРОПНЕВМОАВТОМАТИКИ

**Методические указания
по выполнению курсового проекта
для студентов специальности 1-36 01 07
«Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин»**

Минск 2010

УДК [62–82+681.523]:378.147.091.313(075.8)

ББК 34.447я7

М 54

Методические указания предназначены для выполнения курсового проекта по дисциплинам «Средства гидропневмоавтоматики» и «Элементы управления и регулирования гидропневмосистем» и содержат необходимые теоретические сведения и практические рекомендации, позволяющие выполнить синтез цикловых систем управления гидро- и пневмоприводами машин и технологического оборудования, провести статический расчет приводов, определить основные конструктивные параметры пневмо- и гидродвигателей, трубопроводов, направляющей аппаратуры и других элементов пневмо- и гидропривода.

Методические указания содержат типовые рекомендации по содержанию составных частей курсового проекта, а также рекомендации по работе над курсовым проектом и порядку его защиты. Описываются требования к оформлению пояснительной записки и графической части курсового проекта.

Составители:

П.Р. Бартош, П.Н. Кишкевич

Рецензенты:

Л.Н. Поклад, А.И. Рахлей

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	4
2 СОСТАВ, СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	7
3 ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ.....	9
3.1 Общие требования к оформлению и построению пояснительной записки	9
3.2 Оформление текста.....	11
4 ОФОРМЛЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	12
4.1 Общие требования.....	12
4.1.1 Правила выполнения схем.....	12
4.2 Спецификация	14
4.3 Обозначения	17
5 СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ.....	19
5.1 Структура и классификация дискретных систем управления	19
5.2 Логические функции и их реализация средствами гидропневмоавтоматики.....	24
5.3 Структурный синтез многотактных дискретных систем управления	29
5.4 Графоаналитический метод синтеза многотактных дискретных систем управления..	33
5.4.1 Построение первичного графа.....	33
5.4.2 Построение вторичного графа.....	36
5.4.3 Правила составления уравнений выходных сигналов.....	38
5.4.4 Построение дискретной системы управления приводом.....	42
6 СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПНЕВМОПРИВОДА.....	47
6.1 Основные параметры воздуха.....	47
6.2 Расчет пневмодвигателей.....	48
6.2.1 Поршневые пневмодвигатели (пневноцилиндры).....	48
6.2.2 Мембранные пневмодвигатели.....	53
6.3 Выбор направляющей и регулирующей пневмоаппаратуры.....	54

6.4	Выбор трубопроводов	55
6.4.1	<i>Расчет трубопроводов</i>	56
7	СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГИДРОПРИВОДА	57
7.1	Рабочие жидкости и их свойства	57
7.2	Выбор рабочего давления	60
7.3	Выбор элементов объемного гидропривода.....	60
7.3.1	<i>Источник энергии</i>	60
7.3.2	<i>Объемные гидродвигатели</i>	60
7.3.3	<i>Гидроаппараты</i>	61
7.3.4	<i>Гидроаккумуляторы</i>	61
7.3.5	<i>Фильтры</i>	61
7.3.6	<i>Теплообменники</i>	62
7.3.7	<i>Гидробаки</i>	62
7.3.8	<i>Гидролинии</i>	62
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	63
	ПРИЛОЖЕНИЯ	64
	Приложение А.....	65
	Приложение Б	67
	Приложение В.....	68
	Приложение Г	69
	Приложение Д.....	71
	Приложение Е	72
	Приложение Ж.....	73
	Приложение И.....	74
	Приложение К.....	76
	Приложение Л.....	77

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Курсовой проект по дисциплинам «Средства гидропневмоавтоматики» и «Элементы управления и регулирования гидропневмосистем» выполняется студентами в 8 семестре и служит для закрепления теоретических знаний, полученных студентами при изучении этих дисциплин.

Основными задачами курсового проектирования являются:

- выработка навыков творческого мышления и умения применять обоснованные решения инженерных задач, воспитание ответственности за качество принятых решений;
- систематизация и закрепление знаний, полученных при изучении дисциплин;
- формирование навыков самостоятельной проектно-конструкторской или исследовательской работы;
- приобщение к работе со специальной и нормативной литературой;
- привитие практических навыков применения норм проектирования, методик расчетов, стандартов и других нормативных материалов;
- применение современных расчетно-графических и математических методов, оценки, сравнения и обоснования предлагаемых проектных решений;
- самостоятельное выполнение расчетов конструктивного характера с использованием современных информационных технологий;
- ясное, технически грамотное оформление проектных материалов.

1.2 Курсовые проекты выполняются по инженерным направлениям подготовки специалистов. Они должны содержать в обязательном порядке расчетно-графическую часть.

Курсовые проекты должны выполняться на основе последних достижений науки и техники, с учетом новейших прогрессивных форм производства и высокого уровня механизации и автоматизации, а также на основе изучения литературы, патентов, периодической литературы, нормативно-технической документации и т.п.

Все принимаемые инженерные и технические решения, проводимые расчеты конструкций, материалы обязаны отвечать требованиям соответствующих государственных стандартов и норм Республики Беларусь, отраслевых нормативных документов.

1.3 Курсовой проект рекомендуется выполнять с применением современных информационных технологий. Программы для выполнения соответствующих расчетов, а также доступ к компьютеру обеспечивает кафедра, ведущая курсовое проектирование.

1.4 Тематика курсовых проектов должна отвечать учебным задачам

данного предмета и наряду с этим увязываться с практическими требованиями отрасли и актуальности научных исследований. В каждом курсовом проекте должны быть элементы новизны.

Тематика курсовых проектов определяется выпускающей кафедрой. Темы курсовых проектов утверждаются на заседании кафедры.

1.5 Для выполнения курсового проекта каждому студенту выдается задание по курсовому проектированию, форма которого приведена ниже в приложении А. При составлении таких заданий необходимо исходить из примерно одинаковой их сложности для каждого студента. Выдача заданий студентам должна производиться персонально и, как правило, с соответствующими пояснениями всей группе одновременно.

Задания на курсовой проект выдаются за подписью руководителя и утверждаются заведующим кафедрой.

Задание на проектирование должно содержать: вариант тактограммы; тип рабочего (силового) привода (гидравлический или пневматический); марку рабочей жидкости (при необходимости); нагрузку (усилие) на штоке гидро- и пневмоцилиндров; ход поршней; величину давления рабочего тела в приводе и системе управления; тип пневмоэлементов, на которых реализуется система управления (элементы высокого давления, мембранной или струйной техники); время срабатывания гидро- и пневмоцилиндров.

Задание и полученные в результате расчета основные параметры гидро- и пневмоприводов должны соответствовать следующим стандартам:

- номинальное давление, МПа, (ГОСТ 12445-80);
- номинальные расходы жидкости, л/мин, (ГОСТ 13825-80);
- условные проходы, мм, (ГОСТ 16516-80);
- нормальные диаметры деталей подвижных уплотняющих цилиндрических пар (поршни, плунжеры, штоки, золотники и т.п. и их втулки), мм, (ГОСТ 12447-80);
- хода поршня (плунжера), мм, (ГОСТ 6540-68);
- номинальные вместимости гидробаков, гидроаккумуляторов, ресиверов и т.п., дм³, (ГОСТ 12448-80).

Вышеперечисленные параметры гидро- и пневмоприводов, определяемые соответствующими стандартами, приведены в приложении Л.

1.6 Руководителями курсовых проектов, как правило, назначаются преподаватели кафедры, а также высококвалифицированные специалисты предприятий и организаций. Разрешается допускать к руководству аспирантов университета. В целом состав руководителей курсового проектирования определяется кафедрой.

Руководители курсовых проектов обязаны ознакомиться с нормативными и методическими документами, включая настоящие методические указания

по курсовому проектированию, и осуществлять руководство при строгом их соблюдении.

1.7 Индивидуальные консультации по курсовому проектированию должны проводиться регулярно, не менее одного раза в неделю, по расписанию кафедры. График индивидуальных консультаций определяется руководителем курсового проектирования, исходя из степени подготовленности студента к самостоятельной работе, его организованности и дисциплины. График может корректироваться в ходе выполнения курсового проекта по решению преподавателя–руководителя курсового проекта.

Студент обязан регулярно посещать консультации.

1.8 Курсовой проект должен выполняться студентами в соответствии с графиком проектирования, разрабатываемым руководителем.

Трудоемкость каждого этапа работы над проектом должна быть оценена в процентах от общего объема работ.

1.9 Ход курсового проектирования может быть наглядно отражен на графиках текущей успеваемости, расположенных в местах, доступных преподавателям кафедры и студентам, для ознакомления с их содержанием.

Состояние работы по курсовому проектированию обсуждается на заседаниях кафедры.

1.10 Выполненный курсовой проект решением руководителя проектирования допускается к защите, о чем он делает соответствующую надпись: «К защите» на обложке пояснительной записки. Перед этим чертежи и пояснительная записка должны быть подписаны студентом-автором проекта.

1.11 Защита курсового проекта проводится в комиссии, состав которой определяется на заседании кафедры. В состав комиссии входит руководитель проекта и один–два преподавателя кафедры. Допускается открытая защита в присутствии всей учебной группы, где обучается автор курсового проекта.

1.12 При защите курсового проекта студент в своем докладе должен раскрыть основные вопросы:

- назначение, область применения и техническая характеристика объекта проектирования;
- методика расчета и иные методы проектирования;
- полученные результаты и степень новизны принятых технических решений.

Время, отводимое студенту на доклад, должно быть ограничено 5–8 минутами.

1.13 Оценка курсового проекта осуществляется согласно действующему положению о курсовых экзаменах и зачетах в высших учебных заведениях по десятибалльной системе.

1.14 После защиты курсовых проектов они хранятся на кафедрах у ма-

териально ответственного лица. Проект принимается на хранение в установленном кафедрой порядке, срок хранения – два года. По истечении срока хранения курсовые проекты, не представляющие для кафедры интереса, списываются по акту через архив университета и сдаются в соответствии с утвержденным графиком.

1.15 Заведующему кафедрой предоставляется право выдачи хранящегося курсового проекта его автору, выполняющему дипломный проект, при условии, что результаты курсового проектирования являются составной частью задания или исходными данными для дипломного проекта. После защиты дипломного проекта студент должен вернуть выданный ему курсовой проект на кафедру.

2 СОСТАВ, СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект состоит из двух частей: пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка курсового проекта должна содержать в указанной последовательности следующие структурные элементы:

- титульный лист (см. приложение Б);
- задание по курсовому проектированию (см. приложение А);
- содержание;
- перечень условных обозначений, символов и терминов (при необходимости);
- введение;
- конструкторская часть проекта;
- заключение (выводы и рекомендации);
- спецификация чертежей
- список использованных источников;
- приложения (при необходимости).

Пояснительная записка должна в краткой и четкой форме раскрывать творческой замысел, содержать принятые методики синтеза систем управления и методики расчета, а также сами расчеты. При необходимости расчеты должны сопровождаться иллюстрациями: графиками, эскизами, диаграммами, схемами и т.п.

Студент должен изложить методики синтеза систем управления и методики расчета, привести основные расчетные формулы, обосновать выбор исходных данных и привести анализ полученных результатов.

Пояснительная записка курсового проекта должна соответствовать общим требованиям: четкости и логической последовательности изложения материала.

ла, убедительности аргументации, конкретности изложения результатов, доказательств и выводов, краткости и ясности формулировок, исключая неоднозначность толкования.

Объем текстовой части курсового проекта определяется руководителем проекта. Рекомендуется объем пояснительной записки – 30...45 страниц текста, набранного на компьютере – кегль 14 пт, полуторный интервал машинописного текста или 60...80 страниц рукописного текста.

Введение может быть написано в произвольной форме, однако рекомендуется в нем рассмотреть важность и актуальность темы курсового проекта, отразить назначение и роль разрабатываемой системы управления гидро- и пневмоприводами машин и технологического оборудования для механизации и автоматизации производства.

Необходимо также сосредоточить внимание на цели и задачах, которые нужно решить в курсовом проекте. Желательно было бы сослаться на достижения, полученные в зарубежной практике при решении подобных задач, поставленных в проекте.

Введение **обязательно** должно быть увязано с темой курсового проекта.

Конструкторская часть проекта. Первоначально в этой части необходимо изучить состояние вопроса по теме проекта, провести патентный поиск и изучить существующие и аналогичные схемы цикловых систем управления. Затем по заданной тактограмме проводится синтез цикловой системы управления (ЦСУ) приводом (пневматическим или гидравлическим) машины. Обязательно описывается работа полученной цикловой системы управления. Производится проектировочный расчет заданного узла (согласно заданию на курсовое проектирование). Выбирается пневмо- и гидроаппаратура, позволяющая реализовать цикловую систему управления приводом. Разрабатывается в качестве сборочного чертежа логический блок цикловой системы управления. Расчеты **сопровожаются** текстом, формулами, таблицами и графиками (при необходимости) с указанием **ссылок** на использованные литературные источники.

Заключение (выводы и рекомендации). Оно является заключительным разделом при выполнении курсового проекта и должно содержать краткие выводы по полученным результатам во всех разделах проекта. Необходимо привести основные цифровые данные и другие результаты, полученные в процессе работы над проектом, указать особенности и оригинальность проекта.

Список использованных источников должен содержать все литературные источники, которые использовались при выполнении курсового проекта. В тексте проекта должны быть сделаны ссылки на них.

В **приложении** приводятся спецификации разрабатываемых сборочных узлов и другие материалы.

Объем графической части курсового проекта – 3 листа формата А1. Гра-

фическая часть должна содержать: принципиальную схему гидро- или пневмосистемы (гидро- или пневмопривода) с ИСУ, выполненную по требованиям ЕСКД; два сборочных чертежа, проектируемых узлов гидро- или пневмосистемы (согласно заданию на курсовое проектирование), на которых должны быть необходимые разрезы, виды, указаны габаритные, присоединительные и монтажные размеры, технические требования и характеристики.

3 ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

3.1 Общие требования к оформлению и построению пояснительной записки

Общими требованиями к пояснительной записке курсового проекта являются: четкость и логическая последовательность изложения материала, конкретность изложения результатов, доказательств и выводов.

Пояснительная записка курсового проекта может быть написана на русском или белорусском языках.

Пояснительная записка курсового проекта оформляется на стандартной белой бумаге формата А4 по ГОСТ 2.301 с одной стороны листа.

При выполнении пояснительной записки должны быть установлены стандартные поля по СТБ 6.38: левое – 30 мм; правое – не менее 8 мм; верхнее и нижнее – не менее 20 мм.

Пояснительная записка курсового проекта в соответствии с ГОСТ 2.105 должна быть выполнена одним из следующих способов:

- с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ (ГОСТ 2.004) – шрифтом Times New Roman Cyr черного цвета с высотой 14 пт, через полтора интервала;

- машинным – четким шрифтом черного цвета с высотой не менее 2,5 мм, через полтора интервала;

- рукописным – высотой букв не менее 2,5 мм, черными чернилами (пастой, тушью).

Абзацы в тексте начинают отступом 15...17 мм, одинаковым по всему тексту.

Вписывать в отпечатанный текст отдельные слова, формулы, условные знаки, а также выполнять иллюстрации следует черными чернилами (пастой, тушью). Для выполнения иллюстраций разрешается использовать графические редакторы, фотографии, ксерокопии и т.п.

При использовании стандартного текстового редактора формулы могут быть оформлены с помощью средств этого редактора.

Опечатки и описки допускается исправлять подчисткой или закрашиванием белой краской и нанесением на том месте исправлений машинным или рукописным способом черными чернилами (пастой, тушью). Повреждения листов, помарки и следы прежнего текста не допускаются.

Пояснительная записка курсового проекта должна быть сброшюрована, иметь обложку и титульный лист, оформленные в соответствии с приложениям Б и В.

Текст основной части пояснительной записки курсового проекта разделяют на разделы, подразделы и пункты. Разделы (подразделы) могут состоять из одного или нескольких подразделов (пунктов). Разделы, подразделы и пункты оформляются в соответствии с ГОСТ 2.105, раздел 4.

Разделы нумеруются арабскими цифрами без точки в пределах всей пояснительной записки курсового проекта и записываются с абзацного отступа.

Подразделы нумеруются в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой (например, 2.3). В конце номера подраздела точка не ставится.

Пункты нумеруются в пределах подраздела. Номер пункта состоит из номера подраздела и пункта, разделенных точкой (например, 2.3.2).

Разделы и подразделы должны иметь заголовки. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов и подразделов.

Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Заголовки разделов следует писать прописными буквами с абзацного отступа. Заголовки подразделов следует писать, начиная с прописной буквы строчными буквами с абзацного отступа. Точка в конце заголовка раздела, подраздела не ставится, название не подчеркивается.

Расстояние между заголовком и текстом при выполнении пояснительной записки курсового проекта машинным способом – 3...4 интервала, при выполнении рукописным способом – 15 мм. Расстояние между заголовками раздела и подраздела – 2 интервала, при выполнении рукописным способом – 8 мм.

Каждый раздел пояснительной записки курсового проекта начинается с нового листа.

Нумерация страниц пояснительной записки курсового проекта и приложений, входящих в ее состав, сквозная. Первой страницей пояснительной записки курсового проекта является титульный лист. Номера страниц на титульном листе, на задании по курсовому проектированию, ведомости объема проекта и реферате не ставятся, но включаются в общую нумерацию страниц.

Страницы пояснительной записки курсового проекта нумеруются арабскими цифрами, проставляемыми в правом верхнем углу страницы.

В состав пояснительной записки курсового проекта входит структурный

элемент «Содержание», которое включает перечень условных обозначений, символов и терминов (при необходимости), введение, номера и наименование разделов и подразделов основной части, заключение, список использованных источников и приложения с указанием номеров страниц.

Структурный элемент «Список использованных источников» выполняется в порядке упоминания источников в тексте и может (при необходимости) содержать отдельной рубрикой список нормативных ссылок. Библиографические описания источников приводятся в соответствии с ГОСТ 7.1 и ГОСТ 7.82 (приложение Г).

Заголовки структурных элементов, кроме основной части (слова «Основная часть» не пишутся) записывают симметрично тексту прописными буквами.

3.2 Оформление текста

Полное наименование объекта проектирования при первом упоминании в тексте пояснительной записки курсового проекта должно быть одинаковым с его наименованием в первом листе графической части курсового проекта (в главном конструкторском документе).

В последующем тексте порядок слов в наименовании объекта проектирования должен быть прямой, т.е. на первом месте должно быть определение (прилагательное), а затем – название объекта проектирования (имя существительное). Допускается употреблять сокращенное наименование объекта проектирования.

Наименования, приводимые в тексте пояснительной записки курсового проекта и на иллюстрациях, должны быть одинаковыми.

В пояснительной записке курсового проекта должны применяться научно–технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими государственными стандартами РД РБ 0410.42, при их отсутствии в указанных документах – общепринятые в научно–технической литературе.

В пояснительной записке следует применять стандартизованные единицы физических величин, их наименование и обозначение в соответствии с ГОСТ 8.417.

Числовые значения величин с обозначением единиц физических величин и единиц счета следует писать цифрами, а числа без обозначения единиц физических величин и единиц счета от единицы до девяти – словами. Остальные требования к записи числовых значений величин, степени точности и пределов их изменений – в соответствии с ГОСТ 2.105, раздел 4.

Расчеты согласно ГОСТ 2.106 в общем случае должен содержать:
– расчетную схему элемента;

- задачу расчета (с указанием, что необходимо определить при расчете);
- исходные данные и условия для расчета;
- расчет;
- выводы по результатам расчета.

Расчетную схему допускается вычерчивать в произвольном масштабе, обеспечивающем четкое представление о рассчитываемом элементе.

Более подробные требования к оформлению и построению пояснительной записки, в том числе и к оформлению формул, примечаний и ссылок, иллюстраций, таблиц и приложений приведены в работе [2].

4 ОФОРМЛЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

4.1 Общие требования

Графическая часть курсового проекта должна выполняться на листах формата А1 (594×841 мм) по ГОСТ 2.301–68. Допускается применять другие форматы по ГОСТ 2.301, как правило, оставляя постоянной короткую сторону листа (594 мм). Обозначение производного формата составляется из обозначения основного формата и его кратности, например, А0×2, А2×3 и т.д. Каждый заглавный лист графического материала снабжается основной надписью по форме 1 (ГОСТ 2.104-68) – см. приложение Д. В графах основной надписи указывают следующее:

графа 1 – наименование изделия в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109–73, например, «Клапан предохранительный»;

графа 3 – обозначение материала детали (заполняется только на чертежах деталей).

Чертежи и схемы должны выполняться в соответствии с правилами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), Единой системы технологической документации (ЕСТД) и Государственными стандартами (ГОСТ). Диаграммы выполняются в соответствии с требованиями ГОСТ 2.319-81.

4.1.1 Правила выполнения схем

Правила выполнения и оформления схем установлены стандартами седьмой группы ЕСКД.

Схемы в зависимости от входящих в состав изделия элементов подразделяются на следующие виды, обозначаемые буквами (ГОСТ 2.701–84): электрические – Э, гидравлические – Г, вакуумные – В, пневматические – П, кинематические – К, оптические – Л, газовые – Х, автоматизации – А, комбинированные – С.

В зависимости от основного назначения схемы делятся на типы, обозначаемые цифрами: структурные – 1, функциональные – 2, принципиальные (полные) – 3, соединений (монтажные) – 4, подключения – 5, общие – 6, расположения – 7, прочие – 8, объединенные – 0.

