

# ПРОЦЕССОВ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Под общей редакцией  
проф. А. А. Иванова

Допущено Министерством  
высшего и среднего  
специального образования УССР  
в качестве учебника для студентов  
горных вузов, обучающихся  
по специальности «Электрификация  
и автоматизация горных работ»

КИЕВ — ДОНЕЦК  
ГОЛОВНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ  
СВИЦА ШКОЛА»  
1987

УДК 622.012 : 002.2—52

Автоматизация процессов подземных горных работ / Под ред. проф. А. А. Иванов а.— К.; Донецк : Вища шк. Головное изд-во, 1987.— 328 с.

Описаны принципы действия и конструкции технических средств автоматизации подземных горных работ, системы управления технологическими процессами шахт и рудников. Особое внимание уделено математическому описанию технических средств и систем. Рассмотрены вопросы их надежности, экономической эффективности, безопасности при автоматизации технологических процессов.

Для студентов горных вузов, обучающихся по специальности 0634 «Электрификация и автоматизация горных работ» (специализация «Электрификация и автоматизация подземных горных работ»). Может быть полезен инженерам.

Табл. 49. Ил. 148. Библиогр. 22 назв.

А в т о р ы: А. А. Иванов, И. А. Бражников, В. В. Ткачев, В. Г. Шаруда, В. В. Ковальчук, В. Л. Кожевников, В. П. Чернышев, М. С. Пушкарь, Е. Н. Веремей.

Рецензенты: кафедра горной электротехники и автоматики Донецкого политехнического института (зав. кафедрой доктор технических наук, профессор В. И. Груба) и кафедра автоматизации горной промышленности Киевского политехнического института (зав. кафедрой доктор технических наук, профессор В. М. Чермалых).

Редакция учебной и научной общетехнической литературы при Донецком государственном университете  
Зав. редакцией *М. Х. Тахтаров*

XXVII съезд КПСС твердо определил курс на ускорение социально-экономического развития нашей страны, на радикальную перестройку всех сфер общественной жизни, чтобы достичь качественно нового состояния советского общества.

Происходящее в горной промышленности, как и в других промышленных отраслях, совершенствование технологических процессов предусматривает в конечном счете полную автоматизацию производства, что значительно повышает производительность труда, преобразует рабочие места, делает труд советских рабочих более творческим. Современный этап автоматизации опирается на использование новейших достижений в технологии, электронно-вычислительной технике, электронизацию народного хозяйства.

Всемерное внедрение автоматизации в процессы горных работ влечет за собою, естественно, сокращение численности рабочих и инженерно-технических работников, занятых на подземных работах. В условиях социалистического хозяйствования высвобождающимся рабочим и инженерно-техническим работникам не грозит безработица. Им гарантированы новые рабочие места, занятость в общественном производстве, достойный квалификации заработок. В капиталистических же условиях автоматизация любого производства становится врагом рабочего, выталкивает его за ворота предприятия, содействует увеличению частично или полностью безработных, лишает средств существования.

В нашей стране до двадцатых годов текущего столетия подземная добыча велась вручную с использованием для разрушения крепких горных пород взрывчатых веществ. Транспортировалась горная масса от забоя к шахтному стволу в вагонетках, которые на малые расстояния откатывались вручную, на большие — конной тягой. И только подъем и спуск грузов и людей по шахтным стволам производился паровыми подъемными машинами. К концу двадцатых годов на угольных шахтах появились врубовые машины, качающиеся конвейеры, отбойные молотки, а на рудниках — бурильные молотки и бурильные станки. Таким образом, были механизированы самые тяжелые операции: подрубка и транспортирование угля в забое, бурение шпуров. Для откатки вагонеток стали применяться рудничные электровозы. Механизация в горной промышленности начала интенсивно внедряться в тридцатые годы, чему способствовало развитие отечественного горного машиностроения. Тогда же делались первые попытки автоматизировать шахтные подъемы, водоотливы, врубовые машины. Они оказались безуспешными главным образом потому, что промышленность не могла обеспечить выпуск необходимых технических средств автоматизации. К тому же не все процессы еще были механизированы. Например, вручную производилась навалка отпаленного угля на конвейер, откатка вагонеток в околоствольном дворе и на поверхности шахты. Только в начале пятидесятых годов развернулись

работы по комплексной механизации и автоматизации в угольной промышленности.

В последующие тридцать лет созданы угледобывающие комплексы, которые обеспечивают непрерывный процесс добычи угля в лавах без применения тяжелого физического труда, однако автоматический контроль за работой комплекса и автоматическое управление не были налажены.

Для проходки подготовительных выработок созданы комбайны, которые разрушают породу в забое (не выше средней крепости) и погружают ее на конвейер или в вагонетки. Полностью механизированы и автоматизированы конвейерный транспорт, шахтный водоотлив, шахтные вентиляторные установки, скиповые шахтные подъемы.

Однако в проходческом цикле остается еще множество операций, выполняющихся вручную. Отсутствуют также надежные средства автоматического управления комбайном<sup>1</sup> при обработке забоя и движением его по заданному направлению. Не механизированы еще тяжелые работы по ремонту и поддержанию горных выработок, большое количество различных вспомогательных работ. При детальном рассмотрении подавляющего большинства вспомогательных работ оказывается, что их невозможно механизировать традиционными методами, т. е. созданием специализированных машин, так как последних потребуется очень много и загрузка их будет незначительной. Целесообразный и, вероятно, единственно возможный способ решения этой задачи — разработка и применение универсальных промышленных роботов (манипуляторов), способных при незначительных переналадках выполнять много различных операций.