Если в состав изделия входят элементы разных видов, разрабатывают одну *комбинированную схему* (например, схему электропневматическую принципиальную) или несколько схем различного вида, но одного типа (например, схему электрическую принципиальную и схему пневматическую принципиальную). Наименование схемы определяется ее видом и типом, например: «Схема пневматическая принципиальная», «Схема гидравлическая соединений (монтажная)».

Схемы выполняются на листах стандартных форматов, предпочтительно основных. При необходимости схему определенного вида и типа допускается выполнять на нескольких листах. Можно также вместо одной схемы определенных вида и типа выполнять совокупность схем того же вида и типа (на различные части изделия), каждая схема должна быть оформлена как самостоятельный документ.

На принципиальной схеме все гидравлические и пневматические элементы и устройства изображаются в виде условных графических обозначений согласно ГОСТ 2780–96, 2781–96, 2782–96. Все элементы и устройства изображают на схемах, как правило, в исходном положении: пружины – в состоянии предварительного сжатия, электромагниты – обесточенными, трехпозиционные распределители – в среднем положении и т.п. Каждый элемент и устройство должны иметь буквенно-цифровое позиционное обозначение, состоящее из буквенного обозначения (например, насос – Н, фильтр – Ф и т.д.; применяемые обозначения приведены в приложении Е) и порядкового номера в пределах группы элементов (например Н1, Н2, Н3 и т.п.). Порядковые номера должны быть присвоены в соответствии с последовательностью расположения элементов и устройств на принципиальной схеме сверху вниз в направлении слева направо. Если в состав изделия входят несколько одинаковых устройств, то позиционное обозначение элементам следует присваивать в пределах этих устройств.

Позиционные обозначения на принципиальной схеме проставляются рядом с условными графическими обозначениями элементов с правой стороны или над ними, и цифры выполняются одним размером шрифта.

На принципиальной схеме в виде таблицы приводится перечень элементов в алфавитном порядке с их позиционным обозначением, типом и их количеством; в примечании указываются основные параметры элемента (давление, расход, размеры двигателей, скорости движения и др.). Основные параметры гидропневмосистем приведены в приложении Л. Правила заполнения перечня

элементов регламентирует ГОСТ 2.704–76.

Перечень элементов помещают на первом листе схемы с расстоянием от основной надписи не менее 12 мм (приложение Ж). Основную надпись и дополнительные графы к ней выполняют по ГОСТ 2.104-68. Продолжение перечня элементов на схемах помещают слева от основной надписи, повторяя головку таблицы. В графе «Поз. обозначение» указывается позиционное обозначение элемента, устройства; в графе «Наименование» – наименование элемента в соответствии с документом, на основании которого этот элемент применен; в графе «Кол.» – количество одинаковых элементов; в графе «Примечание» при необходимости приводятся технические данные элемента, не содержащиеся в его наименовании. Элементы одного типа с одинаковыми гидравлическими (или пневматическими) параметрами, имеющие на схеме последовательные порядковые номера, записываются и перечень элементов в одну строчку. В этом случае в графу «Поз. обозначение» вписывают позиционные обозначения с наименьшим и наибольшим порядковыми номерами, например распределители P3...P7, а в графу «Кол.» – общее количество таких элементов.

Всем линиям связи присваиваются порядковые номера 1,2,3,..., как правило, в направлении потока; дренажные линии нумеруются в последнюю очередь. Номера обычно ставятся около обоих концов линий. Кроме перечня элементов на принципиальной схеме приводится таблица всех основных движений, реализуемых приводом, с указанием номеров включаемых при этом управляющих устройств распределителей.

Правила выполнения рабочих и сборочных чертежей, надписей на чертежах, технических требований, технических характеристик и таблиц приведены в работе [2].

4.2 Спецификация

В соответствии с ГОСТ 2.108–68 спецификация составляется на отдельных листах формата А4 на каждую сборочную единицу, комплекс и комплект, формы спецификации приведены в приложениях И и К.

В спецификацию вносят составные части, входящие в специфицируемое изделие, а также конструкторские документы, относящиеся к этому изделию и к его неспецифицируемым составным частям.

Спецификация определяет состав сборочной единицы, комплекса и комплекта и необходима для изготовления, комплектования конструкторских документов и планирования запуска в производство указанных изделий.

Спецификации составляются на сборочные единицы, на разрабатываемую гидравлическую или пневматическую систему машины или установки и ее составные части, на которые студентом разрабатываются сборочные чертежи.

Спецификация в общем случае состоит из следующих основных разделов, которые располагаются в такой последовательности:

- документация;
- сборочные единицы;
- детали;
- стандартные изделия;
- прочие изделия;
- материалы.

Наличие тех или иных разделов определяется составом специфицируемого изделия. Наименование каждого, раздела указывают в виде заголовка в графе «Наименование» и подчеркивают.

Графы спецификации заполняют следующим образом:

1 В графе «Формат» указывают форматы документов, обозначения которых записывают в графе «Обозначение». Если документ выполнен на нескольких листах различных форматов, то в графе проставляют "звездочку" – *), а в графе «Примечание» перечисляют все форматы в порядке их увеличения. Например: *А2, А1, А0. Для деталей, на которые не выпущены чертежи, в графе «Форматы» указывают: БЧ.

Для документов, записанных в разделы «Стандартные изделия», «Прочие изделия» и «Материалы», графу не заполняют.

2 В графе «Зона» указывают обозначение зоны, в которой находится номер позиции записываемой в спецификацию составной части. Графу заполняют в том случае, если чертеж разделен на зоны.

3 В графе «Поз.» указывают порядковые номера составных частей, непосредственно входящих в специфицируемое изделие. Для раздела «Документация» графу не заполняют.

4 В графе «Обозначение» указывают:

- в разделе «Документация» – обозначение записываемых документов;
- в разделах «Сборочные единицы», «Детали» – обозначения основных конструкторских документов на записываемые в эти разделы изделия (за основные конструкторские документы принимают: для сборочных единиц – спецификацию, для деталей – чертеж детали);
- в разделах «Стандартные изделия», «Прочие изделия» и «Материалы» графу не заполняют.

Примечание. Порядок обозначения конструкторских документов при курсовом проектировании изложен в разделе 4.3 «Обозначения».

5 В графе «Наименование» указывают:

- в разделе «Документация» для документов, входящих в основной комплект документов специфицируемого изделия и составляемых на данное изделие, – только наименование документов, например: «Сборочный чертеж»,

«Схема гидравлическая принципиальная», «Расчеты»; в разделах «Сборочные единицы», «Детали» – наименование изделий в соответствии с основной надписью на основных конструкторских документах этих изделий;

– в разделе «Стандартные изделия» – наименования и обозначения изделий в соответствии со стандартами на эти изделия;

– в разделе «Прочие изделия» – наименования и условные обозначения изделий в соответствии с документами на их поставку;

– в разделе «Материалы» – обозначения материалов, установленные в стандартах на эти материалы.

6 В графе «Кол.» указывают:

– для составных частей изделия, записываемых в спецификацию, количество их на одно специфицируемое изделие;

– в разделе «Материалы» – общее количество материалов на одно специфицируемое изделие с указанием единиц измерения. Единицы измерения допускается записывать в графе «Примечание»;

– в разделе «Документация» графу не заполняют.

7 В графе «Примечание» указывают дополнительные сведения для планирования и организации производства, а также другие сведения, относящиеся к записанным в спецификацию изделиям, материалам и документам.

После каждого раздела спецификации необходимо оставлять несколько свободных строк для дополнительных записей. Допускается резервировать и номера позиций, которые проставляют в спецификацию при заполнении резервных строк.

В разделе «Стандартные изделия» записывают изделия, применяемые по:

– государственным стандартам;

– отраслевым стандартам;

– стандартам предприятий.

В пределах категории стандартов запись производят по группам изделий, объединенных по их функциональному назначению (крепежные изделия, подшипники, уплотнения и т.д.); в пределах каждой группы – в алфавитном порядке наименований изделий, в пределах каждого наименования – в порядке возрастания обозначений стандартов, а в пределах каждого обозначения стандарта – в порядке возрастания основных параметров или размеров изделия.

В раздел «Прочие изделия» вносят изделия, примененные не по основным конструкторским документам (по техническим условиям, каталогам, прейскурантам и т.п.), за исключением стандартных изделий. В этот раздел вносятся, например, элементы гидро- и пневмооборудования (насосы, компрессоры, гидро- и пневмомоторы, цилиндры, дроссели, предохранительные клапаны, распределители и т.д.), заимствованные детали и сборочные единицы других изделий, внесенных в прейскуранты.

В раздел «Материалы» вносят все материалы, непосредственно входящие в специфицируемое изделие, количество которых может быть определено конструктором по размерам элементов изделия (проволока, кабели, припой, провода и т.д.).

4.3 Обозначения

Обозначение изделий в курсовых проектах должно включать:

- а) индекс проекта;
- б) индекс разрабатываемого изделия;
- в) номер сборочной единицы, внесенной в спецификацию разрабатываемого изделия;
- г) номер сборочной единицы;
- д) номер детали;
- е) шифр конструкторского документа.

Согласно ГОСТ 2.102-68 основным конструкторским документам (чертеж детали, спецификация) шифр не присваивается.

Индекс проекта складывается из начальных букв названия высшего учебного заведения и начальных букв, определяющих основное содержание проекта, разделенных точкой, например: БНТУ.КП. – Белорусский национальный технический университет. Курсовой проект.

Индекс разрабатываемого изделия обозначается номером группы и цифрой порядкового номера студента в его зачетной книжке вне зависимости от специальности и специализации, а также формы обучения; например, 101711.05, 101721.07.

Номер сборочной единицы, внесенной в спецификацию разрабатываемого изделия, записывается в пределах двух следующих цифр обозначения: 01, 02, 03, ..., 99.

Номер сборочной единицы, которая входит в состав сборочной единицы, внесенной в спецификацию разрабатываемого изделий, записывается двумя следующими цифрами обозначения: 01, 02, 03, ..., 99.

Номер детали записывается тремя следующими цифрами обозначениями: 001, 002, 003, ..., 999.

Между индексами проекта и изделия ставится "-" (тире), каждые последующие номера обозначения отделяются от предыдущего точкой.

Согласно ГОСТ 2.102–68 конструкторские документы имеют шифр:

- сборочный чертеж – СБ;
- габаритный чертеж – ГЧ;
- расчеты – РР;
- схемы – по ГОСТ 2.701-84.

Шифр схемы включает обозначения вида и типа, например, ГЗ, ПЗ, СЗ, ГЧ.

В соответствии с изложенным, при курсовом проектировании обозначения будут иметь вид:

- а) спецификация разрабатываемого изделия –
БНТУ.КП–101711.05.00.00.000;
- б) сборочный чертеж разрабатываемого изделия –
БНТУ.КП – 101711.05.00.000СБ;
- в) схема гидравлическая принципиальная –
БНТУ.КП – 101711.05.00.00.000ГЗ;
- г) схема кинематическая принципиальная –
БНТУ.КП – 101711.05.00.00.000КЗ;
- д) расчеты – БНТУ.КП – 101711.05.00.00.000РР;
- е) спецификация сборочных единиц, внесенных в спецификацию разрабатываемого изделия, например:
 - «Распределитель» – БНТУ.КП – 101711.05.01.00.000;
 - «Клапан ускорительный» – БНТУ.КП – 101711.05.02.00.000;
- ж) сборочные чертежи сборочных единиц, указанных в п. «ж» –
БНТУ.КП – 101711.05.01.00.000СБ;
БНТУ.КП – 101711.05.02.00.000СБ;
- з) спецификации сборочных единиц, которые входят в состав сборочных единиц, внесенных в спецификацию разрабатываемого изделия, например:
 - «Корпус распределителя» – БНТУ.КП – 101711.05.01.01.000;
 - «Корпус клапана» – БНТУ.КП – 101711.05.02.01.000;
- и) сборочные чертежи сборочных единиц, указанных в п. «и» –
БНТУ.КП – 101711.05.01.01.000СБ;
БНТУ.КП – 101711.05.02.01.000СБ;
- к) чертеж детали, входящей в состав сборочной единицы, указанной в п. «ж», например
«Золотник» – БНТУ.КП – 101711.05.01.00.003;
- л) чертеж детали, входящей в состав сборочной единицы, указанной в п. «и», например
«Крышка» – БНТУ.КП – 101711.05.02.01.004;
- м) чертеж детали, внесенной в спецификацию разрабатываемого изделия, например
«Плита» – БНТУ.КП – 101711.05.00.00.002.

5 СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

5.1 Структура и классификация дискретных систем управления

Технологические процессы, автоматизируемые с помощью гидравлических и пневматических приводов, представляют собой определенную последовательность операций, в соответствии с которой срабатывают исполнительные устройства (ИУ) машины или установки. Функции управления работой ИУ выполняют связанные между собой и объектами управления элементы, образующие систему управления (СУ). В процессе автоматической работы на вход СУ поступают сигналы, характеризующие состояние объектов управления, а также управляющие сигналы от программных устройств, преобразователей, контролирующих состояние внешней среды, оператора и т.п. Эти сигналы управления называются входными. В зависимости от состояния входных сигналов СУ формирует выходные сигналы, управляющие работой ИУ. В гидравлических и пневматических СУ носителем информации является давление рабочей среды, а сигналы управления (входные и выходные) представляют собой потoki жидкости или воздуха под давлением.

В зависимости от типа ИУ и организации управления ими СУ могут быть непрерывными (аналоговыми) и дискретными. Непрерывные СУ используют ИУ без жесткофиксированных рабочих положений (стабилизирующие, следящие устройства), реагирующие на изменение уровня управляющего сигнала. В дискретных системах управления (ДСУ) используются ИУ с фиксированными рабочими положениями, которые срабатывают периодически и управляются аппаратурой с релейными характеристиками. Сигналы управления могут принимать одно из двух значений, обозначаемых «1» или «0». Значение «1» соответствует наличию сигнала с принятым уровнем рабочего давления, значение «0» – отсутствию сигнала и атмосферному уровню давления. Передаются сигналы управления по гидравлическим или пневматическим линиям. В структуре гидравлических и пневматических дискретных систем можно выделить три составные части (рисунок 5.1): энергетическую (I), исполнительную (II) и управляющую (III).

Энергетическая часть включает в себя источник питания и приборы подготовки рабочей среды. В гидросистеме источником питания является насосная установка с одним или несколькими насосами, а функции подготовки рабочей жидкости (РЖ) выполняют фильтры и клапаны регулировки давления. Для пневматических систем источником питания служит пневмомагистраль или индивидуальная компрессорная установка. Для подготовки воздуха используется аппаратура подготовки.

Исполнительную часть дискретной системы образуют гидравлические или пневматические двигатели дискретного действия, приводящие в движение ИУ машины или установки.

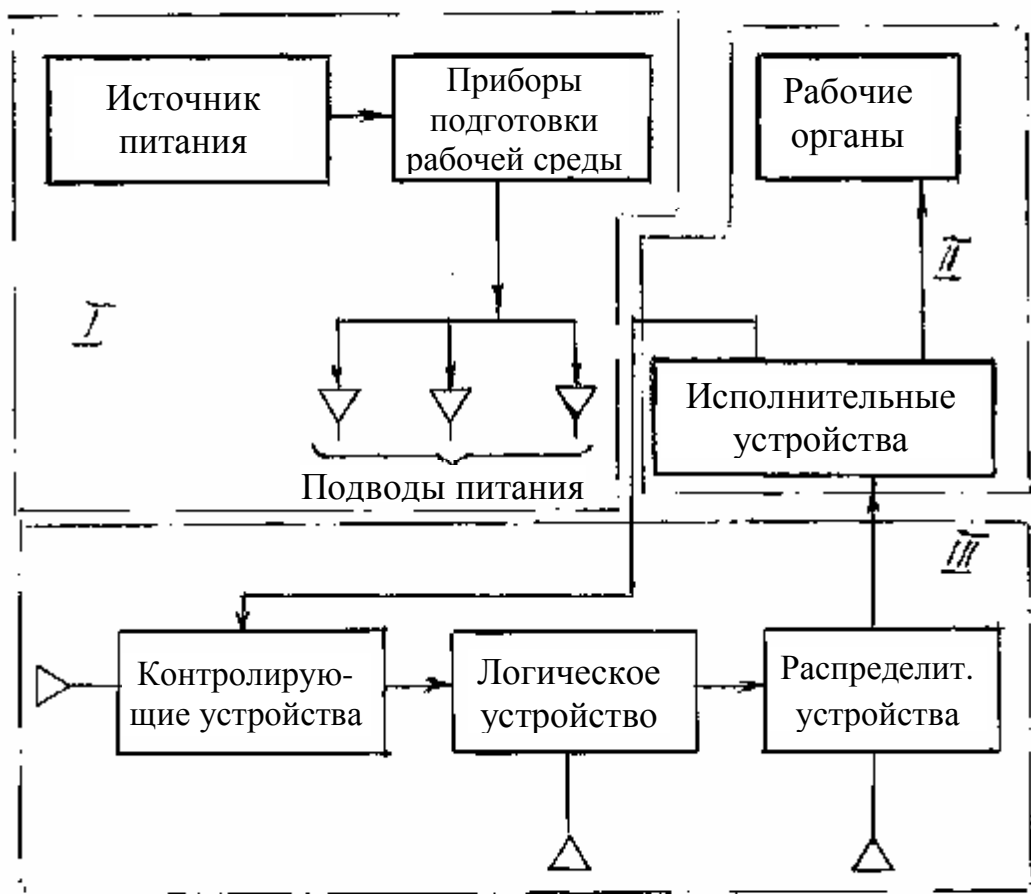


Рисунок 5.1 – Структурная схема дискретной системы

Основные элементы управляющей части – логическое устройство, контролирующие и распределительные устройства. Логическое устройство образуется набором связанных между собой логических элементов, которое обеспечивает образование выходных сигналов, управляющих распределителями, в зависимости от входных сигналов, поступающих от устройств, контролирующих срабатывание дискретных двигателей системы. Однако информации о фактическом состоянии ИУ на различных этапах выполнения рабочего цикла часто бывает недостаточно для однозначной реакции логического устройства, особенно если при работе системы имеются повторения состояний ИУ. В этих случаях требуется добавочная информация о том, на каком этапе работы находится система. Она поступает в виде дополнительных входных сигналов от запоминающих устройств – триггеров. Количество логических элементов, в том числе и триггеров, характер их взаимосвязей в логическом устройстве, опреде-

ляются структурным синтезом ДСУ.

Контролирующими устройствами образуются входные дискретные сигналы, которые фиксируют факт выполнения команд логического устройства. Этим осуществляется обратная связь (ОС) между исполнительными и управляющими частями системы. В зависимости от способа контроля применяют разнообразные типы и конструкции контролирующих устройств, но в своей основе это распределители дискретного действия.

Распределительные устройства служат для непосредственного управления дискретными двигателями путем переключения потоков жидкости или сжатого воздуха. Поскольку распределители выступают также в роли контролирующих устройств и логических элементов, то принято разделять их соответственно на главные, командные и вспомогательные.

В управляющую часть дискретной системы могут быть включены дополнительные структурные элементы: программное задающее устройство (ПЗУ); переключатель режима работы; преобразователи; усилители и т.п. С помощью ПЗУ можно изменить последовательность работы исполнительных механизмов (ИМ), исключить некоторые технологические операции, изменить продолжительность операций и всего рабочего цикла машины или установки.

Большинство машин и установок с ДСУ, кроме работы в автоматическом или полуавтоматическом режиме, требуют наладочного управления, при котором оператор может проверить работу отдельных механизмов, провести необходимые регулировки и настройки.

В наладочном режиме должны быть прерваны логические связи, обеспечивающие последовательную автоматическую работу ИУ, а для каждого из них должно быть предусмотрено независимое управление. Для этого применяют переключатели режимов работы в сочетании с пультами наладочного управления.

Потребность в преобразователях (пневмогидравлических, электропневматических, пневмогидравлических и т.п.) и усилителях (пневматических, пневмогидравлических) возникает в тех случаях, когда в ДСУ используются различные виды и уровни энергии.

Гидравлические и пневматические ДСУ классифицируют по ряду признаков:

– по виду используемой энергии в исполнительных и управляющих частях ДСУ (гидравлические, пневматические, пневмогидравлические, электрические и электропневматические);

– по виду источника питания (автономный, централизованный);

– по уровню рабочего давления (низкого, среднего и высокого давлений);

– по наличию контроля выполнения команд (замкнутые и разомкнутые).

В замкнутых ДСУ выполнение дискретными двигателями каждой коман-

ды фиксируется контролирующими устройствами, сигналы от которых поступают на входы логического устройства. Последующие команды не подаются, если не выполнены предыдущие. Тем самым блокируются исполнительные устройства. В разомкнутых ДСУ выполнение команд не контролируется. Из-за низкой надежности их мало применяют.

По способу контроля выполнения команд замкнутые ДСУ могут быть с путевым контролем, контролем по времени, по давлению (усилию) и со смешанным контролем. Часто вместо способа контроля говорят о виде управления (управление путевое, временное, в функции давления или усилия и смешанное). Выбор способа контроля и соответствующих ему контролирующих устройств зависит от условий работы дискретных двигателей и характера выполняемых ими технологических операций. Контролируют обычно параметр, наиболее точно свидетельствующий о выполнении данной команды. Выбирая тип контролирующего устройства, руководствуются соображениями надежности, размеров, массы, стоимости, удобства расположения, занятости рабочей зоны машины и т.п.

Наиболее часто используют путевой контроль выполнения команд, как самый надежный. Недостатки этого способа контроля – загромождение рабочей зоны ИЦ, большая разветвленность трубопроводов, практическая невозможность переналадки из-за необходимости перемонтажа трубопроводов.