При построении систем автоматического контроля и управления в горной промышленности сначала применялись исключительно релейно-контактные схемы. Затем<sup>1</sup> по мере развития полупроводниковой техники заводы шахтной автоматики стали выпускать аппаратуру, работающую на диодах, триодах, бесконтактных логических элементах, хотя и релейно-контактные схемы кое-где остались. Ныне электронная промышленность выпускает большие интегральные микросхемы, микропроцессоры, на базе которых создаются микро-ЭВМ, встраиваемые в технологическое оборудование.

В память микро-ЭВМ записываются программы, обеспечивающие управление технологическим процессом. Одна и та же микро-ЭВМ может обеспечить автоматическое управление самыми различными технологическими процессами. Разрабатываются алгоритмы и программы. В ближайшие годы микропроцессорные системы управления появятся на шахтах и рудниках. Это важнейшее направление технического прогресса.

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года», утвержденных на XXVII съезде КПСС, записано: «...опережающими темпами осуществлять изготовление высоконадежных систем промышленной автоматики на базе электроники, прежде всего

для управления технологическими процессами. Ускоренно развивать выпуск средств автоматизации управленческого и инженерного труда... программируемых командоаппаратов для различных видов оборудования. Увеличить производство программных средств для вычислительной техники и автоматизированных систем управления»<sup>1</sup>.

Разрабатывают технические средства и автоматические системы для горной промышленности научно-исследовательские, проектно-конструкторские институты, Гипроуглеавтоматизация, Автоматгор-маш, заводы конотопский «Красный металлист», Днепропетровский шахтной автоматики и др., Институт автоматики (г. Киев), Днепропетровский и Свердловский горные, Киевский и Донецкий политехнические институты.

Средства механизации и автоматизации непрерывно развиваются, претерпевают относительно быстрые изменения.

В результате изучения дисциплины «Автоматизация процессов подземных горных работ» студенты должны усвоить принципы построения технических средств и систем автоматизации технологических процессов шахт и рудников, научиться разбираться в конструкции нового аппарата, читать новые схемы, правильно эксплуатировать системы автоматического управления\*, иметь представление о методах их проектирования, о перспективах развития технических средств и систем автоматического управления технологическими процессами, рассчитывать экономический эффект от применения автоматизации конкретных процессов. Сложные схемы не приводятся полностью, а заменяются их фрагментами или упрощенными, если это необходимо для иллюстрации какого-либо принципа. Чтобы изучить полные схемы, студенты не имеют времени. Зная принципы их построения, выпускники института могут детально изучить их на рабочих местах.

В учебнике излагаются основные принципы построения цифровых микропроцессорных систем автоматического управления, методика составления алгоритмов и программ, необходимых для их реализации, приводятся источники и методика опры — ч экономической эффективности автоматизации технологическ/...

Дисциплина, которой посвящен учебник,— одна из при подготовке инженеров по электрификации и автоматизации подземных горных работ. Базовыми для нее являются высшая математика, промышленная электроника, теория автоматического управления, автоматизированный электропривод, механическое оборудование шахт и рудников, технология производственных процессов шахт и рудников.

Будущему инженеру, специализирующемуся по автоматизации технологических процессов, нужно прежде всего научиться в институте работать с учебником. Чтобы всегда быть на переднем крае развития техники, ему необходимо затем непрерывно изучать литературу по избранной специальности, осваивать новое, прогрессивное.

Введение, гл. 1 (кроме подразд. 1.7), 6, 11 и 14 написаны доктором технических наук, профессором А. А. Ивановым; гл. 5—кандидатом

<sup>1</sup> Материалы X X V I I съезда КПСС.— М., : Политиздат. 1986.— С. 288—289.

технических наук, доцентом И. А. Бражниковым; гл. 3, 13 и подразд. 7.3 — кандидатом технических наук, доцентом В. В. Ткачевым; подразд. 4.1, 4.2, 4.4 и гл. 8 — кандидатом технических наук, доцентом В. Г. Шарудой; подразд. 4.3, гл. 10 и 12 — ассистентом В. В. Ковальчуком; гл. 2 — кандидатом технических наук, доцентом В. Л. Кожевниковым; подразд. 4.5, 7.4, 7.5, 7.6 и гл. 9 — кандидатом технических наук, доцентом В. П. Чернышевым; подразд. 7.1 и 7.2 — кандидатом технических наук, доцентом М. С. Пушкарем; подразд. 1.7 — кандидатом технических наук, доцентом Е. Н. Веремей.

## Глава 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ШАХТ И РУДНИКОВ

### 1.1. Основные понятия и определения

Для усвоения изложенного материала необходимо прежде всего ознакомиться с основными понятиями и определениями терминов, которые в дальнейшем будут употребляться.

Технология добычи полезных ископаемых на шахтах и рудниках — это совокупность процессов, осуществляемых в определенной последовательности с целью получения товарной горной массы заданного качества.

Технологическим процессом называется отдельный законченный процесс, который может быть выделен в общей технологии добычи полезного ископаемого (очистная выемка полезного ископаемого, проведение подготовительной выработки, проветривание шахты и др.).

Все технологические процессы делятся на основные, в результате которых производят выемку, транспортирование и обработку полезного ископаемого, и вспомогательные, обеспечивающие бесперебойное выполнение основных. Такое деление не значит, что есть процессы главные и второстепенные. Все они важны и взаимосвязаны. Например, основной процесс выемки полезного ископаемого невозможен без вспомогательных — откачки воды и проветривания шахты.

Технологические процессы состоят из отдельных трудовых операций. На современных шахтах и рудниках основные, наиболее трудоемкие из них механизированы, однако еще много и вспомогательных операций, которые выполняются вручную.

Механизация — этап машинного производства, при котором процессы получения, преобразования, передачи и использования энергии и материалов осуществляются управляемыми человеком техническими устройствами, машинами, установками, существенно превосходящими человека по мощности и выносливости.

Автоматизация — этап машинного производства, при котором функции контроля и управления трудовыми операциями или технологическими процессами осуществляются автоматическими устройствами.

Управление — совокупность воздействий, выбранных из множества возможных на основании определенной информации и направленных на поддержание функционирования управляемого объекта в соответствии с заданной программой или целью управления (алгоритмом функционирования).

Автоматическое управление — такое управление, которое осуществляется без непосредственного участия человека.

Автоматическое устройство — самостоятельно действующее устройство, управляющее процессами получения, преобразования, передачи и использования информации, энергии и материалов без непосредственного участия человека.

Объекты автоматизации или управляемые объекты — автоматизируемые машины и установки.

Автоматическая система — это совокупность объекта автоматизации и автоматического устройства. В зависимости от выполняемых функций различают автоматические системы контроля и сигнализации; автоматические системы защиты и блокировок; автоматические системы управления.

*Автоматические системы контроля и сигнализации* служат для подачи на пульт управления информации о ходе технологического процесса, выдерживании заданных значений различных параметров или их отклонении, неисправном состоянии оборудования.

*Автоматические системы защиты и блокировок* предохраняют оборудование от повреждений и аварий при нарушении нормальных режимов работы, предотвращают возможные неправильные действия обслуживающего персонала (отключают электрический двигатель от сети при возрастании нагрузки на его валу выше допустимой, не позволяют открыть дверь высоковольтного ящика, пока не будет отключено опасное для жизни напряжение, не допускают включения конвейера, если не введен в действие конвейер, следующий за ним, и т. д.).

*Автоматические системы управления (АС) или системы автоматического управления (САУ)* служат для автоматического управления технологическими процессами или установками.

Различают три степени автоматизации технологических процессов: частичная, комплексная, полная.

*Частичная автоматизация* — автоматизированы отдельные машины, установки, участки технологических процессов.

*Комплексная автоматизация* — автоматизированы все основные технологические процессы.

*Полная автоматизация* — автоматизированы все основные и вспомогательные технологические процессы. Обслуживающий персонал осуществляет пуск, останов, наблюдение за работой автоматических систем, ремонтирует их.

Автоматические системы подвергаются разнообразным воздействиям.

*Воздействие* — это какой-либо фактор, влияющий на состояние автоматической системы или ее элементов.

Воздействия делятся на внешние и внутренние.

*Внешние воздействия* поступают из окружающей автоматическую систему среды.

*Внутренние воздействия* — это влияние одного элемента автоматической системы на другой.

Внешние воздействия по своей физической природе весьма разнообразны, однако каждая автоматическая система реагирует только на те из них, на которые рассчитана. Например, автоматическая система пожарной сигнализации реагирует лишь на повышение температуры в данной точке и ни на что больше. Автоматическая система защиты подъемной машины от превышения скорости срабатывает только в том случае, если скорость превысит допустимое значение. Автоматическая система контроля положения комбайна в лаве реагирует только на перемещение комбайна по лаве.

Автоматические системы управления реагируют на задающее, управляющее и возмущающее воздействия.

*Задающее воздействие* определяет требуемый закон изменения управляемой величины. В качестве такого воздействия могут быть электрическое напряжение, механическое перемещение, давление воздуха и т. п.

*Управляющее воздействие* обеспечивает изменение управляемой величины по заданному закону.

*Возмущающее воздействие* нарушает заданный закон изменения управляемой величины. Примером возмущающего воздействия могут служить нагрузка управляемого объекта, изменение температуры, изменение во времени свойств отдельных элементов системы и т. п.

Возмущающие воздействия, сильно влияющие на ход технологического процесса и поддающиеся измерению, называются основными? возмущающими воздействиями, или основными возмущениями (на пример, нагрузка машины или установки).

Возмущающие воздействия, слабо влияющие на ход технологического процесса и не поддающиеся измерению,— второстепенные возмущения, или помехи (например, изменение сопротивлений электрической и магнитной цепей при изменении температуры).

При исследованиях автоматических систем их необходимо поставить в равные условия. Для этого применяются типовые воздействия, которые выбирают близкими к наиболее часто встречающимся или к наиболее неблагоприятным из всех возможных в реальных условиях. Чаще всего применяются воздействия: единичное ступенчатое, единичное импульсное, линейное и синусоидальное (гармоничное).

Все автоматические системы управления по характеру связей между элементами делятся на разомкнутые и замкнутые.

*Разомкнутые системы* характеризуются тем, что в них управляющее воздействие формируется специальным управляющим устройством с помощью задающего или основного возмущающего воздействия (системы с воздействием по возмущению). По результатам управления управляемая величина не контролируется даже тогда, когда значительно отклоняется от заданного значения.