Контроль по времени реализуют, применяя устройства типа клапанов выдержки времени. Системы с временным контролем отличаются компактностью управляющей части и удобством расположения элементов управления, допускают переналадку. Но их надежность значительно ниже, чем систем с путевым управлением. Хотя для срабатывания ИУ при настройке временных задатчиков отводится необходимое время с некоторым запасом, сам факт срабатывания не контролируется, что может привести к нарушению рабочего цикла. Кроме того, из-за запасов по времени увеличивается продолжительность цикла и снижается производительность машины или установки.

Контроль по давлению или усилию обычно используют в зажимных устройствах и реализуют с помощью гидравлических и пневматических реле давления и клапанов последовательности.

В системах со смешанным контролем сочетаются различные способы контроля выполнения команд, чем достигается оптимальный для данных условий вариант ДСУ.

По типу аппаратуры, используемой в управляющей части ДСУ различают системы струйные, струйно-мембранные, мембранные, клапанно-распределительные и др. Тип элементов, реализующих логические функции, согласовывают с типами датчиков состояния и главных распределителей (распределителей силовой части).

По условиям работы ДСУ делят на однотактные и многотактные (цикловые). К однотактным относятся такие ДСУ, в которых комбинации выходных сигналов управляющей части определяются только состоянием входных сигналов в данный момент времени и не зависят от предыдущих их состояний. В многотактных ДСУ комбинации выходных сигналов зависят не только от состояния входных сигналов в данный момент времени работы системы, но и от предшествующих состояний входов и выходов. Информация о предшествующих состояниях вводится с помощью триггеров. Многотактные ДСУ обычно называют цикловыми. Под циклом понимают определенную последовательность работы ИУ, после выполнения которой они занимают положение, принятое за исходное. Цикл принято разделять на такты. Под тактом понимают интервал времени в работе ДСУ, в течение которого комбинации входных и выходных сигналов (включая сигналы от триггеров) неизменны. Для цикловых ДСУ характерна строгая последовательность выполнения тактов. В однотактных ДСУ чередование тактов произвольно.

Выбрать оптимальный вариант структуры управляющей части ДСУ возможно лишь, используя при проектировании методы структурного синтеза, базирующиеся на формализованном представлении условий работы ДСУ и применении аппарата математической логики.

Задача структурного синтеза ДСУ – определить достаточный и необходимый набор логических элементов, обеспечивающий соответствие входных и выходных сигналов заданным условиям работы системы. Определение минимально необходимого количества логических элементов и их взаимосвязей носит название задачи минимизации.

При проектировании ДСУ исходят из условий ее работы, под которыми понимаются:

- 1) требуемая последовательность технологических операций и работы ИУ данной машины или установки;
- 2) необходимые режимы управления – автоматический, полуавтоматический, наладочный;
- 3) особенности технологических операций и связанная с ними необходимость применения определенного способа контроля выполнения команд, тип контролируемых и исполнительных устройств;
- 4) ориентация на определенный вид аппаратуры управления, связанная с условиями эксплуатации, наличием аппаратуры, возможностью ее приобретения или изготовления, ее надежностью, стоимостью;
- 5) требования по охране труда, технике безопасности и предупреждению брака – потребность в аппаратуре контроля и защиты, в дополнительных блокировках, предотвращающих аварийные ситуации и т.п.;
- б) требования по удобству и расположению органов управления, по кон-

структивному и эстетическому оформлению устройств, узлов и машины или установки в целом.

На первом этапе структурного синтеза – составление уравнений выходных сигналов – принимают во внимание описанные выше пп. 1 и 2, а также выбирают тип главных (силовых) распределителей (если он не задан), т.к. от этого зависит выбор метода структурного синтеза. Способы контроля выполнения команд, типы устройств контроля и средства реализации логических функций не конкретизируются. По полученным уравнениям строят структурную схему ДСУ, на которой символически представляют ИУ, главные распределители устройства контроля в виде конечных выключателей и логические операторы.

Второй этап структурного синтеза – элементная реализация логических функций и построение принципиальной схемы ДСУ. При этом выбирают аппаратуру управления, устанавливают способы контроля выполнения команд и типы контролируемых устройств. При необходимости в схему вводят переключатель режимов работы, устройства для управления в наладочном режиме, дополнительные блокировки, средства защиты, а также задатчики закона движения ИУ – дроссели, стабилизаторы скорости, тормозные устройства.

Следует отметить, что построение структурной схемы ДСУ по полученным уравнениям является необязательным.

5.2 Логические функции и их реализация средствами гидропневмоавтоматики

Математическим аппаратом синтеза ДСУ служит двухзначная алгебра логики или булева алгебра, в частности ее раздел «Исчисление высказываний». Алгебра логики позволяет свести операции с логическими заключениями к формальным действиям над символами, т.е. оперировать логическими рассуждениями, как математика алгебраическими символами. Двухзначная алгебра изучает связи между высказываниями, которые могут принимать одно из двух значений – быть истинными или ложными. Истинность обозначается символом «1», ложность – «0». Высказывания могут быть простыми и сложными. Простое высказывание – предложение, устанавливающее некоторый факт, неограниченный какими-либо дополнительными условиями. В алгебре логики простые высказывания называются логическими переменными. В дальнейшем они будут обозначаться символами x_1, x_2, \dots, x_n . Два и более простых высказываний, связанных в одном предложении с помощью логических связей типа И, ИЛИ, НИ ... НИ, ЕСЛИ ... ТО и др., образуют сложное высказывание. Его истинность или ложность зависит как от истинности или ложности простых

высказываний, так и от характера логических связей между ними. Сложные высказывания называют логическими функциями, они обозначаются символами y_1, y_2, \dots, y_m . Логические связи между простыми высказываниями называются логическими операциями. Множество логических функций при данном числе переменных может быть определено как $2^{2^n} = K$, где K – количество возможных функций; n – число переменных.

При структурном синтезе ДСУ входные сигналы, поступающие в логическое устройство, рассматриваются как логические переменные, а выходные сигналы – как логические функции. Логические зависимости между входными и выходными сигналами определяются в виде уравнений, для записи которых используется обычно функциональный набор И, ИЛИ, НЕ. В этом случае логические уравнения отличаются по форме записи от обычных алгебраических только использованием знаков инверсии. Действия над уравнениями, их преобразования выполняются по законам весьма близким к законам обычной алгебры. Удобство применения функционального набора И, ИЛИ, НЕ состоит в том, что входящие в него функции реализуются в дискретной технике с помощью достаточно простых устройств, на базе которых строятся логические цепи любой сложности. При этом нет затруднений при переходе от логических уравнений к их элементной реализации.

Уравнения выходящих сигналов, по которым строятся структурная и принципиальная схемы проектируемой ДСУ, должны быть приведены к минимальному и наиболее соответствующему функциональным возможностям логических элементов виду. При минимизации и преобразованиях используются законы и соотношения двухзначной алгебры логики, базирующиеся на следующей системе аксиом: если логическая переменная « x » может принимать только одно из двух значений: 0 или 1, причем $x=0$, если $x \neq 1$, и $x=1$, если $x \neq 0$, то

$$0 \cdot 0 = 0; \quad 1 + 1 = 1; \quad 1 \cdot 1 = 1; \quad 0 + 0 = 0; \quad 1 \cdot 0 = 0 \cdot 1 = 0; \quad 0 + 1 = 1 + 0 = 1.$$

Основные законы двухзначной алгебры логики:

1 Закон перемещений (коммутативный):

$$x_1 x_2 = x_2 x_1; \quad x_1 + x_2 = x_2 + x_1$$

(результат не зависит от порядка следования переменных).

2 Распределительный закон (дистрибутивный)

$$x_1(x_2 + x_3) = x_1 x_2 + x_1 x_3; \quad x_1 + x_2 x_3 = (x_1 + x_2)(x_1 + x_3).$$

3 Сочетательный закон (ассоциативный):

$$x_1(x_2 x_3) = (x_1 x_2)x_3 = x_1 x_2 x_3; \quad x_1 + (x_2 + x_3) = (x_1 + x_2) + x_3 = x_1 + x_2 + x_3.$$

4 Закон дополнительности:

$$x \bar{x} = 0; \quad x + \bar{x} = 1.$$

5 Закон двойной инверсии:

$$\overline{\overline{x}} = x.$$

6 Закон повторения (тавтологии):

$$xx = x; \quad x + x = x; \quad x \cdot x \dots x = x^n = x; \quad x + x + \dots + x = nx = x.$$

7 Закон нулевого множества:

$$0 \cdot x = 0; \quad 0 + x = x.$$

8 Закон склеивания:

$$x_1x_2 + x_1\overline{x}_2 = x_1; \quad x_1x_2 + \overline{x}_1x_3 + x_2x_3 = x_1x_2 + \overline{x}_1x_3; \quad (x_1 + x_2)(x_1 + \overline{x}_2) = x_1; \\ (x_1 + x_2)(\overline{x}_1 + x_3) = x_1x_3 + \overline{x}_1x_2.$$

9 Закон поглощения:

$$x_1(x_1 + x_2) = x_1; \quad x_1 + x_1x_2 = x_1; \\ x_1(\overline{x}_1 + x_2) = x_1x_2; \quad x_1 + x_1x_2 + x_1x_3 = x_1; \\ x_1(x_1 + x_2)(x_1 + x_3) = x_1; \quad x_1 + \overline{x}_1x_2 = x_1 + x_2.$$

10 Закон инверсирования (правило де Моргана)

$$\overline{x_1x_2} = \overline{x}_1 + \overline{x}_2$$

(инверсия произведения равна сумме инверсий);

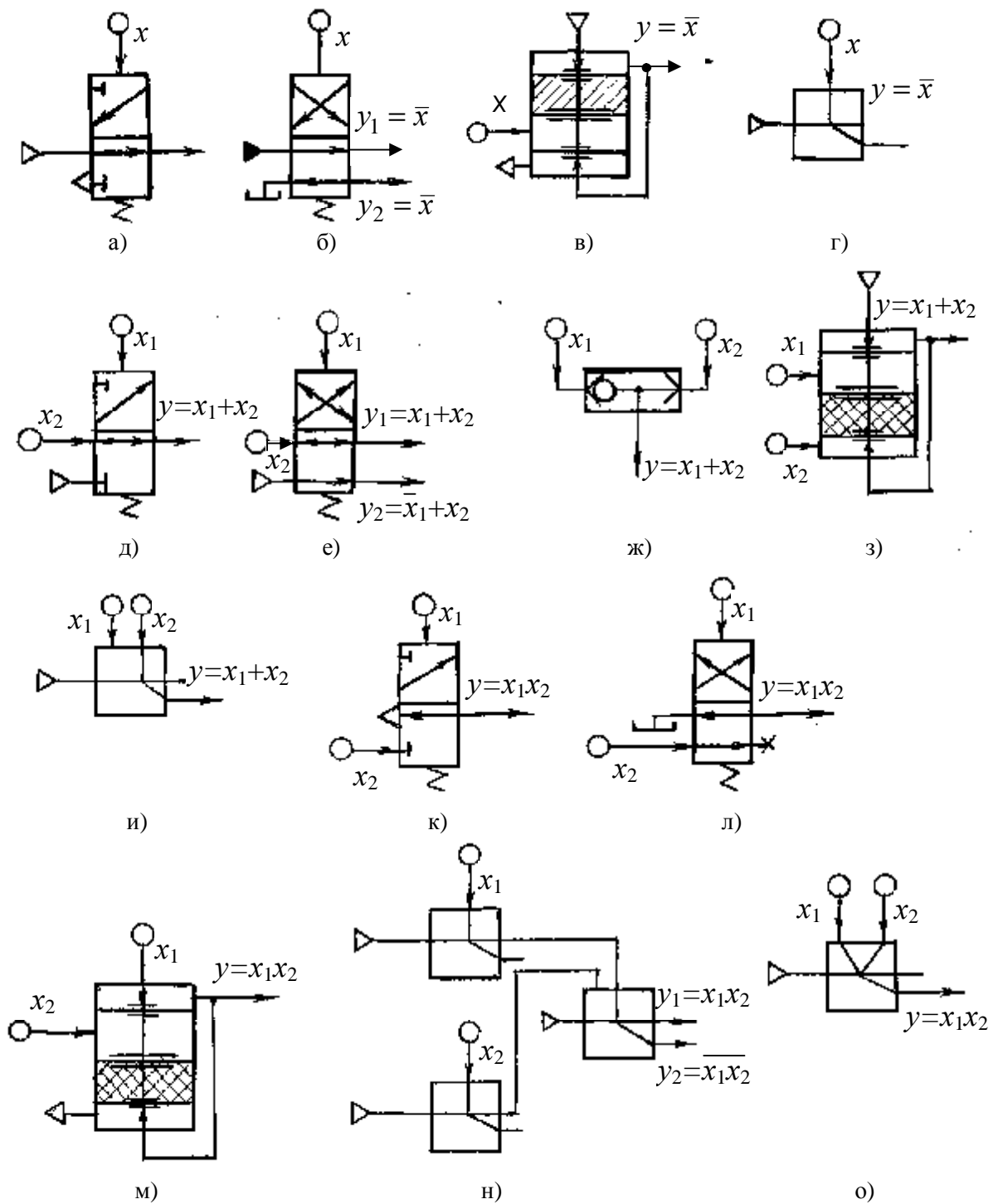
$$\overline{x_1 + x_2} = \overline{x}_1\overline{x}_2$$

(инверсия суммы равна произведению инверсий).

По минимизированным уравнениям выходных сигналов логического устройства строят структурную и принципиальную схемы ДСУ.

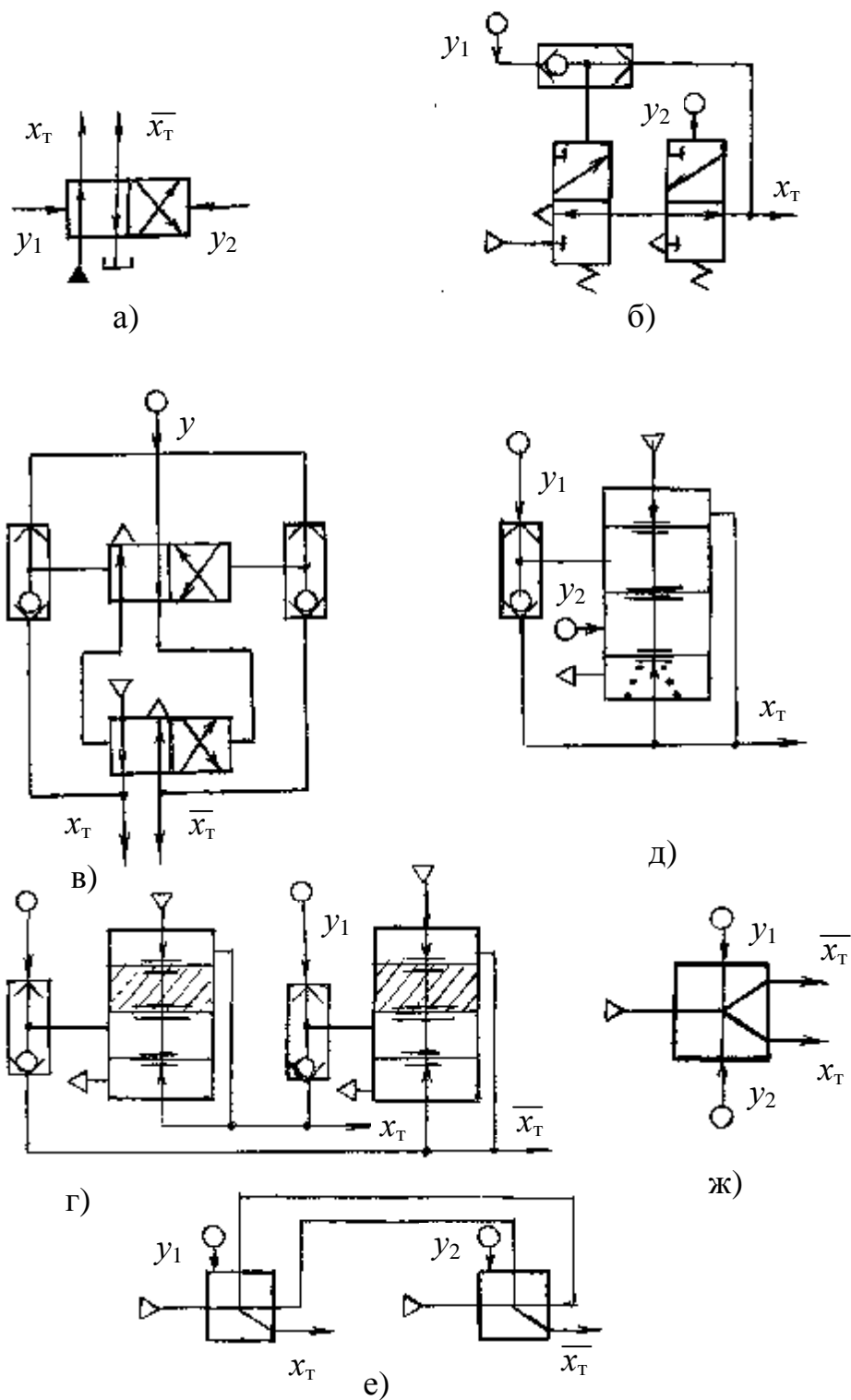
Для построения принципиальной схемы прежде всего выбирается тип аппаратуры, выполняющей логические функции. Необходимо учитывать, что гидравлические и пневматические логические элементы за небольшим исключением универсальны, т.е. позволяют выполнять несколько различных логических операций. Использование функциональных возможностей аппаратуры позволяет уменьшить количество элементов принципиальной схемы по сравнению со структурной. Примеры реализации функций НЕ, ИЛИ, И основного функционального набора средствами гидропневмоавтоматики приведены на рисунке 5.2.

При построении принципиальных схем следует учитывать активность и пассивность логических элементов. Элемент считается активным, если уровень сигнала на его выходе не зависит от уровня входных сигналов. Например, на рисунке 5.2,а-г,и,о элементы являются активными, т.к. их выходные сигналы определяются уровнем давления питания. Логические операции ИЛИ, И на рисунке 5.2,ж,к-м реализуются по пассивным схемам, а на рисунке 5.2,б,е,з – по полуактивным. При последовательном соединении в ряд пассивных элементов сигнал на выходе логической цепи из-за гидравлических потерь может оказаться недостаточным по уровню, что нарушит работу ДСУ. Поэтому в длинных логических цепях приходится чередовать пассивные элементы с активными иногда в ущерб простоте схемы.



а-г – инверсии (НЕ); д-и – дизъюнкции (ИЛИ); к-о – конъюнкции (И)

Рисунок 5.2 – Реализация логических функций основного функционального набора средствами гидропневмоавтоматики



а-в – на клапанно-распределительной аппаратуре; г, д – на элементах УСЭППА;
 е, ж – на струйных элементах

Рисунок 5.3 – Схемы триггеров

Одна из разновидностей логических функций, используемая в многотактных ДСУ – функция, память которой реализуется с помощью триггеров. Применяют триггеры двух типов – с раздельными входами (рисунок 5.3,а,б,г-ж) и со счетным входом (рисунок 5.3,в). Простейший триггер с раздельными входами – распределитель с двухсторонним управлением (рисунок 5,3,а). На его входы с выходов логического устройства поочередно подаются включающий y_1 и выключающий y_2 сигналы. На выходах триггера образуются инверсные относительно друг друга сигналы x_T и \bar{x}_T . Запоминание сигналов – механическое, т.е. переключенный распределительный элемент сохраняет свое положение за счет действия сил трения независимо от того, поддерживается вызвавший переключение сигнал или нет. Триггер с раздельными входами и одним выходом (рисунок 5.3,б) построен на трех клапанах. На этом примере легко убедиться, что логическую функцию «память», как и другие функции, можно выразить через функциональный набор И, ИЛИ, НЕ. Уравнение триггера имеет вид

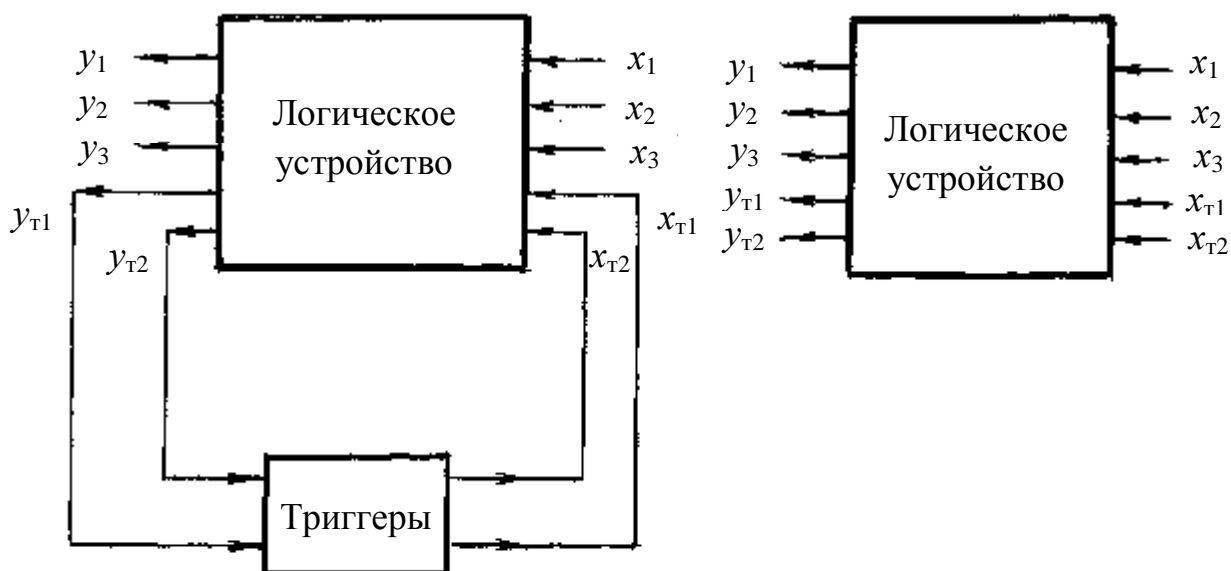
$$x_T = (y_1 + x_T)\bar{y}_2,$$

где y_1 – включающий триггер сигнал; y_2 – выключающий сигнал. Пользуясь уравнением, можно получить и другие варианты триггеров на логических элементах любых систем и любых уровней давления (рисунок 5.3,г-ж). Триггер со счетным входом (рисунок 5.3,в) отличается тем, что имеет только один входной сигнал, поочередная подача сигналов y , на который вызывает его переключение с запоминанием переключенных состояний.