*Замкнутые системы* характеризуются тем, что управляющее воздействие в них формируется под влиянием отклонения действительного значения управляемой величины от заданного. Отклонение получается на выходе специальной схемы, сравнивающей задающее воздействие, пропорциональное заданному значению управляемой величины, с действительным его значением, которое передается отрицательной обратной связью с выхода системы.

Замкнутые системы применяются для автоматического управления шахтными подъемными установками, очистными и проходческими комбайнами, компрессорными, калориферными установками, шахтными котельными. Автоматическое управление всеми остальными шахтными установками осуществляют разомкнутые системы.

Все автоматические системы по характеру функциональной зависимости между входными и выходными сигналами их элементов делятся на непрерывные и дискретные.

*Непрерывные системы* — это такие системы, выходные сигналы всех элементов которых представляют непрерывные функции времени.

*Дискретные системы* имеют по крайней мере один элемент, преобразующий непрерывный входной сигнал в дискретный. Дискретные автоматические системы делятся на импульсные, релейные и цифровые. Непрерывный входной сигнал квантуется! в импульсных — по времени, в релейных — по уровню, в цифровых — по времени и уровню.

Автоматические устройства состоят из элементов, которые иначе называются техническими средствами автоматизации. С учетом выполняемых функций последние делятся на датчики, релейные, логические, задающие устройства, схемы и устройства сравнения, усилители, исполнительные механизмы, источники питания.

## **1.2. Требования к автоматизации технологических процессов и средствам механизации**

Возможности автоматизации технологических процессов определяются их характером и степенью механизации. Легче автоматизировать непрерывный механизированный процесс, труднее — механизированный дискретный, а немеханизированный автоматизировать невозможно. Наиболее совершенными следует считать технологию и механизацию, которые не нуждаются в специальных средствах автоматизации. Например, при выемке угля механизированными комплексами и транспортировании его к стволу ленточными конвейерами применяется большое количество различных средств автоматизации.

Для отбойки угля гидромониторами и транспортирования его к стволу в потоке воды нужны автоматические устройства управления гидромонитором в забое, управления кровлей, а транспортирование ни в каких средствах автоматизации не нуждается. Повсеместно применить гидравлическую технологию мешают некоторые присущие ей недостатки. Но она может служить примером непрерывной технологии, которая, если в нее включить гидравлический подъем и гидравлическую обработку угля на поверхности, становится просто идеальной. Например, выемка угля быстроходным стругом двустороннего действия с точки зрения автоматизации более совершенна, чем обычным очистным комбайном. Однако физические свойства большинства полезных ископаемых и вмещающих пород таковы, что при современных средствах механизации на шахтах и рудниках необходимо применение большого количества дискретных технологических процессов.

Совершенствование технологических процессов и средств механизации при добыче полезных ископаемых должно идти в направлении наиболее полного извлечения полезного ископаемого с возможно меньшими затратами живого и овеществленного труда, заложенного в стоимости оборудования, при безусловной безопасности ведения горных работ, охране недр и окружающей среды. В данном случае технологические процессы, как правило, должны развиваться от дискретных к непрерывным с обязательным применением встроенных средств авто-

матизации. Если обеспечить непрерывный технологический цикл невозможно, то машины и механизмы, выполняющие дискретный процесс, также должны конструироваться со встроенными средствами автоматизации.

### **1.3. Условия эксплуатации технических средств автоматизации**

Условия эксплуатации технических средств автоматизации на шахтах и рудниках определяются особенностями рудничного воздуха, наличием агрессивных подземных вод, вибраций, толчками, ударами, источники которых — технологическое оборудование и взрывание, характер энергоснабжения и режим работы.

Рудничный воздух имеет высокую относительную влажность (в пределах 90—100 %), пониженное содержание кислорода и повышенное углекислого газа и азота, может включать примеси оксида углерода, оксидов азота, сернистого ангидрида, сероводорода, метана. Иногда запыленность его бывает повышенной — до 2500 мг/м<sup>3</sup>. Понижение температуры воздуха с высокой относительной влажностью сопровождается выпадением росы, которая осаждается на наружных и внутренних поверхностях аппаратов. Высокая влажность воздуха при наличии в нем примесей сернистых и азотистых соединений приводит к образованию паров или росы агрессивных кислот, разрушающих изоляцию и открытые токоведущие части аппаратов. Температурный режим рудничного воздуха по сравнению с атмосферным отличается меньшими суточными и сезонными колебаниями, повышенной среднегодовой температурой. С увеличением глубины разработок температура возрастает. В различные времена года и в различных точках шахты температура рудничного воздуха может колебаться в пределах 0 ... +40 °С. На поверхности шахт всех климатических зон СССР температура воздуха может колебаться в пределах —50°... +40 °С.

В угольных шахтах большую опасность представляют метан и угольная пыль, образующие в определенной концентрации пыле- и метановоздушную смесь, взрывающуюся при соприкосновении с источниками воспламенения — электрической дугой или искрой, открытой токоведущей частью, нагретой до температуры, достаточной для воспламенения метана и пыли. Токопроводящая пыль, оседая на поверхности аппаратов при наличии открытых токоведущих элементов, приводит к дополнительным утечкам тока.

Подземные воды, как правило, содержат большое количество растворенных солей, иногда — примеси щелочей или кислот, которые, если не принимать специальных мер защиты, разрушительно действуют на средства автоматизации, работающие при наличии брызг и капежа. Вибрации характеризуются частотой, амплитудой и ускорением, зависящими от места установки средств автоматизации на машинах и механизмах. На корпусах машин, двигателей, на подшипниках частота вибраций может достигать 200 Гц, амплитуда — 0,8 мм, ускорение — 10 и даже 16<sup>^</sup>. Большие ударные нагрузки возникают при транспортировании оборудования, выполнении погрузочно-разгрузочных работ, воздействии взрывной волны.

Энергоснабжение в подземных выработках отличается большими колебаниями питающего напряжения, достигающими  $\pm 15\%$ , а при пуске мощных комбайновых двигателей напряжение может временно снижаться на 20—25 % от номинального. Такие колебания напряжения бывают на участках, в кабельных сетях которых сечения токопроводящих жил меньше расчетных.

Режим работы технических средств автоматизации можно разделить на *длительный* (аппарат находится под напряжением в течение всего времени работы автоматизированной установки) и *кратковременный* (аппарат включается на короткое время, например, при эпизодическом контроле параметров).

#### 1.4. Требования к автоматическим системам и техническим средствам автоматизации

Автоматическое управление технологическими процессами призвано улучшать их технико-экономические показатели, и отсутствие улучшения свидетельствует о том, что автоматизация не достигла поставленных целей.

Эффективность автоматизации в каждом отдельном случае определяется конкретными расчетами с учетом индивидуальных особенностей автоматизируемого процесса. Вместе с тем есть ряд общих требований, которым по возможности должна удовлетворять любая автоматическая система.

Конструкция технических средств, автоматические системы и их монтаж должны соответствовать условиям эксплуатации, быть надежными, обеспечивать безопасность труда обслуживающего персонала. Рассмотрению этих вопросов посвящены специальные параграфы.

Автоматические системы должны быть как можно более простыми, что достигается минимальным в пределах технической и экономической целесообразности количеством функций, выполнение которых возлагается на систему, минимальное количество машин, аппаратов, приборов и других устройств, входящих в систему.

Важно, чтобы автоматическая система была гибкой в управлении, т. е. допускала возможность простого и быстрого перехода от автоматического управления к ручному и наоборот. В случаях необходимости обеспечивается возможность управления из нескольких пунктов. Надо предусматривать, чтобы система действовала четко как в нормальных, так и в аварийных режимах, любое повреждение не сопровождалось дальнейшим развитием аварии.

Одно из основных требований к автоматическим системам — удобство монтажа, эксплуатации, контроль за исправностью, удобство нахождения повреждений и ремонта. Монтаж современных устройств автоматики — сложный процесс, и его обычно делят на ряд промежуточных операций. В заводских условиях аппараты и приборы собирают в отдельные монтажные единицы (блоки), которые затем доставляются на место монтажа, где их устанавливают и делают внешние соединения между ними. При таком монтаже облегчается ремонт: блок, в котором обнаружена неисправность, заменяют работоспособным, а

дефектный, если он подлежит ремонту, ремонтируют в специальной мастерской.

Конструкция технических средств автоматизации должна обеспечивать их сохранность при транспортировке. Условия транспортировки исследованы институтом Гипроуглеавтоматизация, в результате установлены следующие наиболее тяжелые: транспортная тряска в течение трех часов с ускорением  $6^{\wedge}$  при частоте ударов 80 в минуту и тряска в течение 3 мин с ускорением  $30^{\wedge}$  при 10 ударах в минуту. В этих условиях технические средства в заводской упаковке не должны быть повреждены.

### **1.5. Проектная документация, виды и типы схем**

Монтаж, наладка и эксплуатация автоматических систем контроля и управления выполняются по проектам специализированных организаций. Для угольной промышленности их разрабатывают Государственные институты по проектированию шахт (Гипрошахт).

Состав и содержание технической документации проектов автоматизации технологических процессов регламентируются государственными стандартами и ведомственными нормами. Способы исполнения чертежей, схем, текстовых материалов регламентируются стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и ведомственными нормами.

Проектирование автоматических систем управления технологическими процессами выполняется в две стадии — технический проект и рабочие чертежи — или в одну — технорабочий проект (технический проект, совмещенный с рабочими чертежами).

В состав технического проекта входят: структурная схема управления и контроля (для сложных систем управления); функциональные схемы автоматизации технологических процессов (для объектов с несложным технологическим процессом и простыми системами автоматизации допускается вместо функциональных схем автоматизации составление перечней систем контроля, регулирования, управления и сигнализации); планы расположения щитов, пультов и т. п.; заявочные ведомости (приборов и средств автоматизации, электроаппаратуры, трубопроводной арматуры, щитов, пультов и т. п.); тематические карточки на разработку новых средств автоматизации (ГОСТ 16084—70); технические требования на разработку нестандартизированного оборудования; смета на приобретение и монтаж технических средств систем автоматизации; пояснительная записка; задания генпроектировщику на разработки, связанные с автоматизацией объекта для обеспечения систем автоматизации электроэнергией, сжатым воздухом, гидравлической энергией, теплоносителями и т. п., проектирование помещений, обеспечение производственной связи и др.

На стадии рабочих чертежей в состав проектных материалов входят: структурная схема управления и контроля; функциональные схемы автоматизации технологических процессов; принципиальные электрические, пневматические, гидравлические схемы контроля, автоматического регулирования, управления, сигнализации и питания; общие виды щитов и пультов; монтажные схемы щитов и пультов; схемы

внешних электрических и трубных проводок; планы расположения средств автоматизации, электрических и трубных проводок; нетиповые чертежи установки средств автоматизации; общие виды нестандартизированного оборудования; пояснительная записка; заказные спецификации: приборов и средств автоматизации, электроаппаратуры, щитов и пультов, трубопроводной арматуры, кабелей и проводов, основных монтажных материалов и изделий, нестандартизированного оборудования.