5.3 Структурный синтез многотактных дискретных систем управления

В подавляющем большинстве случаев гидравлические и пневматические дискретные системы многотактные, т.е. они работают по определенному замкнутому циклу такт за тактом с заданной последовательностью движений исполнительных устройств. Выполнение команд управляющей части исполнительными устройствами контролируется конечными выключателями. Комбинации сигналов, поступающих от выключателей на входы логического устройства, могут повторяться, но реакция на них логического устройства должна быть различной и соответствовать запрограммированному циклу. Для определенности логического решения в таких ситуациях нужен ввод в логическое устройство добавочной информации о том, на какой стадии выполнения цикла находится система. Эта информация поступает в виде дополнительных входных сигналов от запоминающих устройств – триггеров. Для управления триг-

герами (их включения и выключения на определенных этапах цикла) с выходов логического устройства подаются дополнительные выходные сигналы. Структуру управляющей части ДСУ упрощенно можно представить в виде логического многополюсника, для которого триггеры образуют обратные связи (ОС) (рисунок 5.4,а). Поэтому многотактные ДСУ называют системами с ОС или автоматами «с памятью».



а – многотактная ДСУ; б – однотоктный эквивалент

Рисунок 5.4 – Логический многополюсник

Большинство методов структурного синтеза многотактных ДСУ базируется на приведении их логического многополюсника к однотоктному эквиваленту (рисунок 5.4,б). Для этого предварительно определяют требуемое число триггеров, затем условно разрывают обратные связи и устанавливают логические зависимости между входными и выходными сигналами. При этом в качестве входных рассматривают не только сигналы от конечных выключателей, но и выходные сигналы триггеров, а в качестве выходных – сигналы управления ИУ и триггерами.

Необходимое число триггеров можно определить двумя путями: последовательно вводя триггеры до полной определенности соответствий выходных сигналов комбинациям входов либо вводя избыточное число триггеров, которое затем по специальной методике сокращается до необходимого минимума.

Основные этапы структурного синтеза многотактной ДСУ следующие:

- 1) задание условий работы дискретной системы, ее рабочего цикла;
- 2) анализ цикла на реализуемость и определение потребности в триггерах;
- 3) выявление последовательности переключений триггеров в течение рабочего цикла;
- 4) составление уравнений выходных сигналов и их минимизация;
- 5) построение структурной и принципиальной схем.

Условия работы многотактной системы могут быть заданы различными способами:

- 1) словесной формулировкой, в которой отражается требуемая последовательность работы ИУ, отмечаются особенности технологических операций, режимы работы, потребность в блокировках и т.п.;
- 2) таблицей состояний или цикловой диаграммой работы ИУ;
- 3) графом;
- 4) системой логических уравнений;
- 5) условной записью.

При выполнении курсового проекта для представления требуемого цикла работы многотактной системы будет пользоваться условной записью.

ИУ, выполняющим технологические операции, присваиваются порядковые номера, и последовательность их срабатывания представляется в виде чередования этих номеров. В полученном таким образом цифровом ряду такты рабочего цикла выделяются с помощью тире, а порядковые номера ИУ, работающих одновременно, разделяются запятыми. Прямому ходу данного ИУ в записи соответствует его порядковый номер, а обратному ходу – тот же номер, но со знаком инверсии. Например, запись $1 - 2 - \bar{1}, \bar{2}$ означает, что в трехтактном цикле два ИУ срабатывают в следующем порядке: 1-й такт – прямой ход первого устройства; 2-й такт – прямой ход второго устройства; 3-й такт – обратный ход обоих исполнительных устройств (ИУ).

Условимся представлять дискретные ИУ в виде цилиндров со втянутыми в исходном положении штоками (рисунок 5.5). Крайние положения подвижных частей контролируются конечными выключателями, подающими входные сигналы $x_1, x_2, \dots, x_{2n-1}, x_{2n}$, где n – порядковый номер ИУ. Исходным положением соответствуют сигналы с нечетными индексами, выдвинутым – сигналы с четными индексами. Способ контроля выполнения команд и тип контролируемых устройств на первых этапах структурного синтеза значения не имеют, а для наглядности показываются как путевые выключатели. Выходные сигналы логического устройства (ЛУ), управляющие распределителями p_1, \dots, p_n , обозначим $y_1, \bar{y}_1, \dots, y_n, \bar{y}_n$ для распределителей с двухсторонним управлением, причем прямые сигналы y_1, y_2, \dots, y_n вызывают переключение распределителей, соответствующие прямым ходам ИУ, а инверсные $\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_n$ – обратным их ходам. Индекс при y совпадает с порядковым номером ИУ. Распределитель p_2

имеет одностороннее управление. При подаче выходного сигнала y_2 он переключается так, что поршень цилиндра выполняет прямой ход, при снятии сигнала – обратный.

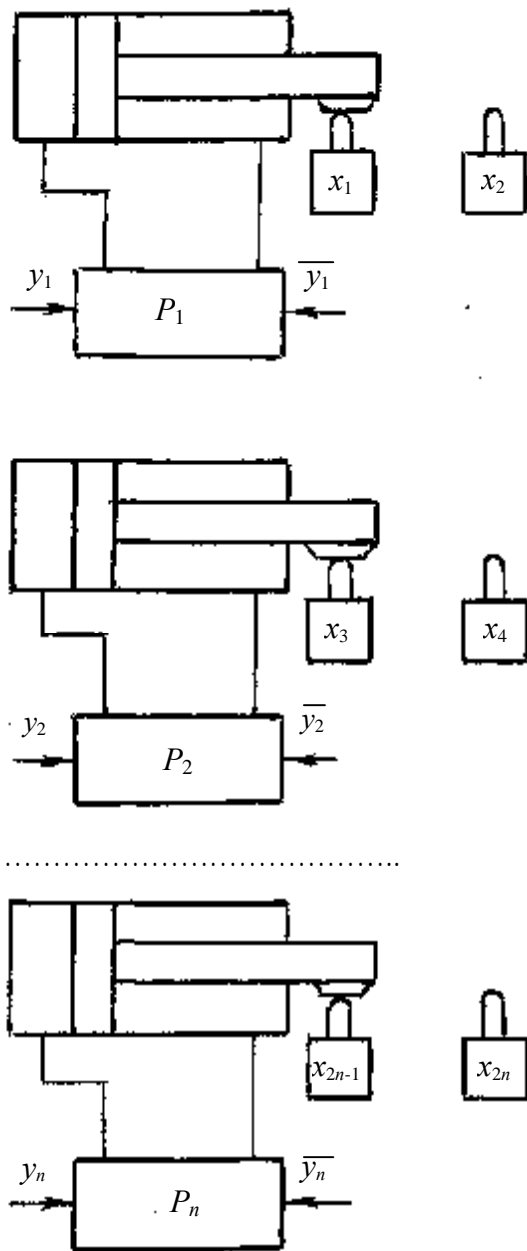


Рисунок 5.5 – Представление дискретных исполнительных устройств при структурном синтезе

Применительно к гидравлическим и пневматическим многотактным ДСУ используют несколько методов структурного синтеза, базирующиеся на общей теории релейных устройств и отличающихся друг от друга способами представления условий работы, анализа на реализуемость, определения потребного

числа триггеров, получения уравнений выходных сигналов и их минимизации. Примерами могут служить методы синтеза по таблицам состояний с последующей минимизацией структуры табличным методом или при помощи матриц Карно; Хафмена; графоаналитический; построение ДСУ с применением логических схем алгоритмов (ЛСА); синтеза с использованием языка циклических процессов (ЯЦП) и др.

При выполнении курсового проекта рекомендуется синтез многотактных ДСУ проводить с помощью графоаналитического метода, суть которого изложена ниже.

5.4 Графоаналитический метод синтеза многотактных дискретных систем управления

Недостаток большинства методов структурного синтеза состоит в том, что даже при сравнительно небольшом усложнении задач (увеличении количества ИУ, входных и выходных сигналов) исчезает простота решения, появляются огромные таблицы матрицы, теряется наглядность, резко возрастают затраты времени, увеличивается вероятность чисто механических ошибок при выполнении несложных, но многочисленных формальных действий. Эти недостатки в основном устранены в графоаналитическом методе структурного синтеза многотактных ДСУ. (Метод разработан на кафедре гидропневмоавтоматики и гидравлики Киевского политехнического института).

Метод базируется на графическом представлении условий работы многотактной системы и использовании цикличности для определения минимальной структуры ДСУ.

Основные этапы структурного синтеза по графоаналитическому методу следующие:

- 1) построение первичного графа и его анализ на реализуемость;
- 2) приведение первичного графа, в случае необходимости, к реализуемому виду;
- 3) построение вторичного графа;
- 4) составление уравнений выходных сигналов;
- 5) построение структурной и принципиальной схем.

5.4.1 Построение первичного графа

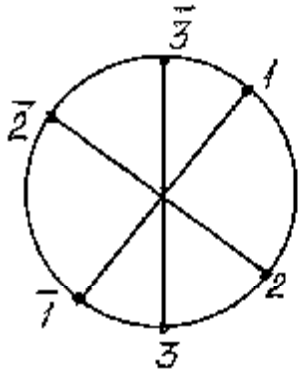
Первичный граф строится для проверки цикла на реализуемость и определения (при необходимости) нужного количества триггеров и последовательности их включения по циклу.

Для этого вначале проводится окружность – символ замкнутого цикла, которую делят на равные дуговые участки по числу тактов в цикле. Точки де-

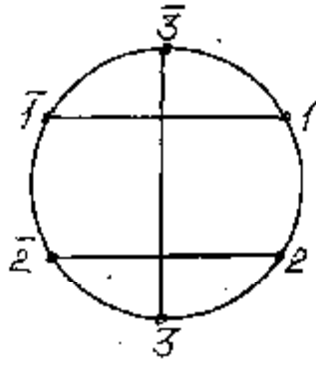
ления образуют вершины графа. Одна из них принимается за исходную и, начиная от нее, при последовательном обходе графа по часовой стрелке его присваиваются порядковые номера исполнительных устройств в соответствии с очередностью их срабатывания, т.е. обозначения вершин точно повторяют принятую форму условной записи цикла (рисунок 5.6). Внутри окружности проводятся линии связи, соединяющие сопряженные вершины. Две вершины являются сопряженными, если в их обозначениях содержатся инверсные по отношению друг к другу порядковые номера, например: 1 и $\bar{1}$, 2 и $\bar{2}$ и т.д.

Линии связи и их пересечения образуют внутри первого графа зоны, по характеру которых можно судить о его реализуемости, а следовательно, и о реализуемости цикла. Под реализуемым будем понимать такой цикл (и его первичный граф), в котором требуемая последовательность работы ИУ обеспечивается без ввода дополнительных запоминающих устройств (триггеров). Признак реализуемости графа – отсутствие в нем неопределенных зон. Зона считается неопределенной, если в ней можно провести хотя бы одну линию неопределенности. Линия неопределенности – линия, соединяющая две любые вершины первичного графа, которая разделяет его линии связи и не пересекает внутри графа ни одной из них. Три типа неопределенных зон, в которых проведены (штриховой линией) линии неопределенности, показаны на рисунке 5.6,г-е. Первый тип (рисунок 5.6,г) характерен для циклов с совпадающими тактами; неопределенные зоны второго и третьего типов (рисунок 5,6,д,е) имеют место в первичных графах для циклов без совпадающих тактов. В некоторых условиях, связанных с быстродействием ИУ, срабатывающих в одном такте, такие циклы нарушаются. Их нереализуемость скрытая, но требует развязки.

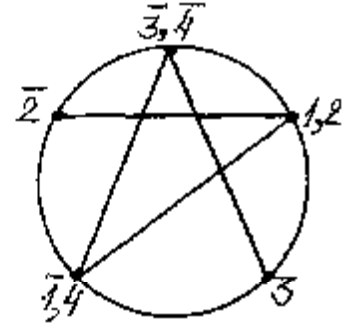
В первичных графах на рисунке 5.6,а-в невозможно провести хотя бы одну линию неопределенности, т.е. они реализуемы. Для приведения нереализуемого графа к реализуемому виду нужно провести в нем все возможные линии неопределенности и пересечь их минимальным числом дополнительных линий связи так, чтобы эти линии пересекались с максимально возможным числом основных линий связи и между собой. Пересечения каждой дополнительной линии связи с окружностью графа образуют в нем две дополнительные вершины и добавляют два дополнительных такта. Дополнительные вершины – новые состояния, образующиеся при вводе триггера. Дополнительные такты необходимы для его переключений. Положение дополнительных вершин на окружности графа определяет последовательность включения и выключения каждого из введенных триггеров в реализуемом цикле. Примеры приведения нереализуемых графов (рисунок 5.6,г-е) к реализуемому виду показаны на рисунке 5.6,ж-и. В каждом из них для развязки достаточно ввести один триггер с вершинами T, \bar{T} .



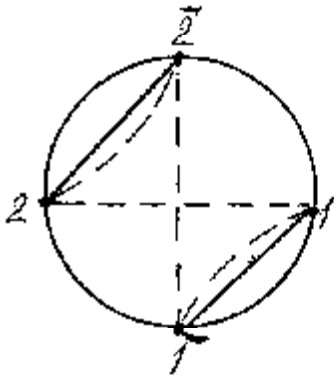
а)



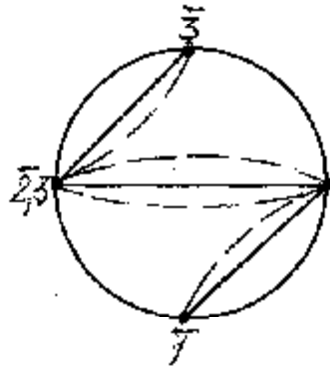
б)



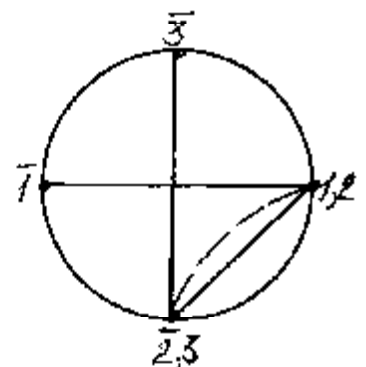
в)



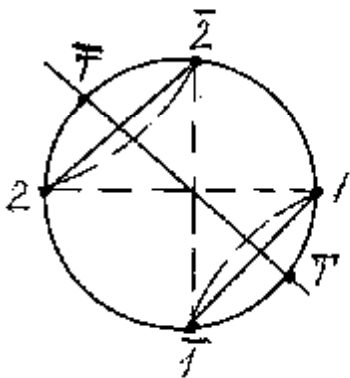
г)



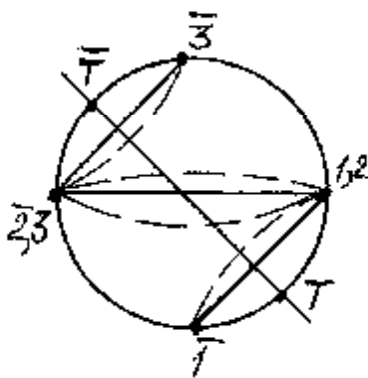
д)



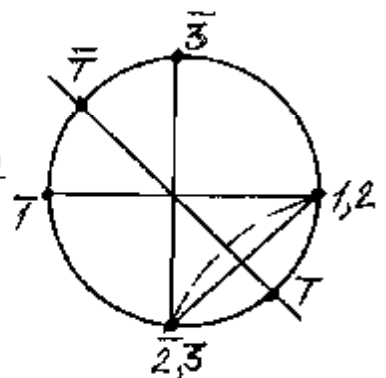
е)



ж)



з)



и)

а – 1-2-3- $\bar{1}$ - $\bar{2}$ - $\bar{3}$; б – 1-2-3- $\bar{2}$ - $\bar{1}$ - $\bar{3}$; в – 1,2-3- $\bar{1}$,4- $\bar{2}$ - $\bar{3}$,4;
 г – 1- $\bar{1}$ -2- $\bar{2}$; д – 1,2- $\bar{1}$ - $\bar{2}$,3- $\bar{3}$; е – 1,2- $\bar{2}$,3- $\bar{1}$ - $\bar{3}$; ж – 1- $\bar{1}$ -2- $\bar{2}$ - $\bar{1}$ - $\bar{2}$;
 з – 1,2- $\bar{1}$ - $\bar{2}$,3- $\bar{1}$ - $\bar{3}$; и – 1,2- $\bar{2}$,3- $\bar{1}$ - $\bar{1}$ - $\bar{3}$

а-в – реализуемые графы; г-е – нереализуемые графы;
 ж-и – приведенные к реализуемому виду графы

Рисунок 5.6 – Примеры первичных графов

5.4.2 Построение вторичного графа

Вторичный граф служит для составления уравнений выходных сигналов. Он строится по реализуемому первичному графу. Проводится окружность, которая делится на равные дуговые участки по числу тактов в реализуемом графе. Точки деления образуют вершины вторичного графа, которые соответствуют устойчивым состояниям входных сигналов в начале каждого такта. Одна из вершин принимается за исходную. Начиная от нее, последовательно обходя граф по часовой стрелке, дуговым участкам присваивают обозначения выходных сигналов, включая сигналы управления триггерами, если они были введены при приведении первичного графа к реализуемому виду. Последовательность выходных сигналов определяется реализуемым первичным графом. Она не зависит от типа главных распределителей, который предполагается использовать для управления исполнительными устройствами.

Для каждой вершины вторичного графа определяется опорный сигнал – входной сигнал от конечного выключателя или триггера, который свидетельствует о выполнении команды в предшествующем данной вершине такте. Если в такте выполняются одновременно несколько команд, т.е. работают одновременно несколько исполнительных устройств, то опорный сигнал для вершины, которая следует за этим тактом, представляет собой конъюнкцию (логическое произведение) сигналов от конечных выключателей, контролирующих срабатывание соответствующих исполнительных устройств.

Внутри графа строятся сигнальные линии, определяющие зоны действия входных сигналов. Для их построения каждая вершина графа, в которую входит данный выходной сигнал, связывается направленной линией с ближайшей по циклу вершиной, из которой выходит инверсный выходной сигнал. Если из вершины выходит несколько сигнальных линий, то на них указываются соответствующие входные сигналы. Построение вторичного графа на этом заканчивается и по нему можно составлять уравнения выходных сигналов.

Вид вторичного графа для цикла $1,2 - 3 - \bar{1},4 - \bar{2} - \bar{3},\bar{4}$, первичный граф которого (рисунок 5.6,в) реализуем без ввода триггеров, показан на рисунке 5.7. Последовательность выходных сигналов $y_1, y_2 - y_3 - \bar{y}_1, y_4 - \bar{y}_2 - \bar{y}_3, \bar{y}_4$ здесь соответствует условной записи цикла. Количество тактов (и вершин) – пять. Исходному положению соответствует верхняя вершина, из которой выходят первые по циклу выходные сигналы y_1, y_2 . Опорные сигналы указаны в кружках. Для исходной вершины опорный сигнал x_3x_7 представляет собой конъюнкцию сигналов от конечных выключателей, контролирующих выполнение команд \bar{y}_3 и \bar{y}_4 предшествующего этой вершине такта. Аналогично определяется опорный сигнал x_2x_4 , действительное значение которого, имеющее место при $x_2=1$ и $x_4=1$, свидетельствует о том, что команды y_1 и y_2 первого

такта выполнены. Выполнение команды y_3 второго такта контролируется выключателем x_6 , сигнал которого является опорным и т.д.

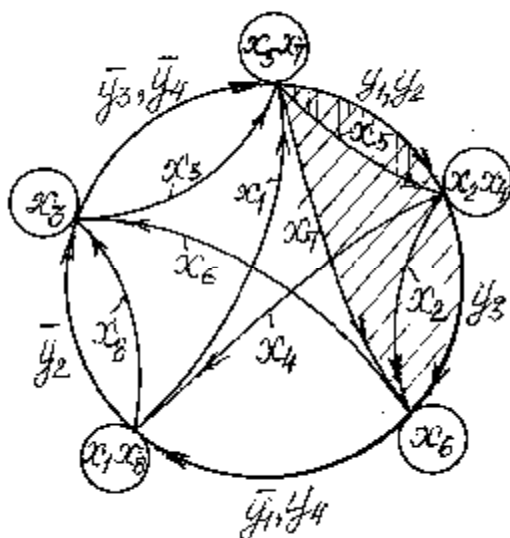


Рисунок 5.7 – Вторичный граф для цикла $1,2-3-\bar{1},4-\bar{2}-\bar{3},\bar{4}$

Из исходной вершины выходят две сигнальные линии для входных сигналов x_5 и x_7 , образующих опорный сигнал x_5x_7 . Сигнальная линия x_5 соединяет исходную вершину, в которую входит выходной сигнал \bar{y}_3 . Контролируемый выключателем x_5 , с вершиной, из которой выходит инверсный сигнал y_3 . Сигнальная линия x_7 соединяет исходную вершину, в которую входит контролируемый выходной сигнал \bar{y}_4 , с вершиной, из которой выходит инверсный выходной сигнал y_4 . Аналогично строятся остальные сигнальные линии. Например, сигнальная линия x_6 связывает вершину, в которую входит выходной сигнал y_3 , с вершиной, из которой выходит инверсный выходной сигнал \bar{y}_3 .