В состав технорабочего проекта включают материалы, выполняемые на стадии рабочих чертежей, и дополнительно смету на оборудование и монтаж.

В состав проектной документации входят схемы, которые различают по видам и типам.

По видам схемы делятся на электрические, пневматические, гидравлические и комбинированные.

*Электрические схемы* разрабатываются в случае применения электрических систем автоматизации. В условиях, опасных по газу и пыли (угольные шахты крутого падения, некоторые химические производства), могут использоваться пневматические системы автоматизации, для которых разрабатываются *пневматические схемы*. *Гидравлические схемы* автоматизации технологических процессов из-за трудностей передачи гидравлических сигналов на большие расстояния в чистом виде не применяются, используются лишь отдельные гидравлические узлы, для которых разрабатываются эти схемы. Относительно широко применяются комбинированные системы и соответственно *комбинированные схемы* автоматизации: электропневматические, электрогидравлические, пневмогидравлические.

По типам схемы делятся на структурные, функциональные, принципиальные, монтажные и внешних соединений.

При вычерчивании схем применяются графические условные обозначения, определяемые государственными стандартами.

*Структурные схемы* изображают укрупненную структуру системы контроля и управления предприятием, цехом, сложным технологическим комплексом, взаимосвязи между управляемыми объектами и средствами контроля и управления и отдельными участвующими в управлении должностными лицами. Объекты, щиты, пульта управления и контроля изображаются прямоугольниками или окружностями с надписями, указывающими их наименование и назначение. Связи изображаются линиями, возле которых ставят обозначения видов связи, а стрелками на линиях — их направление.

Наличие структурной схемы в составе проекта автоматизации облегчает составление и взаимную увязку технической документации, а также пользование ею.

*Функциональные схемы* изображают условными обозначениями технологическое оборудование, средства автоматического контроля и управления, связи между технологическим оборудованием и средствами автоматического контроля и управления. Внутреннее устройство технологического оборудования и средств автоматического контроля и управления на этих схемах не раскрывается. Функциональные схемы могут быть выполнены двумя способами.

По первому способу в нижней части чертежа прямоугольниками изображаются щиты и пульта, в которых условными обозначениями указываются монтируемые на них приборы, средства автоматического контроля и управления, соединяющиеся линиями связи с элементами схемы, расположенными на технологическом оборудовании. При построении сложных функциональных схем избегают большого количества пересечений линий связи, поэтому при выходе за пределы щитов их обрывают и в местах разрыва нумеруют. Для нижнего ряда концов номера обычно следуют в возрастающем порядке. В верхнем ряду концов указываются в любом порядке номера линий связи нижнего ряда, с которыми должны быть соединены линии связи верхнего.

По второму способу приборы и средства автоматического контроля и управления располагаются вблизи отборных устройств и датчиков, расположенных на технологическом оборудовании. Щиты и пульта на таких схемах не показываются.

При втором способе выполнения функциональной схемы достигается простота совмещения схемы контроля и управления с технологической схемой, однако остается неясной организация пунктов контроля и управления. При первом способе функциональная схема свободна от этого недостатка.

*Принципиальные схемы* изображают все элементы приборов, средств автоматизации и вспомогательной аппаратуры, входящих в состав функциональных узлов автоматических систем, все связи между элементами и дают полное представление о принципе действия автоматических систем. Под элементами в данном случае подразумеваются функционально не расчленяемые части какого-либо устройства. Например, элементами реле являются его катушка и каждый отдельный контакт.

В принципиальных схемах графические условные обозначения отдельных элементов изображаются разнесенным способом, заключающимся в том, что элементы изображаются в тех цепях, в которые они включены, а цепи располагаются так, чтобы они были наглядны и схема наиболее удобно читалась. Принадлежность элементов одному и тому же аппарату устанавливается по буквенным или цифровым (комбинированным) позиционным обозначениям: элементам определенного аппарата присваиваются одинаковые позиционные обозначения. Например, если реле обозначено РП1, то это обозначение присваивается катушке реле и каждому его контакту. Все контакты изображаются в положениях, соответствующих отсутствию тока во всех цепях схемы и при отсутствии внешних воздействий. Поэтому все замыкающие контакты (пускателей, реле, кнопок, рубильников и др.) на схемах показывают разомкнутыми, а все размыкающие — замкнутыми. Контакты кнопок, переключателей на схемах изображаются исходя из условия, что сила, действующая на подвижный контакт при срабатывании, направлена сверху вниз или слева направо. Маркировка проводов в цепях, составление таблиц состояния переключателей регламентируются государственными стандартами.

Принципиальные схемы используются при составлении монтажных схем и схем соединений, при изучении принципов работы систем, при наладочных работах и ремонтах в период эксплуатации систем.

*Монтажные схемы* изображают примерное взаимное расположение приборов и средств автоматизации без соблюдения масштаба, соединения электрических и трубных проводок, места их присоединений и ввода в пределах отдельных комплексных устройств (щитов, пультов и т. п.). Монтажные схемы позволяют смонтировать все соединения внутри щита и пульта. Монтаж приборов и средств автоматизации, сборок коммутационных зажимов выполняется по конструктивным чертежам щитов и пультов.

Существует несколько способов выполнения монтажных схем: графический, адресный, табличный и по ЕСКД. Первые три способа выполняются по отраслевым нормативным документам.

*Графический способ* состоит в том, что все соединения между зажимами приборов и сборок коммутационных зажимов изображаются сплошными линиями. Там, где направление нескольких линий совпадает, они объединяются вместе в жгут, который изображается жирной линией. Провода, подходящие к зажимам, маркируются в точном соответствии с маркировкой проводов на принципиальной схеме. В сложных схемах линии соединений затемняют чертеж и соединения прослеживаются с трудом.

Наиболее распространен *адресный способ* выполнения монтажных схем. Приборы и сборки зажимов располагаются на чертеже так же, как и при графическом способе, и так же обозначаются размещенными в кружочках цифрами. Теперь эти цифровые обозначения выполняют роль адресов. Провода, присоединяемые к зажимам, изображаются короткими отрезками линий. Сверху или слева от них записывается маркировка по принципиальной схеме, а против конца линии — номер аппарата, к которому этот провод должен быть протянут, т. е. адрес. На этом аппарате тоже изображен отрезок провода с той же маркировкой, но с адресом первого аппарата. Когда соединяемые зажимы расположены недалеко, они соединяются сплошной линией.

При большом количестве соединений монтажные схемы щитов и пультов иногда выполняются *табличным способом*. Схема составляется на нескольких листах. На первом изображается компоновка приборов, средств автоматизации, коммутационных зажимов, расположение соединительных кабелей и жгутов, проставляются их цифровые обозначения. Последующие листы представляют собственно монтажную схему, выполненную в виде таблицы, содержащей сведения о проводах и адресах присоединений. В таблице указываются! обозначения приборов и средств автоматизации, взятые из принципиальной схемы и проставленные на первом листе, номера выводных контактов, маркировка, характеристика и длина проводников. При чтении такой схемы указанные в таблице адреса разыскивают на первом листе и между ними мысленно прокладывают соединительные провода

*Схемы, выполненные по ЕСКД*, близки к графическому способу и отличаются некоторыми особенностями, с которыми можно ознакомиться в официальных руководствах.

*Схемы внешних соединений* отражают соединения между отдельными монтажными единицами автоматической системы контроля или управления, к которым относятся! первичные приборы и датчики на

технологическом оборудовании, щиты, пульта, местные пункты контроля и управления, внештатные приборы, соединительные коробки и т. п. Все соединения изображаются сплошными линиями, маркировка проводов, обозначения приборов и средств автоматизации выполняются в соответствии с принципиальной схемой.

Чтение схем автоматического контроля и управления требует предварительной подготовки. Этому вопросу посвящены специальные монографии, например [5].

## 1.6. Надежность автоматических систем

Технический прогресс сопровождается усложнением автоматических систем, количество узлов и отдельных элементов в которых неуклонно возрастает. Все актуальнее становится проблема обеспечения надежной, безотказной работы этих систем, которая и является содержанием специальной дисциплины — теории надежности.

Теория надежности изучает общие закономерности, учет которых необходим при проектировании, изготовлении, испытании, приемке и эксплуатации технических систем и изделий для обеспечения максимальной эффективности их использования.

Рассмотрим основные понятия и терминологию, применяемые в теории надежности.

*Надежность* — свойство системы сохранять в установленных во времени пределах значения всех параметров, обеспечивающих способность выполнять требуемые функции в заданных условиях хранения, транспортирования и эксплуатации.

*Ремонтопригодность* — свойство системы, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

*Наработка* — продолжительность или объем работы.

*Безотказность* — свойство системы непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение определенного времени или определенной наработки.

*Отказ* — событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния системы.

*Внезапный отказ* возникает в результате скачкообразного изменения параметров системы, обеспечивающих ее работоспособность.

*Постепенный отказ* возникает в результате постепенного изменения параметров системы, обеспечивающих ее работоспособность, старения, износа.

*Перебегающий отказ* — многократно возникающий самоустраивающийся отказ системы одного и того же характера.

*Восстанавливаемая система* — такая система, для которой восстановление работоспособности предусмотрено в нормативно-технической или конструкторской документации.

*Невосстанавливаемая система* — такая система, для которой восстановление работоспособности не предусмотрено нормативно-технической или конструкторской документацией.

*Вероятность безотказной работы  $P$*  — вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ системы не произойдет. Рассчитывает-

ся по формуле

$$p = (BI - n)/K, \quad (1.1)$$

где  $N$  — начальное число эксплуатируемых систем;  $n$  — число систем, отказавших за время наработки.

*Вероятность отказа*  $Q$  — вероятность того, что в пределах заданной наработки произойдет отказ системы при условии, что в начальный момент времени она была работоспособна. Рассчитывается по формуле

$$Q = n/N. \quad (1.2)$$

Вероятность отказа — событие, противоположное вероятности безотказной работы, поэтому

$$P + Q = 1. \quad (1.3)$$

*Интенсивность отказов*  $\lambda$ , — условная плотность вероятности возникновения отказов невосстанавливаемой системы, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник. Статистически интенсивность отказов находится как отношение числа отказавших систем в единицу времени к числу систем, не отказавших к данному моменту времени:

$$\bar{V} - \lambda \quad At \quad (1.4)$$

Специальные исследования показали, что вероятность отказов аппаратуры автоматизации (шахтной и общепромышленной) распределяется по экспоненциальному закону. В этом случае интенсивность отказов будет величиной постоянной, не зависящей от времени работы. Тогда вероятность безотказной работы можно определить из выражения

$$P = e^{-\lambda t}. \quad (1.5)$$

*Средняя наработка до отказа*  $T_{cp}$  — математическое ожидание наработки системы до первого отказа. Рассчитывается по формуле

$$T_{cp} = 1/\lambda. \quad (1.6)$$

Для восстанавливаемых систем характерным показателем является параметр потока отказов  $\lambda$  — отношение среднего числа отказов восстанавливаемой системы за произвольно малую его наработку к значению этой наработки.