Сигнальная линия определяет зону существования действительного значения данного входного сигнала в графе. Зона действительных значений расположена слева от сигнальной линии, если смотреть по ее направлению. Например, штриховкой показана зона где $x_7=1$, включая вершины, связанные сигнальной линией x_7 . Во всей остальной части графа $x_7=0$ зона действительных значений входного сигнала x_5 показана двойной штриховкой. Одновременно это и зона действительных значений опорного сигнала x_5x_7 , так как она является пересечением зон действительных значений сигналов x_5 и x_7 . Таким образом, во вторичном графе легко установить зоны действительных и ложных значений для каждого входного сигнала, для их произведений, а также для логических сумм входных сигналов или их произведений. В последнем случае зоны действительных значений составляющих дополняют друг друга. По-

сколькx вторичный граф одновременно определяет зоны действительных и ложных значений выходных сигналов, то не представляет труда поставить во взаимное соответствие выходные сигналы входным и получить требуемые уравнения в минимальной форме.

Порядок составления уравнений выходных сигналов зависит от типа распределителей, на управление которыми эти сигналы поступают. Для распределителей с двусторонним управлением с механическим «запоминанием» переключенного положения составляются уравнения для прямого и инверсного выходных сигналов. При этом принимается во внимание, что вызвавший переключение распределителя сигнал не обязательно поддерживать во всей зоне его действия по графу. Он может быть кратковременным, импульсным при условии, что инверсный по отношению к нему выходной сигнал в этой зоне запрещен. Должно быть также исключено сосязание инверсных выходных сигналов в момент переключения распределителя.

Для распределителей с односторонним управлением, которые не имеют механической «памяти», по вторичному графу составляется только одно уравнение для прямого (без знака инверсии) выходного сигнала с учетом, что этот сигнал должен быть непрерывным и действительным в пределах всей зоны его действия по графу и запрещенным во всех остальных зонах.

5.4.3 Правила составления уравнений выходных сигналов

А. Для распределителей с двусторонним управлением (с «памятью»):

1) уравнения составляются для прямого и инверсного выходных сигналов управления распределителем;

2) уравнение данного выходного сигнала всегда содержит опорный сигнал для вершины графа, из которой он выходит;

3) если зона действительных значений опорного сигнала для данного выхода меньше зоны действия самого выхода, то его уравнение включает только опорный сигнал;

4) если зона действительных значений опорного сигнала для данного выхода больше зоны действия самого выхода, то в уравнении к опорному сигналу добавляют сомножитель из числа входных сигналов, зона действительных значений которого пересекается с зоной опорного сигнала и пересечение не выходит за пределы зоны действия данного выхода;

5) если в графе имеются повторяющиеся опорные сигналы, то в уравнения соответствующих им выходов вводят дополнительные сомножители из числа входных сигналов, образующие такие пересечения, которые однозначно определяют зону действительных значений каждого из этих опорных сигналов;

б) если данный выход повторяется в графе, то его уравнение имеет вид

суммы уравнений составляющих.

Б. Для распределителей с односторонним управлением (без «памяти»):

1) уравнения составляют только для прямых выходных сигналов (без знаков инверсии) и так, чтобы действительное значение выходного сигнала поддерживалось в пределах всей зоны его действия;

2) уравнение данного выходного сигнала всегда содержит опорный сигнал для вершины графа, из которой он выходит, и инверсию опорного сигнала для вершины, из которой выходит инверсный по отношению к нему выходной сигнал;

3) указанные в п.2 опорные сигналы в составе уравнения для данного выхода могут образовывать сумму, произведение, сочетаться с другими входными сигналами (пересекаться или дополняться). Причем определяемый ими выход должен иметь непрерывное значение только в пределах всей его зоны действия;

4) если опорные сигналы повторяются в графе, то к ним добавляются такие сомножители из числа входных сигналов, чтобы образовавшиеся пересечения однозначно определяли зоны действительных значений для каждого из повторяющихся опорных сигналов;

5) если прямой выходной сигнал повторяется в графе, то его уравнение представляется в виде суммы уравнений составляющих;

6) полученные уравнения выходных сигналов следует при возможности упрощать, применяя законы алгебры логики.

Применение данных правил рассмотрим на примерах.

Пример 1. Требуется составить уравнения выходных сигналов для распределителей с «памятью» по вторичному графу рисунка 5.7.

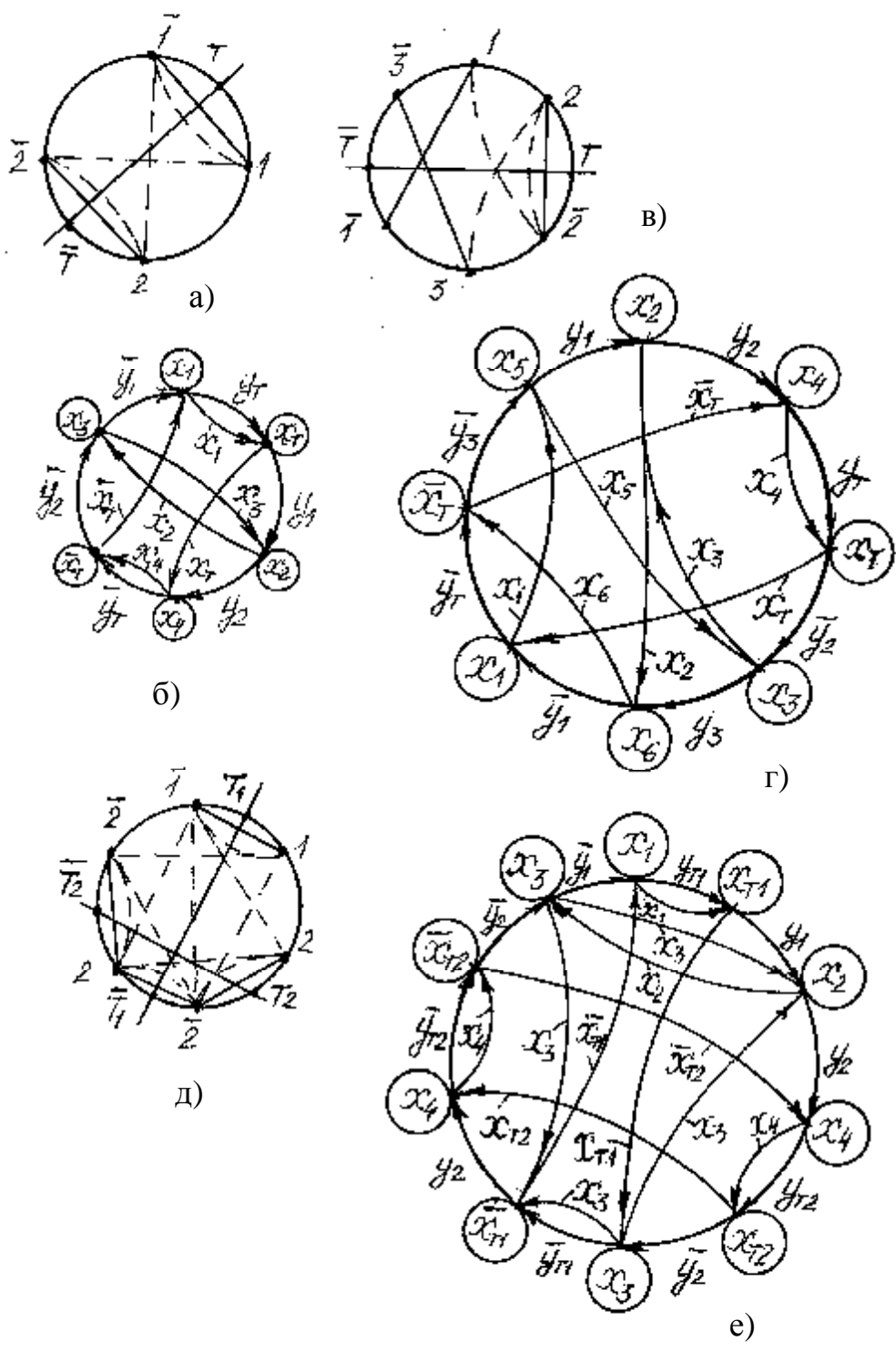
Применяя пп. 1...3 правил **А**, находим:

$$y_1 = x_5x_7; \quad y_2 = x_5x_7; \quad y_3 = x_2x_4; \quad y_4 = x_6x_7; \\ \bar{y}_1 = x_6; \quad \bar{y}_2 = x_1x_2; \quad \bar{y}_3 = x_3; \quad \bar{y}_4 = x_3.$$

Примечание. В уравнение для выхода y_4 по п.4 правил **А** добавлен сомножитель x_4 , ограничивающий зону действительных значений y_4 , т.к. опорный сигнал $x_6=1$ существует и в вершине, из которой выходит инверсный выходной сигнал \bar{y}_4 .

Пример 2. Нужно составить уравнения выходных сигналов для цикла $1-2-\bar{2}-\bar{1}$.

Первичный граф цикла (рисунок 5.8,а) нереализуем и приводится к рассматриваемому виду вводом триггера. Строим вторичный граф (рисунок 5.8,б) и составляем уравнения. Если распределители с «памятью», то по пп. 1...4 правил **А** находим:



а, б – графы для цикла $1-2-\bar{2}-\bar{1}$; в, г – графы для цикла $1-2-\bar{2}-3-\bar{1}-\bar{3}$;
 д, е – графы для цикла $1-2-\bar{2}-2-\bar{2}-\bar{1}$

Рисунок 5.8 – Примеры построения графов при графоаналитическом методе структурного синтеза

$$y_1 = x_2; \quad y_2 = x_2 x_T; \quad y_T = x_1;$$

$$\bar{y}_1 = x_3 \bar{x}_T; \quad \bar{y}_2 = \bar{x}_T; \quad \bar{y}_T = x_4.$$

Если используются распределители с односторонним управлением, то

$$y_1 = x_T + \bar{x}_3 \text{ (пп. 1...3 правил Б); } \quad y_T = x_1 \text{ (правила А);}$$

$$y_2 = x_2 \bar{x}_T = x_2 x_T \text{ (пп. 1...3, 6 правил Б); } \quad \bar{y}_T = x_4 \text{ (правила А).}$$

При анализе вторичного графа следует учитывать, что выходные сигналы триггера x_T и \bar{x}_T инверсные и изменяют свои значения одновременно. Наличие же тактов, отведенных для переключений триггера, чисто формально, т.к. их продолжительность пренебрежимо мала по сравнению с продолжительностью тактов, в которых срабатывают исполнительные устройства.

Пример 3. Требуется составить уравнения выходных сигналов для цикла $1 - 2 - \bar{2} - 3 - \bar{1} - \bar{3}$.

Первичный граф цикла (рисунок 5.8,в) нереализуем и приводится к реализуемому виду вводом триггера. Строим вторичный граф (рисунок 5.8,г) и составляем уравнения выходных сигналов. Если распределители с «памятью», то по пп. 1...4 правил А записываем

$$y_1 = x_5; \quad y_2 = x_2 \bar{x}_T; \quad y_3 = x_3 x_T; \quad \bar{y}_1 = x_6;$$

$$\bar{y}_2 = x_T; \quad \bar{y}_3 = \bar{x}_T; \quad y_T = x_4; \quad \bar{y}_T = x_1.$$

Если используются распределители с односторонним управлением, то

$$y_1 = x_5 + \bar{x}_6 x_T \text{ (пп. 1...3 правил Б); } \quad y_T = x_4 \text{ (правила А);}$$

$$y_2 = x_2 \bar{x}_T \text{ (пп. 1...3 правил Б); } \quad \bar{y}_T = x_1 \text{ (правила А);}$$

$$y_3 = x_3 x_T \text{ (пп. 1...3 правил Б).}$$

Пример 4. Необходимо составить уравнения выходных сигналов для цикла $1 - 2 - \bar{2} - 2 - \bar{2} - \bar{1}$. Особенность цикла – двукратное срабатывание второго исполнительного устройства ИУ и повторяющиеся из-за этого комбинации входных сигналов.

Первичный граф цикла нереализуем, поэтому необходимо для развязки ввести триггеры T_1 и T_2 (рисунок 5.8,д). Во вторичном графе (рисунок 5.8,е) имеются повторяющиеся опорные x_3 и x_4 и выходные y_2 и \bar{y}_2 сигналы. По правилам А для распределителей с «памятью» уравнения выходных сигналов имеют вид:

$y_1 = x_{T_1}$; $\bar{y}_1 = x_3 \bar{x}_{T_2} \bar{x}_{T_1}$ (множитель \bar{x}_{T_2} отделяет зону действия опорного сигнала x_3 от зоны действия такого же опорного сигнала в нижней части графа – п.5 правил **A**)

$$y_2 = y'_2 + y''_2 \text{ (п.6 правил A), где } y'_2 = x_2 x_{T_1} \bar{x}_{T_2}; y''_2 = \bar{x}_{T_1} x_{T_2}$$

$$\text{и } y_2 = x_2 x_{T_1} \bar{x}_{T_2} + \bar{x}_{T_1} x_{T_2}; \bar{y}_2 = \bar{y}'_2 + \bar{y}''_2, \text{ где } \bar{y}'_2 = x_{T_2} x_{T_1}; \bar{y}''_2 = \bar{x}_{T_1} \bar{x}_{T_2}$$

$$\text{и } y'_2 = x_{T_2} x_{T_1} + \bar{x}_{T_1} \bar{x}_{T_2}; y_{T_1} = x_1; \bar{y}_{T_1} = x_3 x_{T_2} \text{ (п.5 правил A);}$$

$$y_{T_2} = x_4 x_{T_1} \text{ (п.5 правил A); } \bar{y}_{T_2} = x_4 \bar{x}_{T_1} \text{ (п.5 правил A).}$$

По правилам B также можно составить уравнения выходных сигналов для случая, когда управление исполнительными устройствами осуществляется распределителями без «памяти»:

$$y_1 = x_{T_1} + x_{T_2} + \bar{x}_3; y_2 = x_2 x_{T_1} \bar{x}_{T_2} + \bar{x}_{T_1} \bar{x}_{T_2} = x_2 x_{T_1} \bar{x}_{T_2} + \bar{x}_{T_1} x_{T_2};$$

$$y_{T_1} = x_1; \bar{y}_{T_1} = x_3 x_{T_2}; y_{T_2} = x_4 x_{T_1}; \bar{y}_{T_2} = x_4 \bar{x}_{T_1}.$$

Единая форма вторичного графа, позволяющая составлять уравнения выходных сигналов в разных вариантах, открывает возможность за счет рационального выбора распределителей минимизировать структуру многотактной ДСУ не только по количеству используемых логических операторов, но и по количеству линий связи, по которым передаются выходные сигналы управления.

5.4.4 Построение дискретной системы управления приводом

Построение дискретной системы управления (ДСУ) приводом на пневматических элементах высокого давления с силовыми (главными) пневмораспределителями с «памятью» (с двухсторонним управлением) и без «памяти» (с односторонним управлением) рассмотрим для цикла $1 - 2 - \bar{2} - 3 - \bar{1} - \bar{3}$. Уравнения выходных сигналов для этого цикла получены в примере 3. Построение ДСУ начинается со схематического изображения пневмоцилиндров Ц1, Ц2 и Ц3, причем поршни всех трех цилиндров показываются со втянутыми штоками, что соответствует их исходному положению. При этом штоки цилиндров с помощью копиров нажимают на конечные выключатели Р4, Р6, Р8 с выходными сигналами x_1, x_3, x_5 . При выдвинутых штоках цилиндров нажимаются конечные выключатели Р5, Р7, Р9 с выходными сигналами x_2, x_4, x_6 . Каждый из этих выключателей представляет собой двухпозиционный трехлинейный или четырехлинейный распределитель, например, В76-21, БВ76-21, В79-21. В нажатом положении на выходе трехлинейного конечного выключателя сигнал равен 1 и в ненажатом положении сигнал – 0 (например, в исходном положе-

нии цилиндра Ц1 на выходе конечного выключателя Р4 сигнал $x_1=1$, а на выходе конечного выключателя Р5 сигнал $x_2=0$).

После того, как будут показаны все конечные выключатели, вычерчиваются изображения двухпозиционных четырехлинейных (или пятилинейных) распределителей Р1, Р2, Р3 с двухсторонним управлением, т.е. с «памятью» (рисунок 5.9) или с односторонним управлением без «памяти» (рисунок 5.10). Для каждого пневмоцилиндра распределители соответствующим образом соединяются с пневмоцилиндрами. Так как поршни занимают крайние левые положения, то каждый распределитель показывается в такой позиции, при которой сжатый воздух поступает в штоковую полость цилиндра, а бесштоковая – соединяется с атмосферой. Переключая распределитель, меняем направление потока сжатого воздуха, который будет поступать в бесштоковую полость, вызывая перемещения поршня вправо. Переключение распределителя Р1 произойдет при поступлении сигнала y_1 (рисунок 5.9). Обратное перемещение (возвращение в исходную позицию) произойдет при поступлении сигнала \bar{y}_1 и отсутствии сигнала y_1 . Аналогично переключаются и другие распределители. Так как в данном примере тактограмма реализуема только при наличии элемента памяти (триггера), то на схемах (рисунок 5.9 и 5.10) показывается логический элемент памяти в виде двухпозиционного четырехлинейного распределителя Р21 (рисунок 5.9) или Р17 (рисунок 5.10).

Кроме того, анализ уравнений выходных сигналов показывает, что для реализации сигналов $y_1, \bar{y}_1, y_2, \bar{y}_2, y_3, \bar{y}_3, y_T, \bar{y}_T$ (рисунок 5.9) необходимо ввести два элемента логического умножения «И» (логическая функция «конъюнкция»). В качестве логического элемента «И» используются двухпозиционные трехлинейные клапанные нормально-закрытые распределители с пневмоуправлением, например МВ 76-21.

Затем соединяются в соответствии с уравнениями выходных сигналов входные сигналы $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$, поступающие от конечных выключателей Р4, Р5, Р6, Р7, Р8, Р9 и сигналы входов x_T, \bar{x}_T , поступающие от элемента памяти (триггера) Р21 с выходами $y_1, \bar{y}_1, y_2, \bar{y}_2, y_3, \bar{y}_3$, поступающими на распределители с «памятью» Р1, Р2 и Р3, а также с выходами y_T, \bar{y}_T , поступающими на элемент памяти Р21.

Уравнения выходных сигналов показывают, что в нашем примере выходы $y_1, \bar{y}_1, \bar{y}_2, \bar{y}_3, y_T$ и \bar{y}_T прямо соединяются с входами $x_5, x_6, x_T, \bar{x}_T, x_4$ и x_1 . Выход y_2 должен быть соединен через распределитель Р22, выполняющий функцию логического умножения «И», с входами x_2, \bar{x}_T , выход y_3 через распределитель Р23 – с входами x_3, \bar{x}_T .

Как уже отмечалось, в схеме на рисунке 5.10 в качестве силовых (главных) используются распределители без «памяти» (с односторонним управлением).

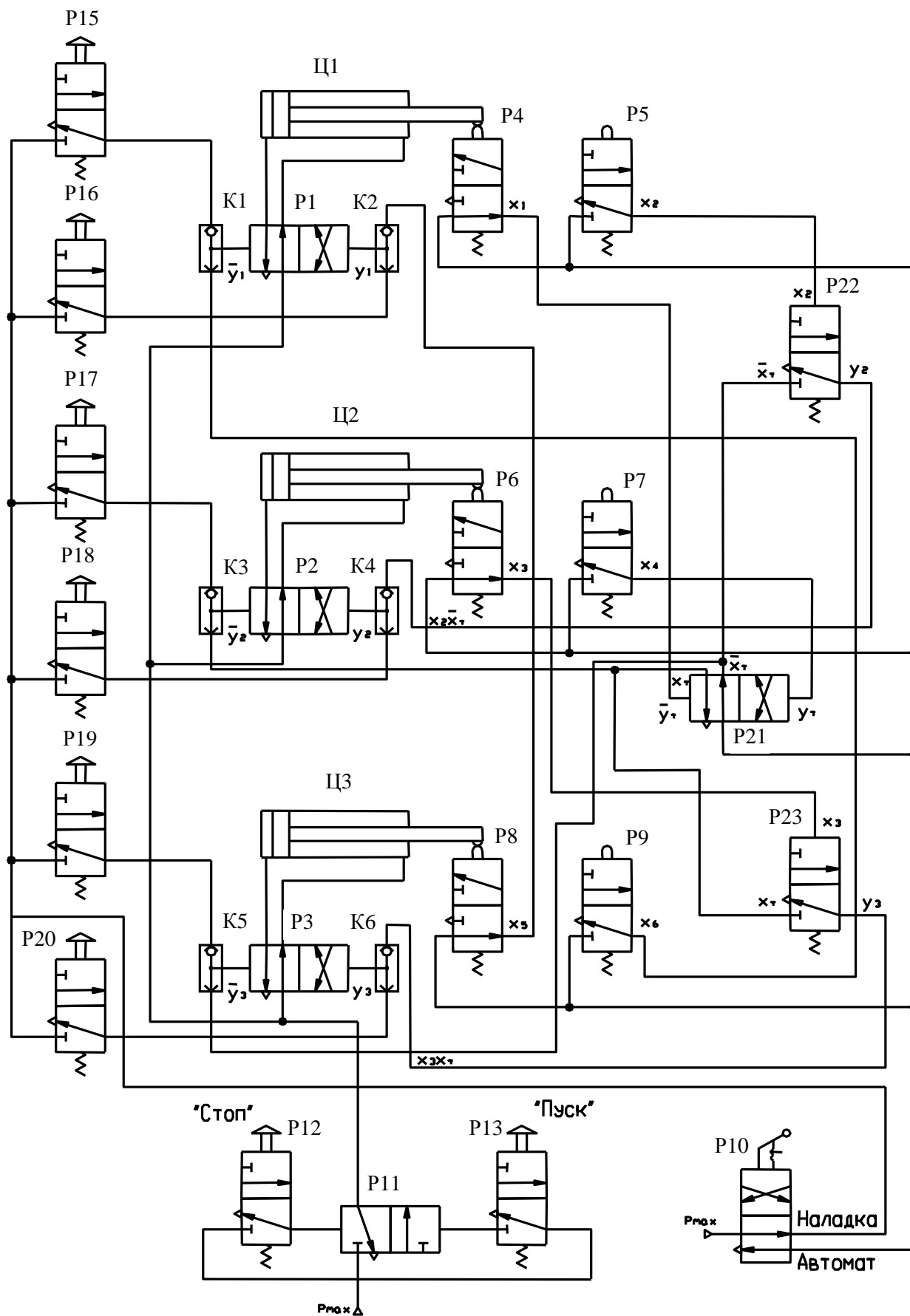


Рисунок 5.9 – Дискретная система управления пневмоприводом с распределителями с «памятью» (с распределителями с двухсторонним управлением)

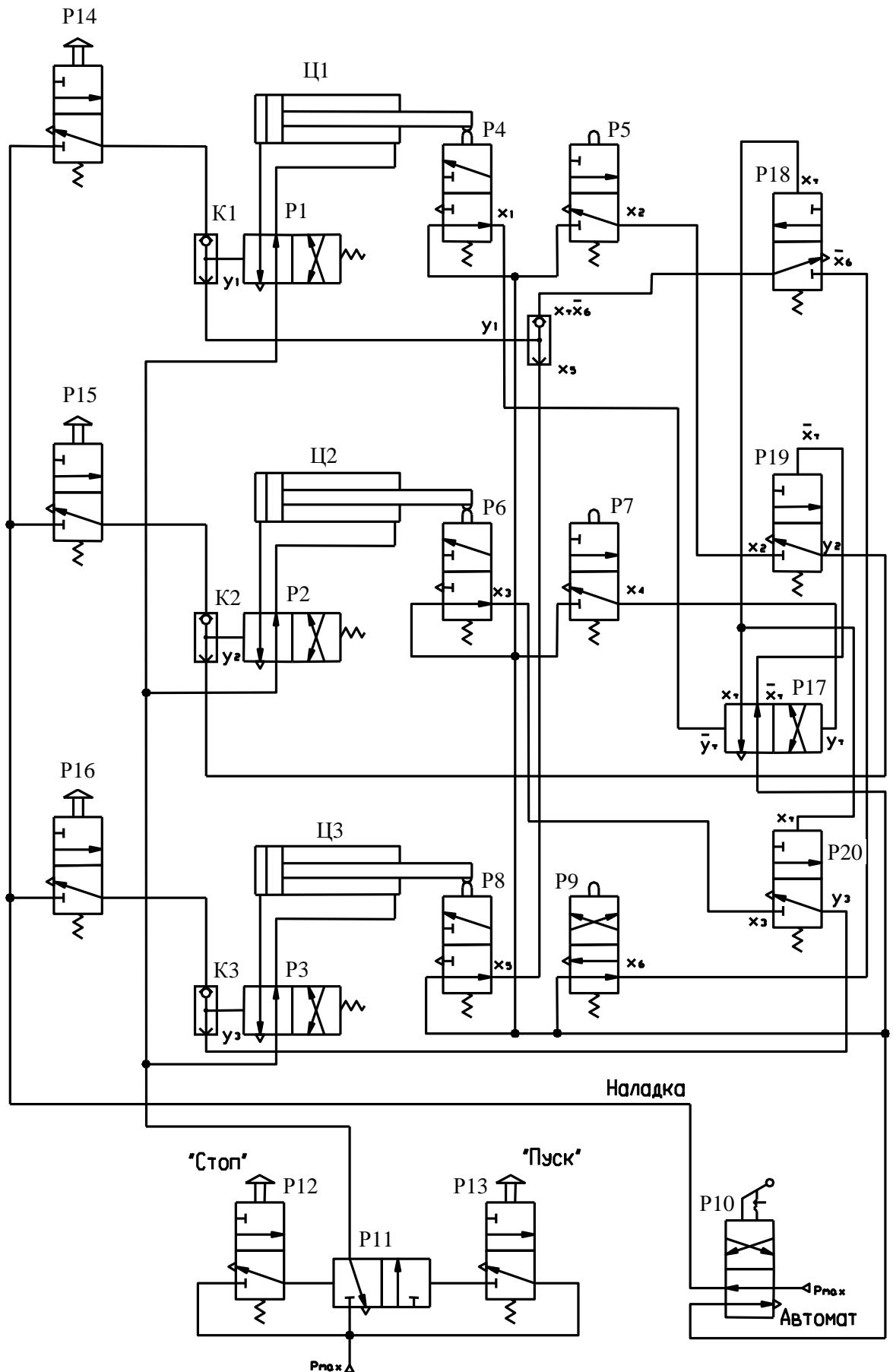


Рисунок 5.10 – Дискретная система управления пневмоприводом с распределителями без «памятью» (с распределителями с односторонним управлением)

В этом случае, как известно, уравнения выходных сигналов составляются только для прямого хода пневмоцилиндров Ц1, Ц2 и Ц3, т.е. y_1, y_2, y_3 . Для элемента памяти сохраняются сигналы y_T и \bar{y}_T .

Анализ полученных уравнений выходных сигналов y_1, y_2, y_3, y_T и \bar{y}_T показывает, что для их реализации необходимо ввести в схему три элемента логического умножения «И» (распределители P18, P19, P20). Кроме того, в уравнение для y_1 входит инверсный сигнал \bar{x}_6 , поэтому вместо двухпозиционного трехлинейного конечного выключателя P9 необходимо использовать двухпозиционный четырехлинейный конечный выключатель типа В79-21. В этом случае в ненажатом положении конечного выключателя P9 сигнал $\bar{x}_6=1$ и $\bar{x}_6=0$, а в нажатом положении – сигнал $\bar{x}_6=0$ и $\bar{x}_6=1$.

Затем в соответствии с уравнениями выходных сигналов сигналы входов $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, \bar{x}_6$, поступающие от конечных выключателей P4, P5, P6, P7, P8, P9 и сигналы входов x_T и \bar{x}_T , поступающие от триггера (элемента памяти) P17 с выходами y_1, y_2, y_3 , поступающими на распределители без «памяти» P1, P2, P3, а также с выходами y_T и \bar{y}_T , поступающими на элемент памяти P17.

Анализ уравнений выходных сигналов показывает, что в нашем примере выходы y_T и \bar{y}_T напрямую соединяются с входами x_4 и x_1 . Выход y_1 должен быть соединен через распределитель P18 и клапан К4 (клапан «ИЛИ» – логическое сложение) с входами \bar{x}_6, x_T и x_5 , выход y_2 через распределитель P19 – с входами x_2, \bar{x}_T и выход y_3 через распределитель P20 – с входами x_3, \bar{x}_T .

В схемах на рисунках 5.9 и 5.10, кроме автоматического режима работы, предусмотрена возможность работы в наладочном режиме. Для этого предусмотрен переключатель режимов P10, в качестве которого может быть использован четырехлинейный (или пятилинейный) двухпозиционный распределитель с ручным управлением, например П-Р515Ф. Дополнительно вводятся в линию управления силовых распределителей клапаны «ИЛИ» (К1...К6 – для схемы на рисунке 5.9 и К1...К3 – для схемы на рисунке 5.10) и двухпозиционные трехлинейные распределители с ручным управлением P15...P20, например П-Р03Р15 (рисунок 5.9) или двухпозиционные трехлинейные распределители с ручным управлением (тумблеры) P14...P16, например П-Р03ФДВ76-21 (рисунок 5.10).

Для подключения силовых распределителей к системе питания сжатым воздухом предусмотрен двухпозиционный трехлинейный (или четырехлинейный) распределитель с двухсторонним пневматическим управлением P11. Для включения и выключения распределителя P11 предусмотрены двухпозиционные трехлинейные распределители P12 и P13, например ГВ76-22.

Заключительным этапом построения дискретной системы управления является проверка действия всей системы управления. В нашем случае система управления начинает функционировать при поступлении в систему сжатого

воздуха для запитки силовых (главных) распределителей, конечных выключателей и элемента памяти (триггера). Запитка сжатым воздухом силовых распределителей осуществляется с помощью распределителя Р11, который включается распределителем Р13 (кнопкой «ПУСК») и установкой переключателя режимов Р10 в положение «Автомат». После запитки конечных выключателей элемент памяти (триггера) Р21 займет положение, при котором его выходной сигнал $x_T=0$, а сигнал $\bar{x}_T=1$, так как на вход управления триггером поступит сигнал $\bar{y}_T = x_1$ от нажатого в исходном положении конечного выключателя Р4. Работа привода в автоматическом режиме начнется с переключения силового распределителя Р1 цилиндра Ц1, так как вход управления распределителя поступит сигнал $y_1 = x_5$ от нажатого конечного выключателя Р8 (см. рисунок 5.9). Поршень цилиндра Ц1 начнет перемещаться вправо. В конце хода, когда будет нажатие на конечный выключатель Р5 появится сигнал x_2 , который поступит на распределитель Р22 (логический элемент «И»), а поскольку сигнал \bar{x}_T на этом распределителе уже имеется, то на выходе распределителя Р22 появится сигнал $y_2 = x_2\bar{x}_T$, который переключит распределитель Р2 цилиндра Ц2. Появление сигнала x_4 в конце этого хода вызовет переключение триггера Р21 ($y_1 = x_4$) и появлению сигнала $\bar{y}_2 = x_T$ для обратного хода поршня цилиндра Ц2. Аналогично прослеживается дальнейшая работа дискретной системы управления приводом как для варианта с силовыми распределителями с «памятью», так и для варианта с силовыми распределителями без «памяти» (см. рисунок 5.10).

6 СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПНЕВМОПРИВОДА

6.1 Основные параметры воздуха

В пневматических системах в качестве энергоносителя применяется воздух. Воздух представляет собой естественную смесь газов. Он состоит из следующих газов (% по объему): азота N_2 – 78,09; кислорода O_2 – 20,95; аргона Ar – 0,93; углекислого газа CO_2 – 0,03. Сжатый воздух из-за особенностей его производства с помощью поршневых компрессоров содержит определенное количество примесей масла и влаги, поэтому он должен быть очищен не только от механических примесей (пыли), но и содержать возможно меньше влаги и примесей масла. Следует также отметить, что при расчетах сжатый воздух рассматривается как идеальный газ.

Состояние газа определяется тремя параметрами: давлением p , плотностью ρ и температурой T .

Параметры состояния связаны между собой соотношением, называемым

уравнением состояния. Для идеального газа этой зависимостью является уравнение Клапейрона:

$$\frac{p}{\rho} = RT \quad \text{или} \quad p\nu = RT, \quad (6.1)$$

где p – абсолютное давление газа, Па; $\rho = \frac{m}{V}$ – плотность газа, кг/м³; m – масса газа, кг; V – объем газа, м³; $\nu = \frac{V}{m}$ – удельный объем, м³/кг; $T=273+t$ °С – абсолютная температура воздуха, °К; t – температура, °С; R – газовая постоянная, Дж/(кг·°К).

Уравнение (6.1) однозначно связывает параметры газа при любом его состоянии.

Числовые значения основных параметров воздуха приведены в работе [5, таблица 1.4; 1.5]

В соответствии с ГОСТ 17752 пневматическая система – это техническая система, состоящая из устройств, находящихся в непосредственном контакте с рабочим газом (воздухом). В общем случае она состоит из источника сжатого воздуха, направляющей и регулирующей пневмоаппаратуры, пневмодвигателей и трубопроводов, связывающей пневмоаппаратуру с пневмодвигателями и источником сжатого воздуха. Следовательно, статический расчет пневмопривода состоит в выборе конструктивных параметров пневмодвигателей, пневмоаппаратуры и выборе параметров трубопроводов.

6.2 Расчет пневмодвигателей

Пневмодвигатели предназначены для приведения в движение рабочих органов машин (станков, манипуляторов, роботов и т.д.), выполнения различных вспомогательных операций и т.п. По виду движения выходного звена пневмодвигатели подразделяются на поступательные, поворотные и вращательные (пневмомоторы). Наибольшее распространение в роботостроении получили пневмодвигатели с поступательным движением выходного звена (поршневые и мембранные).

6.2.1 Поршневые пневмодвигатели (пневоцилиндры)

Различают пневоцилиндры одностороннего и двустороннего действия. В пневоцилиндрах одностороннего действия (в отличие от двустороннего) давление сжатого воздуха действует на поршень только в одном направлении, в другую сторону поршень со штоком перемещается под действием внешних

сил (к примеру, силы тяжести) или пружины, причем пневмоцилиндры с пружинным возвратом обычно используются для выполнения небольших перемещений $(0,8-1,5)D$, так как встроенная пружина, сжимаясь, значительно снижает усилие, развиваемое поршнем.

Пневмоцилиндры двустороннего действия изготавливают с ходом поршня от нескольких миллиметров до 6–7 м.

На пневмоцилиндры двустороннего действия без торможения и с торможением диаметром 25–400 мм разработан и утвержден ГОСТ 15608, предусматривающий ряд конструктивных модификаций пневмоцилиндров по виду крепления, исполнению штоков, по виду резьбы отверстий для подвода сжатого воздуха.

Расчет пневмоцилиндров подразделяют на проектный и поверочный. При проектном расчете по заданной нагрузке, магистральному давлению, массе перемещаемых деталей, скорости перемещения поршня определяют диаметр поршня, штока и подводных отверстий, расход воздуха и пропускную способность пневмолинии [6]. При поверочном расчете [5, 6] определяют время срабатывания пневмоцилиндра и возможность торможения поршня (для цилиндров с торможением). В данном курсовом проекте поверочный расчет пневмоцилиндров проводить не будем.

Пневмоцилиндры в зависимости от характера применения условно разделяют на две группы: зажимные цилиндры, которые обеспечивают передачу заданного усилия после завершения хода или при весьма малых перемещениях поршня с «ползучей» скоростью, и транспортирующие цилиндры, развивающие требуемое усилие на всем пути перемещения поршня.

Диаметр поршня зажимных цилиндров без учета их быстродействия определяют, исходя из заданного усилия F_2 (при зажиме или транспортировании).

Результирующая сила, преодолеваемая силами давления, в общем случае равна сумме значений вредного F_1 (сила трения), полезного F_2 сопротивления, веса F_3 поршня и перемещаемых частей привода (при вертикальном положении цилиндра), а также силы F_0 предварительного натяжения пружины

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_0, \text{ Н.}$$

Диаметр зажимного цилиндра одностороннего действия определяется по следующим формулам:

– без пружинного возврата

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{F_1 + F_2 + F_3}{0,9 p_M - p_a}}, \text{ м,}$$

– с пружинным возвратом

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{F_1 + F_2 + F_3 + F_0 + C_{\text{п}} L}{0,9 p_M - p_a}}, \text{ м,}$$

где p_M – минимальное абсолютное давление в магистрали, Па; p_a – атмосферное давление, Па; $C_{\text{п}}$ – жесткость пружины, Н/м; L – ход поршня, м.

Коэффициент 0,9 перед p_M позволяет обеспечить запас усилия двигателя, который обеспечивает надежную работу привода при колебаниях нагрузки и величины давления.

Вес F_3 следует учитывать только при вертикальном положении зажимного цилиндра.

Силу трения F_1 можно учесть посредством коэффициентов, как это показано ниже при расчете транспортирующих цилиндров.

Диаметр транспортирующего цилиндра определяют по следующим формулам [5]:

– для горизонтально расположенных цилиндров

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{F_2}{\chi p_M (1 - k_{\text{тр}})}},$$

– для вертикально расположенных цилиндров

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{F_2 + F_3}{\chi p_M (1 - k_{\text{тр}})}},$$

где χ – безразмерный параметр нагрузки; $k_{\text{тр}}$ – коэффициент, учитывающий потери на трение в цилиндре.

Ориентировочные значения $k_{\text{тр}}$ для различных величин полезной нагрузки при уплотнении манжетами по ГОСТ 6678 и магистральном давлении 0,5–0,6 МПа приведены ниже в таблице 6.1.

Таблица 6.1

F_2	0,60	0,60 – 6,0	6,0 – 25	25 – 60
$k_{\text{тр}}$	0,5 – 0,2	0,2 – 0,12	0,12 – 0,08	0,08 – 0,05

Большие значения $k_{тр}$ принимают для меньших диаметров пневмоцилиндров.

Безразмерный параметр нагрузки

$$\chi = \frac{F}{p_M A_{п}}$$

где $A_{п}$ – площадь поршня.

Оптимальное значение $\chi=0,4\dots0,5$.

Максимально допустимые значения

p_M , МПа	0,3	0,4	0,5	0,6 – 1,0
χ_{max}	0,6	0,65	0,7	0,75

Расчетное значение диаметра поршня округляют до ближайшего по ГОСТ 10447 значения. Рекомендуется округлять в большую сторону, однако, если расчетный диаметр поршня отличается от стандартного не более чем на 5%, то можно принимать меньшее значение. По полученному расчетному диаметру и ГОСТ 15608 определяют основные конструктивные параметры пневмоцилиндра.

Соотношение между диаметрами поршня цилиндра и диаметром штока в соответствии с ГОСТ 15608–70

D , мм	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	320	360	400
$d_{ш}$, мм	10	10	12	16	16	25	25	32	40	50	63	80	80	90

Максимальное значение хода пневмоцилиндров двухстороннего действия рекомендуется ограничивать 8–10 диаметрами поршня. Если требуется ход, значение которого превышает десять диаметров поршня, то необходимо рассчитать шток на устойчивость, определяя по формуле Эйлера критическую силу, выводящую шток из устойчивого положения

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{(\mu l)^2}, \text{ Н,}$$

где E – модуль упругости материала штока, Н/м²; I_{min} – минимальный момент инерции сечения штока, $I_{min} = \pi D^4 / 64$; l – максимальная длина выдвинутой части штока, м; μ – коэффициент приведенной длины, зависящий от способа

закрепления стержня и места приложения сжимающей нагрузки.

Значения коэффициента μ приведены в работе [7, стр. 62].

Диаметр штока $d_{ш}$ определяется условиями его прочности в наиболее опасном сечении и возможным выходом его из устойчивого положения

$$d_{ш} = 1,13 \sqrt{\frac{F}{[\sigma]}},$$

где F – максимально возможное усилие на штоке, Н; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение материала штока на разрыв.

Диаметр присоединительных отверстий цилиндров определяется скоростью перемещения поршня, объемным расходом, размерами крышек и т.д. Существуют рекомендации по выбору диаметра $d_{п}$ этих отверстий в зависимости от диаметра поршня : для максимальной скорости поршня (0,3...0,5) м/с принимают $d_{п}=0,1D$.

Расход воздуха, приведенного к нормальным условиям, определяют по следующим формулам:

– для цилиндра одностороннего действия с бесштоковой рабочей полостью

$$Q = 0,785 D^2 L \frac{P_M}{P_a} n_d, \text{ м}^3/\text{с};$$

– для цилиндра двустороннего действия

$$Q = 0,785 (2D^2 - d_{ш}^2) L \frac{P_M}{P_a} n_d, \text{ м}^3/\text{с},$$

где n_d – число двойных ходов в секунду.

Если задано время срабатывания пневмоцилиндра, то расход сжатого воздуха определяется по формуле:

– для цилиндра одностороннего действия

$$Q = 0,785 \frac{D^2 L}{t}, \text{ м}^3/\text{с};$$

– для цилиндра двустороннего действия

$$Q = 0,785 \frac{(2D^2 - d_{ш}^2) L}{t}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где t – время срабатывания (время двойного хода) пневмоцилиндра, с. Заданный закон движения поршня пневмоцилиндра, заданное быстродействие или минимальные размеры цилиндра обеспечиваются выбором диаметра поршня, проходных сечений напорной и выхлопной линий, начального объема полостей пневмоцилиндра и др.

6.2.2 Мембранные пневмодвигатели

Мембранные пневмодвигатели применяют в зажимных, фиксирующих, тормозных устройствах машин и технологических установок.

Мембранные двигатели применяют преимущественно одностороннего действия с пружинным возвратом и без него, реже двустороннего действия. В пневмоприводах станков манипуляторов, как правило, эластичные мембраны плоские или фигурные.

Диаметр мембраны (в месте заделки) определяют по следующим формулам [5]:

– при толкающем усилии

$$D_M = 1,95 \sqrt{\frac{P}{(1 + \beta_1 + \beta_1^2) p_M}}, \text{ м,}$$

– при тянущем усилии

$$D_M = 1,95 \sqrt{\frac{P + 0,785 p_M d_{ш}^2}{(1 + \beta_1 + \beta_1^2) p_M}}, \text{ м,}$$

где P – заданная сила сопротивления на штоке, Н; p_M – избыточное магистральное давление, Па; $d_{ш}$ – диаметр штока, (P и D определяют также, как для поршневых цилиндров); $\beta_1 = D_0/D_M$ – коэффициент; D_0 – диаметр опорного диска; D_M – диаметр мембраны в месте заделки.

Коэффициент β_1 обычно принимают в пределах 0,6–0,8.

Толщина плоских резиновых мембран без гофра

$$\delta = 0,175 \frac{p_M D_M (1 - \beta_1^2)}{[\tau_{ср}]}, \text{ мм,}$$

где $[\tau_{ср}]$ – допускаемое напряжение на срез, МПа. Значения $[\tau_{ср}]$ для листовой резины приведены в работе [5, стр. 44].

В таблице 6.2 даны рекомендуемые значения максимального хода штока

мембранных цилиндров с плоскими мембранами.

Для плоских штампованных мембран с гофром максимальное значение прогиба рекомендуется принимать не более $(0,20-0,25)D_m$. Пневмодвигатели с фигурными мембранами рассчитывают по формулам, приведенным для поршневых цилиндров со следующими дополнениями.

Таблица 6.2

Мембранный двигатель	Ход штока при магистральном давлении, МПа			
	0,4	0,5	0,6	0,8
Одностороннего действия	0,080 м	0,10 м	0,12 м	0,15 м
Двустороннего действия	0,060 м	0,080 м	0,100 м	0,120 м

Диаметр мембраны

$$D_m = D_k + 2(\delta + r),$$

где D_k – активный диаметр мембраны, мм; δ – толщина мембраны; r – внутренний радиус перегиба фигурной мембраны, мм. Активный диаметр мембраны определяют по формулам для диаметра D поршневого цилиндра.

Диаметр опорного диска

$$D_o = D_k - 2(\delta + r).$$

Максимальное значение хода штока устройства с фигурными мембранами приближенно определяют в соответствии с активной частью высоты мембраны по формуле

$$h = H - h_3 - \pi r, \text{ мм},$$

где H – общая высота мембраны, мм; h_3 – часть высоты мембраны, находящаяся в заделке, мм.

6.3 Выбор направляющей и регулирующей пневмоаппаратуры

Наибольшую сложность при проектировании пневматических систем представляет выбор распределений с требуемыми расходными характеристиками и быстродействием. Задачу выбора распределителей решают методами динамического анализа и синтеза [6].

Для приближенного выбора требуемой пропускной способности распределителя можно воспользоваться формулой [5]:

$$k_v = \frac{127 A_{\text{п}} L \cdot p}{t_L \sqrt{\Delta p (p - \Delta p)}},$$

где k_v – пропускная способность распределителя, м³/с; $A_{\text{п}}$ – площадь поршня, м²; L – ход поршня, м; t_L – заданное время перемещения поршня, с; p – абсолютное рабочее давление, МПа; Δp – перепад давления на распределителе, МПа.

Предполагается, что площадь поршня выбрана из условия

$$\chi = F / p A_{\text{п}} = 0,5,$$

где χ – безразмерная нагрузка на штоке; F – постоянная сила сопротивления перемещения поршня.

Значение Δp для определения k_v рекомендуется выбирать в пределах 0,015–0,03 МПа. Причем меньшее значение Δp принимается при выборе k_v с запасом.

Время срабатывания распределителей приведено в работе [5, таблица 4.4, 4.5]

Выбор обратных клапанов, клапанов быстрого выхлопа, последовательности, логических, выдержки времени производится с учетом требуемого условного прохода d_y , давления в магистрали p_m , расхода воздуха Q , давления срабатывания (диапазон давления срабатывания), времени выдержки.

При выборе пневмодросселей необходимо учитывать расход воздуха Q в пневмолинии, где будет установлен дроссель, условный проход d_y пневмомашин, давление в магистрали p_m .

При выборе типа редуционного клапана следует учитывать давление воздуха в сети, необходимый диапазон регулирования выходного давления воздуха и его допустимые колебания; диапазон изменения расхода воздуха; возможность превышения давления воздуха сверх заданного и необходимость перенастройки с большего давления на меньшее путем сброса сжатого воздуха через редуционный пневмоклапан; необходимость дистанционного управления.

При выборе предохранительных клапанов следует учитывать номинальное давление в сети, расход, пределы настройки давления воздуха, условный проход.

6.4 Выбор трубопроводов

В качестве жестких трубопроводов применяют трубы стальные водогазопроводные (ГОСТ 3262), трубы стальные бесшовные горячекатаные (ГОСТ 8732), трубы стальные прецизионные (ГОСТ 9567), трубы медные (ГОСТ 617),

трубы латунные (ГОСТ 494), трубы алюминиевые (ГОСТ 18475).

В качестве гибких трубопроводов применяют резиноканевые рукава (ГОСТ 10362; ГОСТ 18698; ГОСТ 5496), трубы из синтетических материалов (ГОСТ 18599; ТУ 6–05–021–204), пневматические кабели (марки ТПО, ТПБ, ТПВ), содержащие определенное число синтетических трубок.

6.4.1 Расчет трубопроводов

Трубопроводы рассчитывают в такой последовательности: а) определить величину внутреннего размера трубопровода по заданному расходу; б) определить потери давления Δp_T по длине трубы и потери давления Δp_M на местных сопротивлениях; в) суммарные потери давления $\Delta p = \sum \Delta p_T + \sum \Delta p_M$ сравнить с допустимыми (обычно не более 5% от давления в магистрали), при значительном расхождении соответственно изменить диаметр трубы и сделать перерасчет; г) проверить на прочность. Потери давления по длине Δp_T и на местных сопротивлениях Δp_M определяются по монограммам, приведенным в работе [5, рисунок 7.1, 7.2].

Внутренний диаметр трубопровода определяют по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4Q \rho_0}{5v \rho}}, \text{ м,}$$

где Q – расход воздуха, м³/с; v – скорость воздуха, м/с; ρ_0, ρ – плотность воздуха соответственно при нормальном атмосферном давлении и при давлении в трубопроводе.

Скорость воздуха для подводящих трубопроводов рекомендуется принимать равной 16–40 м/с. Меньшие значения трубопроводов принимают при более высоких рабочих давлениях.

При выборе труб по прочностным характеристикам следует исходить не только из величины передаваемого давления, но и из возможности механического повреждения труб, условий гибки, конструкции соединений и т.п. В основном применяют трубы, для которых отношение наружного диаметра трубы D к толщине стенки δ менее 16. В этом случае прочность прямых отрезков трубопроводов, нагруженных внутренним статическим давлением, может быть определена следующим образом.

Минимальное разрушающее давление в трубе

$$P_p = \frac{\sigma_B \left(\frac{d}{\delta} + 1\right)}{0,5(d/\delta)^2 + d/\delta + 1},$$

где d – внутренний диаметр трубопровода, м; σ_B – временное сопротивление разрыву, МПа.

Рабочее давление

$$p_{\text{раб}} = p_p / n_n,$$

где p_p – минимальное разрушающее давление; n_n – запас прочности. Запас прочности выбирают в зависимости от назначения трубопровода (обычно в пределах 3–6).

Для тонкостенных труб ($D/\delta \geq 16$) минимальное разрушающее давление

$$p_p = 2\delta\sigma_B/d.$$

7 СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГИДРОПРИВОДА

Статический расчет гидропривода заключается в определении конструктивных параметров его элементов, выборе номинального и максимального рабочего давлений жидкости, а также ее марки и эксплуатационных свойств.

7.1 Рабочие жидкости и их свойства

Выбор рабочей жидкости (РЖ) обусловлен в первую очередь назначением гидропривода, его нагруженностью, условиями эксплуатации и стоимостью.

Комплекс требований, предъявляемых к РЖ, весьма широк, поэтому подобрать РЖ, которая наилучшим образом удовлетворила бы им всем одновременно, практически невозможно. Наиболее подходящей РЖ для станочных гидроприводов являются минеральные масла и синтетические жидкости на кремнийорганической основе (силиконовые).

В таблице 7.1 приведены основные характеристики РЖ наиболее части применяемых в гидроприводах станков, роботов, манипуляторов.

К основным физическим свойствам РЖ, влияющим на статические и динамические характеристики гидравлических приводов и их элементов, относятся: плотность, вязкость и сжимаемость.

Плотность минеральных масел зависит от давления и температуры. В рабочем диапазоне изменения давления от 0 до 20 МПа и температуры от 15°C до 60°C плотность минеральных масел изменяется незначительно и в расчетах этими факторами можно пренебречь.

Свойство жидкости оказывать сопротивление относительному сдвигу ее слоев называется вязкостью. Различают динамическую и кинематическую вязкость РЖ. Связь между ними описывается зависимостью:

$$\nu = \mu / \rho,$$

где ν – кинематическая вязкость, м²/с; μ – динамическая вязкость, Па·с; ρ – плотность, кг/м³.

Таблица 7.1

Марка рабочей жидкости	Плотность при +50°C ρ , кг/м ³	Динамическая вязкость μ , Па·с	Изотермный			Адиабатный		
			E_n , МПа	a_{pi}	a_{ti}	E_a , МПа	a_{pa}	a_{ta}
Гидравлические масла (ГОСТ 17479.3-85)								
МГ-15-Б	835	0,00935	1500	12,7	8,3	1680	12,1	8,5
МГ-15-В	835	0,00935	1500	12,7	8,3	1680	12,1	8,5
МГ-22-А	892	0,01155	1716	11,0	9,5	1930	13,1	10,0
Индустриальные масла (ГОСТ 17479.4-87)								
И-Г-А-32	885	0,016	1362	12,7	7,3	1607	15,7	9,8
И-Г-А-68	900	0,0378	1455	12,7	7,3	1717	12,7	9,8
И-ГГ-А-100	910	0,0455	1473	12,7	7,3	1738	13,0	9,8

Вязкость жидкости зависит от давления и температуры. В практике инженерных расчетов гидроприводов станков и робототехнических систем зависимостью $\nu = f(p)$ можно пренебречь [8].

Влияние температуры на кинематическую вязкость определяется зависимостью

$$\nu = \nu_0 e^{-a(t-t_0)},$$

где ν , ν_0 – значения кинематической вязкости соответственно при температуре t и t_0 , °С; a – показатель степени, зависящий от рода жидкости.

Значение показателя степени a в зависимости от температуры можно определить по формуле:

$$a = k_0 + k_1 t + k_2 t^2,$$

где k_0 , k_1 , k_2 – коэффициенты регрессии, их значения для наиболее распро-

страненных сортов масел приведены в таблице 7.2.

Свойство жидкости изменять свой объем при изменении давления называется сжимаемостью. При больших скоростях изменения давления жидкости для характеристики ее сжимаемости применяется адиабатный модуль объемной упругости

$$E_a = V \frac{dp}{dv},$$

где V – начальный объем жидкости.

Таблица 7.2

Марка рабочей жидкости	$t, ^\circ\text{C}$	$v_{50} \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}$	k_0	k_1	k_2
Гидравлические масла (ГОСТ 17479.3-85)					
МГ-15-Б	50	11	0,028	$-2,3625 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
МГ-15-В	50	11	0,028	$-2,3625 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
МГ-22-А	50	13	0,052	$-5,69 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$
Индустриальные масла (ГОСТ 17479.4-87)					
И-Г-А-32	50	18	0,055	$-4,180 \cdot 10^{-4}$	$1,91 \cdot 10^{-6}$
И-Г-А-68	50	42	0,067	$-1,458 \cdot 10^{-3}$	$1,118 \cdot 10^{-5}$
И-ГГ-А-100	50	50	0,0765	$-8,1 \cdot 10^{-4}$	$3,95 \cdot 10^{-6}$

При малых скоростях изменения давления применяется изотермный модуль объемной упругости

$$E_{и} = V_0 \frac{\Delta p}{\Delta V},$$

где $\Delta p = p_1 - p_0$ – изменение давления, действующего на жидкость; p_1 и p_0 – конечное и начальное давление; $\Delta V = V_0 - V_1$ – изменение объема жидкости при изменении давления на Δp ; V_0 и V_1 – соответственно начальный объем жидкости при давлении p_0 и объем жидкости при давлении p_1 .

Значения модулей объемной упругости зависят от типа жидкости, давления, температуры, скорости деформации и характера термодинамического процесса.

Для ряда минеральных масел функции $E_a(p, t)$ и $E_{и}(p, t)$ представляются линейными эмпирическими зависимостями

$$E_a = E_{a_0} + a_{pa}p + a_{ta}(t - t_0); \quad E_{и} = E_{и_0} + a_{pi}p + a_{ti}(t - t_0),$$

где E_{a_0} , $E_{и_0}$ – значения адиабатного и изотермного модулей объемной упругости при $t=20^\circ\text{C}$ и $p=0,1$ МПа; a_{pa} , a_{ta} , a_{pi} , a_{ti} – коэффициенты, зависящие от типа жидкости.

Значения адиабатного и изотермного модулей объемной упругости наиболее распространенных сортов масел приведены в таблице 7.1.

Более подробно о свойствах РЖ можно узнать в работах [8, 9].

7.2 Выбор рабочего давления

Номинальное давление в гидроприводе определяется в первую очередь уровнем развития, достигнутым в данной области машиностроения, далее определяющими факторами являются нагрузки на выходном элементе, его геометрические параметры, выбранные по компоновочным или иным соображениям и ряд других факторов.

Кроме того, расчетное номинальное давление должно соответствовать значениям ряда номинальных давлений по ГОСТ 12445–80.

Максимальное давление в гидроприводе принимается на 10...20% больше номинального.

7.3 Выбор элементов объемного гидропривода

7.3.1 Источник энергии

Основным источником энергии в гидроприводе является насос. Выбор типа насоса определяется параметрами гидропривода (расход, давление, КПД), весовыми, габаритными параметрами и стоимостью.

В рассматриваемых гидроприводах наибольшее распространение получили шестеренные, пластинчатые, аксиально-поршневые и радиально-поршневые насосы.

Методика определения параметров насосов изложена в работе [8].

7.3.2 Объемные гидродвигатели

Объемным гидродвигателем называется объемная гидромашина для преобразования энергии потока РЖ в энергию движения выходного звена. В зависимости от характера движения выходного звена гидродвигатели делятся на:

1) гидроцилиндры – объемные гидродвигатели с поступательным движением выходного звена;

2) поворотные гидродвигатели – объемные гидродвигатели с ограниченным углом поворота выходного звена;

3) гидромоторы – объемные гидродвигатели с вращательным движением выходного звена.

Основными параметрами, по которым выбираются гидроцилиндры, являются: номинальное давление $p_{\text{ном}}$, внутренний диаметр D и ход поршня H . Основными параметрами гидромоторов являются: момент, развиваемый на выходном звене $M_{\text{м}}$; номинальное давление $p_{\text{ном}}$; частота вращения выходного звена $n_{\text{м}}$.

7.3.3 Гидроаппараты

Гидроаппаратом называется устройство, предназначенное для изменения параметров потока рабочей жидкости (давления, расхода, направления движения) или для поддержания их заданного значения. Гидроаппараты выбираются или рассчитываются, исходя из обеспечения требуемого расхода Q_{max} и давления p_{max} в гидроприводе.

7.3.4 Гидроаккумуляторы

Гидроаккумулятор – это устройство, предназначенное для аккумуляции энергии рабочей жидкости с последующим использованием этой энергии. Гидроаккумуляторы накапливают энергию во время частичной загрузки источника энергии гидропривода и возвращают ее в систему в период интенсивной работы гидродвигателя.

В рассматриваемых гидроприводах чаще всего применяются пневмогидроаккумуляторы (ПГА). В процессе расчета определяются следующие параметры ПГА: рекомендуемое давление зарядки газа

$$0,13p_{\text{max}} \leq p_3 \leq (0,9...0,94)p_{\text{min}};$$

полезный объем V_g (полезный объем выбирается или задается с учетом обеспечения m -кратного перемещения выходного звена при выходе из строя источника энергии).

Методика расчета ПГА изложена в работах [7, 8].

7.3.5 Фильтры

Фильтр – это отделитель твердых частиц, в котором очистка происходит при прохождении РЖ через фильтрующий элемент. Исходными данными для выбора фильтра являются: расход рабочей жидкости через фильтр ($Q_{\text{ф}}$); допустимый перепад давления ($\Delta p_{\text{ф}} = p_1 - p_0$); вязкость РЖ (динамическая); требуемая степень очистки РЖ.

Тип и параметры фильтра выбираются в соответствии с методикой, изложенной в работах [7, 8].

7.3.6 Теплообменники

Теплообменники – это устройства, предназначенные для обеспечения заданной температуры РЖ. Теплообменники делятся на нагреватели РЖ и охладители РЖ.

Тепловой расчет гидропривода ведется на основе баланса выделяемого и отводимого количества тепла по методике, изложенной в работах [7, 8]. Исходными данными для расчета являются: мощность, подводимая к гидроприводу (N); площадь поверхности теплообмена или перепад температур РЖ и окружающей среды; коэффициент теплоотдачи материала теплообменника.

7.3.7 Гидробаки

Гидробак служит для хранения, отстоя, очистки и охлаждения рабочей жидкости, циркулирующей в гидроприводе.

Основные конструктивные параметры бака следующие: объем бака (V_6); минимально допустимый уровень РЖ (L_6); глубина погружения сливной и всасывающей труб (h) и определяются по методике [7, 8]. Объем бака должен соответствовать ряду номинальных вместимостей бака (дм^3) по ГОСТ 12486-80.

7.3.8 Гидролинии

Гидролинией называется устройство, предназначенное для прохождения РЖ от одного аппарата к другому в процессе работы объемного гидропривода.

Расчет гидролиний сводится к расчету диаметров труб; расчету потерь давления в гидролинии; расчету труб на прочность.

Диаметр труб гидролинии определяется экономически приемлемыми и технологически допустимыми скоростями РЖ [7, 8]. Внутренний диаметр трубопроводов определяется по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}},$$

где Q – расход рабочей жидкости через трубопровод; v – допустимая скорость РЖ, зависящая от величины номинального давления.

Полученный диаметр трубопровода должен соответствовать ГОСТ 8734 на выпускаемые промышленностью трубы или ряду условных проходов (мм) по ГОСТ 16516. Более подробная методика расчета гидролиний изложена в работе [8].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Методическая инструкция Белорусского национального технического университета «Дипломное проектирование». Утверждена и введена в действие приказом ректора БНТУ от 27.01.2004 № 243.

2 Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплинам «Теория и проектирование гидропневмоприводов» и «Теория и проектирование гидропневмосистем» для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» / Сост. В.П. Автушко, П.Р. Бартош, П.Н. Кишкевич и др. – Минск: БНТУ, 2010. – 64 с.

3 Методические указания по дипломному проектированию для студентов специальности 1–36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» / Сост. В.П. Автушко, П.Р. Бартош, П.Н. Кишкевич. – Минск: БНТУ, 2006. – 72 с.

4 Курсовое проектирование. Общие требования и правила оформления. СТП БНТУ 3.01. – 2003. Утвержден и введен в действие ректором БНТУ от 14.01.2003.

5 Пневматические устройства и системы в машиностроении. Справочник / Е.В. Герц, А.И. Кудрявцев, О.В. Ложкин и др. Под общ. ред. Е.В. Герц. – М.: Машиностроение, 1981. – 408 с.

6 Герц Е.В., Крейнин Г.В. Расчет пневмоприводов. – М.: Машиностроение, 1975. – 272 с.

7 Свешников В.К., Усов А.А. Станочные гидроприводы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1982. – 464 с.

8 Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / Под ред. Б.Б. Некрасова. – Мн.: Выш. школа, 1985. – 382 с.

9 Кондаков Л.А. Рабочие жидкости и уплотнения гидравлических систем. – М.: Машиностроение, 1982. – 216 с.

Приложение А

Бланк задания по курсовому проектированию

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Автотракторный факультет

**«УТВЕРЖДАЮ»
Заведующий кафедрой**

(подпись)

«___» _____ 2009 г.

ЗАДАНИЕ по курсовому проектированию

Студенту _____

1. Тема проекта: _____

2. Сроки сдачи студентом законченного проекта _____

3. Исходные данные к проекту _____

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (печень подлежащих разработке вопросов) _____

5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

6. Консультант по проекту (с указанием разделом проекта)

7. Дата выдачи задания: _____

8. Календарный график работы над проектом на весь период проектирования (с указанием сроков выполнения и трудоемкости отдельных этапов)

Руководитель _____
(подпись)

Задание принял к исполнению _____
(дата и подпись студента)

Приложение Б

Пример оформления обложки курсового проекта

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Автотракторный факультет

Кафедра «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод»

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине *«Наименование дисциплины»*

Тема: _____

Исполнитель: студент, факультет, группа

(Фамилия, имя, отчество)

Руководитель проекта: _____
(ученое звание, ученая степень, должность)

(Фамилия, имя, отчество)

М и н с к 2 0 х х

Приложение В

Пример оформления титульного листа курсового проекта

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовому проекту
по дисциплине «*Наименование дисциплины*»

ТЕМА КУРСОВОГО ПРОЕКТА В СООТВЕТСТВИИ С ЗАДАНИЕМ

Исполнитель: _____ (Фамилия, инициалы)
(подпись)

студент _____ курса _____ группы

Руководитель: _____ (Фамилия, инициалы)
(подпись)

М и н с к 2 0 х х

Приложение Г

Таблица Г.1 – Примеры библиографического описания изданий

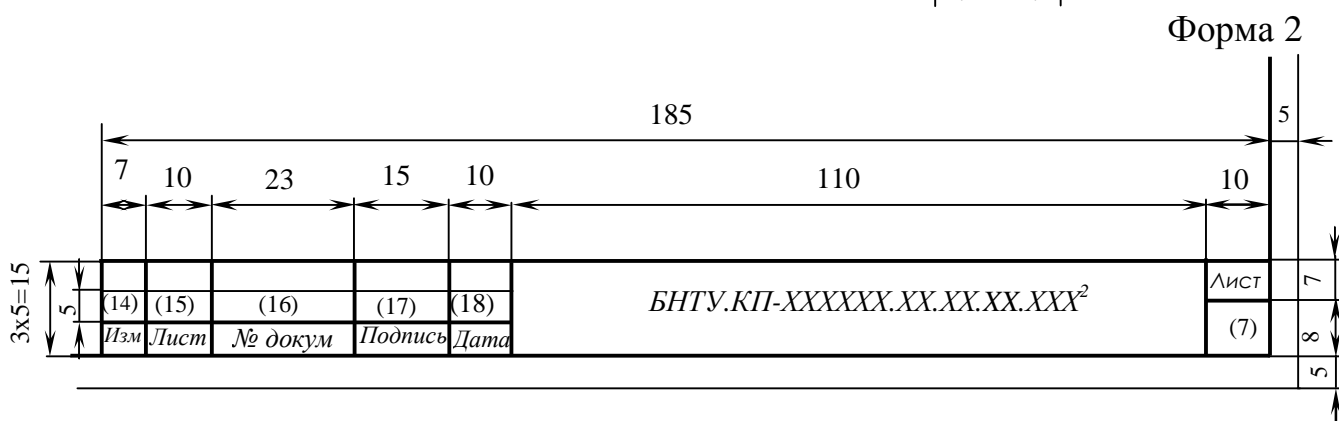
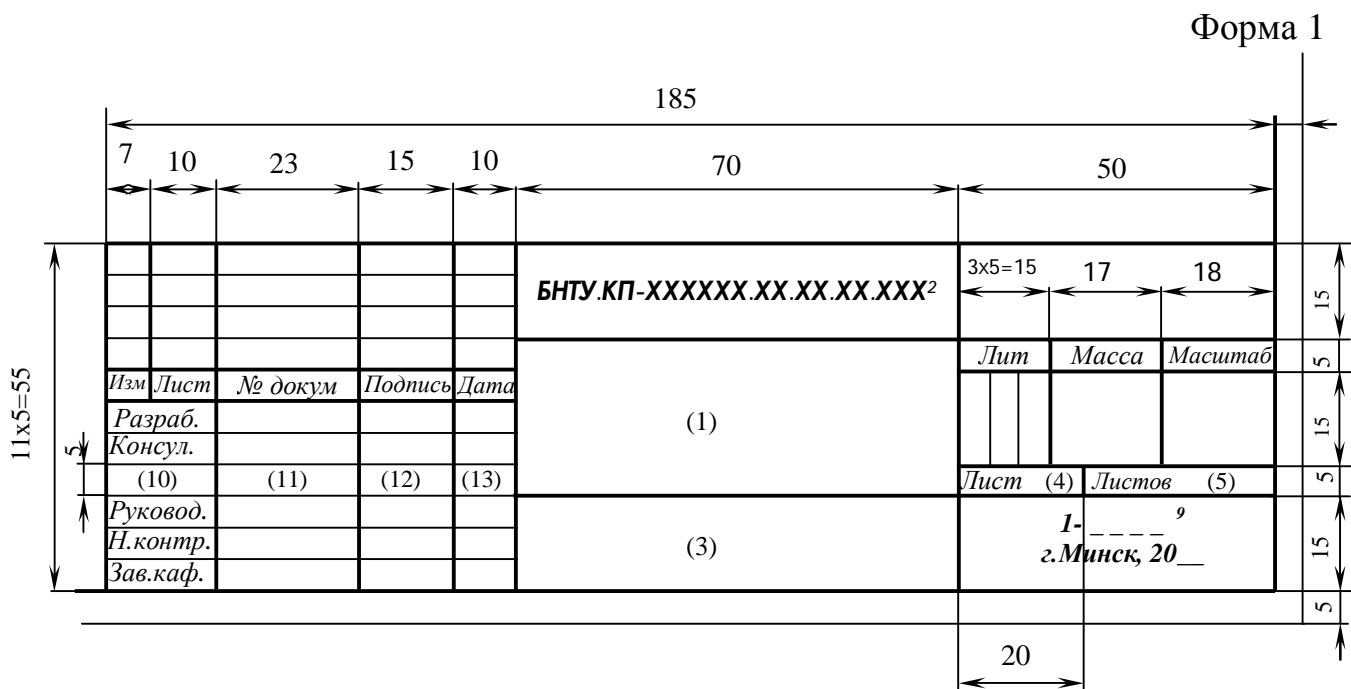
Характеристика источника	Пример оформления
1	2
Один, два или три автора	<p>Герц Е.В. Динамика пневматических систем машин. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.</p> <p>Метлюк Н.Ф., Автушко В.П. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей. – М.: Машиностроение, 1980. – 231 с.</p> <p>Навроцкий К.Л., Сырицын Т.А., Степанов А.И. Шаговый гидропривод. – М.: Машиностроение, 1985. – 160 с.</p>
Более трех авторов	<p>Пневмопривод систем управления летательных аппаратов. / В.А. Чашин, О.Г. Камладзе, А.Б. Кондратьев и др. – М.: Машиностроение, 1987. – 248 с.</p> <p>Машиностроительный гидропривод. / Л.А. Кондаков, Г.А. Никитин, В.Н. Прокофьев и др. Под ред. В.Н. Прокофьева. – М.: Машиностроение, 1978. – 495 с.</p>
Учебник, учебное пособие, справочник, каталог	<p>Навроцкий К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов: Учебник для студентов вузов по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика». – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с.</p> <p>Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин: Теория систем автоматического управления: Учебн. пособие / В.П. Автушко, Н.В. Богдан, В.В. Будько и др.; Под ред. Н.В. Богдана, Н.Ф. Метлюка. – Мн.: НП ООО «ПИОН», 2001. – 396 с.</p> <p>Пневматические устройства и системы в машиностроении: Справочник / Е.В. Герц, А.И. Кудрявцев, О.В. Ложкин и др. Под общ. ред. Е.В. Герц. – М.: Машиностроение, 1981. – 408 с.</p> <p>Смазочное оборудование. Каталог. – М.: НИИМАШ, 1979. – 142 с.</p> <p>Бартош П.Р., Кишкевич П.Н. Расчет предохранительных клапанов: Учебно–методич. пособие по дисциплине «Средства гидропневмоавтоматики» для студ. спец. Т 05.11 – «Гидропневмосистемы транспортных и технологических машин». – Мн.: БГПА, 2001. – 60 с.</p>
Методические указания	<p>Методические указания по изучению курса, выполнению контрольных и курсовых работ по дисциплине «Гидравлика и гидромашин» для студ. спец. Т 05.10 «Двигатели внутреннего сгорания» / Сост. П.Р. Бартош. – М.: БГПА, 1999. – 56 с.</p>

Продолжение таблицы Г.1

1	2
Многотомное издание	Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. / Под ред. И.Н. Жестковой. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001.
Отдельный том в многотомном издании	Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики: В 2-х томах. Т. II Динамика. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 640 с. Орлов П.И. Основы конструирования. Справочно-методическое пособие в 3-х книгах. Кн. 1. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 623 с.
Статья из журнала, сборника трудов	Пасынков Р.М., Сорокин М.А. Сравнение регулируемых и ступенчато-регулируемых аксиально-поршневых гидромашин / Пневматика и гидравлика: Приводы и системы управления. Сб. статей. – М.: Машиностроение, 1990. Вып.15. – С. 249–254. Автушко В.П., Жилевич М.И. Исследование адекватности математической модели гидроцилиндра в задачах динамического расчета гидропривода. // Вестник БНТУ, №4, 2002, – С. 31–37.
Стандарт	СТБ 5.3.08–2003. Национальная система сертификации Республики Беларусь. Порядок проведения сертификации услуг химической чистки и крашения. – Введ. 01.11.03. – Мн.: БелГИСС: Госстандарт Беларуси, 2003. – 20 с. ГОСТ 2.781–96. Обозначения условные графические. Аппараты гидравлические и пневматические, устройства управления и приборы контрольно-измерительные. – Взамен ГОСТ 2.781–68; Введ. 01.01.98; Республика Беларусь. – Мн.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. – 24 с.

Приложение Д

ОСНОВНАЯ НАДПИСЬ НА ЛИСТАХ ГРАФИЧЕСКОГО И ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА КУРСОВОГО ПРОЕКТА



В графах указываются:

- графа 1 – наименование изделия в соответствии с требованиями стандарта;
- графа 3 – обозначение материала детали (заполняется только на чертежах деталей);
- графа 4 – порядковый номер листа (на документах, состоящих из одного листа, графу не заполняют);
- графа 5 – общее число листов документов (графу заполняют только на первом листе);
- графа 10 – характер работы, выполняемой лицом, подписывающим документ;
- графа 11 – фамилии лиц, подписывающих документ;
- графа 12 – подписи лиц, фамилии которых указаны в графе 11;
- графа 13 – дата подписания документа.

² – обозначение чертежа («X» – позиции для цифр);

⁹ – шифр специальности.

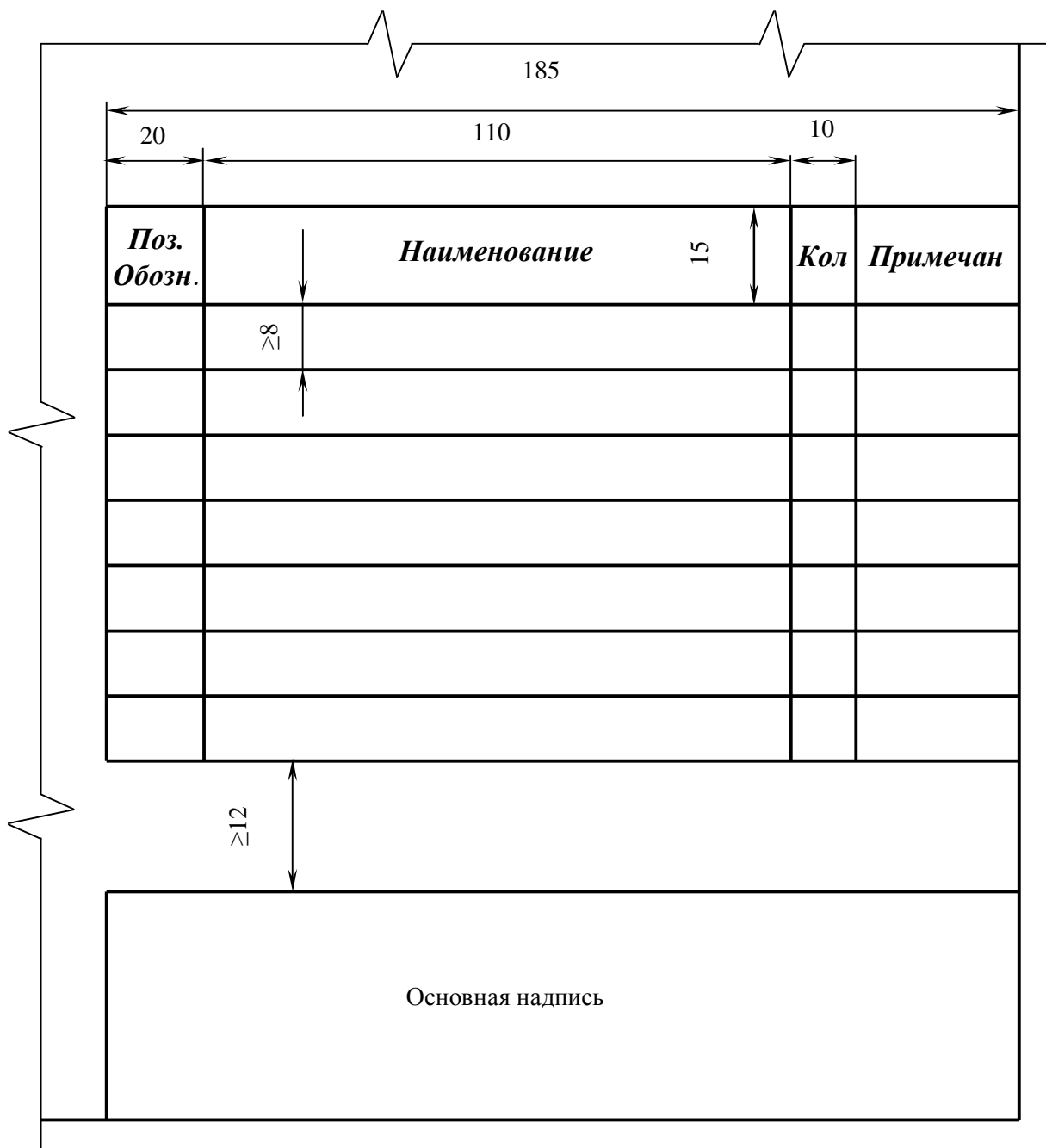
Приложение Е

БУКВЕННЫЕ ПОЗИЦИОННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРО- И ПНЕВМОПРИВОДОВ

ЭЛЕМЕНТ	Обозначение	ЭЛЕМЕНТ	Обозначение
Устройство (общее обозначение)	А	Масленка	МС
Гидро-(пневмо-)аккумулятор	АК	Гидродинамическая муфта	МФ
Аппарат теплообменный	АТ	Насос	Н
Гидробак	Б	Насос аксиально–поршневой	НА
Влагоотделитель	ВД	Насос–мотор	НМ
Вентиль	ВН	Насос пластинчатый	НП
Гидровытеснитель	ВТ	Насос радиально–поршневой	НР
Пневмоглушитель	Г	Пневно–гидропреобразователь	ПГ
Гидродвигатель (пневмодвигатель) поворотный	Д	Гидропреобразователь	ПР
Делитель потока	ДП	Гидрораспределитель (пневмораспределитель)	Р
Гидро-(пневмо-)дроссель	ДР	Реле давления	РД
Гидрозамок (пневмозамок)	ЗМ	Гидроаппарат (пневмоаппарат) клапанный	РК
Гидро-(пневмо-)клапан: общего назначения выдержки времени давления обратный предохранительный редукционный		Регулятор потока	РП
	К	Ресивер	РС
	КВ	Сепаратор	С
	КД	Сумматор потока	СП
	КО	Термометр	Т
	КП	Гидродинамический трансформатор	ТР
КР			
Компрессор	КМ	Устройство воздухоспускное	УВ
Гидромотор (пневмомотор)	М	Гидроусилитель	УС
Манометр	МН	Фильтр	Ф
Гидродинамическая передача	МП	Гидроцилиндр (пневмоцилиндр)	Ц
Маслораспылитель	МР		

Приложение Ж

ОФОРМЛЕНИЕ ПЕРЕЧНЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЕ



Приложение И

15	Форм	Зона	Поз	Обозначение	Наименование	Кол	Прим	5	
	8								6
20	6	6	8	70	63	10	22	5	
40	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	БНТУ.КП-XXXXXX.XX.XX.XX.XXX ²			15
	Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата	(1)	Лит	Лист	Листов
	Разраб.						(5)	(7)	(8)
	Консульт.						5	5	5
	Руковод.	(11)	(12)	(13)			15	(9)	20
	Н.контр.								
	Зав.каф.								
	7	10	23	15	10	70	50		

В графах основной надписи (номера граф на формах показаны в скобках) указывают:

в графе 1 – наименование изделия (в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109–73), а также наименование документа, если этому документу присвоен шифр. Допускается для сборочного чертежа наименование документа не указывать;

в графе 6 – литеру, присвоенную данному документу по ГОСТ 2.103–68 (графу заполняют последовательно, начиная с крайней левой клетки);

в графе 7 – порядковый номер листа (на документах, состоящих из одного листа, графу не заполняют);

в графе 8 – общее количество листов документа (графу заполняют только на первом листе);

в графе 9 – шифр специальности, город и год выполнения дипломного проекта;

в графе 11 – фамилии лиц, подписавших документ;

в графе 12 – подписи лиц, фамилии которых указаны в графе 11 (подписи лиц, разработавших данный документ и ответственных за нормоконтроль, являются обязательными);

в графе 13 – дату подписания документа;

в графах 14...18 – графы таблицы изменений, которые заполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.503–74.

² – обозначение чертежа («X» – позиции для цифр).

Приложение К

	15																					
		<i>Форм</i>	<i>Зона</i>	<i>Поз</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Наименование</i>	<i>Кол</i>	<i>Прим</i>														
	8																					
20		6	6	8	70	63	10	22	5													
15	7																					
	5																					
		(14)	(15)	(16)	(17)	(18)																
		<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подп</i>	<i>Дата</i>																
		<i>БНТУ.КП-XXXXXX.XX.XX.XX.XXX²</i>																				<i>Лист</i>
																						(7)

² – обозначение чертежа («X» – позиции для цифр).

Приложение Л

РЯДЫ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОПНЕВМОСИСТЕМ

Л.1 Значения условных проходов D_y , мм (ГОСТ 16516-80)

1,0	10	100
–	12	125
1,6	16	160
2,0	20	200
2,5	25	250
3,0	30	–
4,0	40	–
5,0	50	–
6,0	63	–
8,0	80	–

Л.2 Номинальные вместимости $V_{ном}$, дм³ (ГОСТ 12448–80)

–	1,0	10,0	100	1000	10000
–	–	–	125	1250	12500
–	1,6	16,0	160	1600	16000
–	–	–	200	2000	20000
–	2,5	25,0	250	2500	25000
–	–	–	320	3200	–
0,40	4,0	40,0	400	4000	–
–	–	–	500	5000	–
0,63	6,3	63,0	630	6300	–

Л.3 Номинальные расходы жидкости $Q_{ном}$, дм³/с (ГОСТ 13825-80)

–	0,100	1,00	10,0
–	0,125	1,25	12,5
0,016	0,160	1,60	16,0
–	0,200	2,00	20,0
0,025	0,250	2,50	25,0
–	0,320	3,20	32,0
0,040	0,400	4,00	40,0
0,050	0,500	5,00	–
0,063	0,630	6,30	–
0,080	0,800	8,00	–

Л.4 Номинальные давления, $p_{ном}$, МПа (ГОСТ 12445-80)

0,10	1,0	10,0	100
–	–	12,5	125
0,16	1,6	16,0	160
–	–	20,0	200
0,25	2,5	25,0	250
–	–	32,0	–
0,40	4,0	40,0	–
–	–	50,0	–
0,63	6,3	80,0	–

Л.5 Нормальные диаметры, мм (ГОСТ 12447-80)

Основной ряд	Основной ряд	Дополнительный ряд	Основной ряд	Дополнительный ряд
1,0	10	-	100	-
-	-	-	-	110
-	12	-	125	-
-	-	14	-	140
-	16	-	160	-
-	-	18	-	180
2,0	20	-	200	-
-	-	22	-	220
2,5	25	-	250	-
-	-	28	-	280
3,0	32	-	320	-
-	-	36	-	360
4,0	40	-	400	-
-	-	45	-	450
5,0	50	-	500	-
-	-	56	-	560
6,0	63	-	630	-
-	-	70	-	710
8,0	80	-	800	-
-	-	90	1000	900

Л.6 Номинальные рабочие объемы насосов и гидромоторов, см³

(ГОСТ 13824-80)

Основ- ной ряд	Основ- ной ряд	Допол- нит. ряд	Основ- ной ряд	Допол- нит. ряд	Основ- ной ряд	Допол- нит. ряд
1,00	10,0	-	100	-	1000	-
-	-	11,2	-	112	-	1120
1,25	12,5	-	125	-	1250	-
-	-	14,0	-	140	-	1400
1,60	16,0	-	160	-	1600	-
-	-	18,0	-	180	-	1800
2,00	20,0	-	200	-	2000	-
-	-	22,4	-	224	-	2240
2,50	25,0	-	250	-	2500	-
-	-	28,0	-	280	-	2800
3,20	32,0	-	320	-	3200	-
-	-	36,0	-	360	-	3600
4,00	40,0	-	400	-	4000	-
-	-	45,0	-	450	-	4500
5,00	50,0	-	500	-	5000	-
-	-	56,0	-	560	-	5600
6,30	63,0	-	630	-	6300	-
-	-	71,0	-	710	-	7100
8,00	80,0	-	800	-	8000	-
-	-	90,0	-	900	-	9000

Л.7 Номинальные частоты вращения, $n_{ном}$ (ГОСТ 12446-80)

с ⁻¹	об/мин	с ⁻¹	об/мин	с ⁻¹	об/мин	с ⁻¹	об/мин	с ⁻¹	об/мин
0,010	0,60	0,10	6,0	1,00	60	10,0	600	100	6000
-	-	-	-	1,25	75	12,5	750	125	7500
0,016	0,96	0,16	9,6	1,60	96	16,0	360	160	9600
-	-	-	-	2,00	120	20,0	1200	200	12000
0,025	1,50	0,25	15,0	2,50	150	25,0	1500	250	15000
-	-	-	-	3,20	192	32,0	1920	320	19200
0,040	2,40	0,40	24,0	4,00	240	40,0	2400	400	24000
-	-	-	-	5,00	300	50,0	3000	-	-
0,063	3,78	0,63	37,8	6,30	378	63,0	3780	-	-
-	-	-	-	8,00	480	80,0	4800	-	-