### При экспоненциальном распределении потока отказов

$$\lambda = X = \text{const}. \quad (1.7)$$

*Нарботка на отказ*  $T_a$  — отношение наработки восстанавливаемой системы к математическому ожиданию числа ее отказов в течение этой наработки. Другими словами, это наработка (время работы) между соседними отказами.

*Время восстановления* — продолжительность восстановления работоспособности системы.

*Среднее время восстановления*  $T_g$  — математическое ожидание времени восстановления работоспособности системы.

*Интенсивность восстановления* — вероятность восстановления системы в единицу времени. Рассчитывается по формуле

$$X_v = 1/T_g. \quad (1.8)$$

*Коэффициент готовности*  $K_z$  — вероятность того, что система ока-

жется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме периодов, когда использование системы не предусматривается. Рассчитывается по формуле

$$= \dots \quad (1.9)$$

где  $A_{в}$  — интенсивность восстановления;  $A_{от}$  — интенсивность отказов;  $T_{от}$  — наработка на отказ;  $T_{в}$  — время восстановления.

Количественные характеристики надежности применяются при проектировании систем автоматического управления для расчета их ожидаемой общей надежности. Характеристика надежности сложной системы может быть получена расчетом, если известны характеристики элементов, из которых составляется система. Количественные характеристики надежности элементов определяются в результате статистической обработки длительных наблюдений за большим числом элементов в процессе эксплуатации или специальных стендовых испытаний и помещаются в справочнике. Теоретическим путем эти характеристики получить нельзя.

В справочной литературе приводится обычно интенсивность отказов за 1000, 100 000 ч и т. д. Чтобы получить интенсивность отказов за один час, справочные данные делят на  $10^3$ ,  $10^5$  и т. д.

При расчетах надежности сложных систем составляют логическую схему соединений. Систему при этом расчленяют на элементы и определяют влияние на ее работу отказа каждого из элементов. Если будет установлено, что система может нормально функционировать только тогда, когда работоспособны все без исключения элементы, и отказ любого из них повлечет отказ всей системы, то такая схема соединений называется логической схемой зависимого последовательного действия или просто логическим последовательным соединением.

*Интенсивность отказов*  $\lambda_{от}$  логически последовательно соединенных элементов равна сумме интенсивности отказов всех элементов

$$\lambda_{от} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (1.10)$$

Вероятность безотказной работы  $P_{мс}$  системы при логическом последовательном соединении  $n$  ее элементов равна произведению вероятностей безотказной работы  $P_i$  отдельных элементов. С учетом (1.10) получаем

$$P_{мс} = \prod_{i=1}^n P_i \quad (1.4)$$

Так как каждая из вероятностей  $P_i$  меньше единицы, то общая вероятность безотказной работы системы при логическом последовательном соединении элементов оказывается меньше вероятности безотказной работы любого входящего в ее состав элемента. Если система построена так, что она может нормально функционировать, когда работоспособность сохраняют все, или несколько элементов, или только один из них, то такое соединение называется логическим параллельным. Вероятность отказа системы при логическом параллельном соединении  $K$  ее элементов равна произведению вероятностей отказов

отдельных элементов:

$$\langle \lambda_{\text{пар}} = \Gamma \lambda_{\text{э}} / \quad (1.12)$$

или, учитывая (1.3), вероятность безотказной работы

$$P_{\text{пар}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \quad (13)$$

Общая вероятность безотказной работы при логическом параллельном соединении оказывается больше вероятности безотказной работы любого входящего в соединение элемента, а интенсивность отказов равна интенсивности отказов одного элемента.

При смешанном соединении, когда несколько групп параллельно соединенных элементов затем соединены последовательно, вероятность безотказной работы определяется по формуле

$$P_{\text{общ}} = \prod_{i=1}^m \left( \prod_{j=1}^{n_i} (1 - \lambda_j) \right)$$

Если несколько групп последовательно соединенных элементов затем соединены параллельно, то справедливой будет следующая формула:

$$\lambda'_{\text{овщ}} = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - P_j)$$

На стадии проектирования сначала производится ориентировочный расчет надежности, в котором используются характеристики, полученные из справочников для номинальных условий работы. Задача такого расчета — сравнение проектных вариантов, выбор оптимального

Для выбранного варианта производится полный расчет надежности в котором учитываются действительная нагрузка элементов, температура окружающей среды, влажность вибрация и др. С этой целью используются также приводимые в справочной литературе таблицы и графики, по которым определяются значения поправочных коэффициентов  $K_p$ , вводимых в значения интенсивности отказов  $\lambda$  для номинальных условий работы. Интенсивность отказов  $\lambda_p$  для реальных условий работы определяется по формуле

$$\lambda_p = \lambda K_p \quad (1.14)$$

Рассмотрим на примере выполнение ориентировочного расчета.

Пример невозстанавливаемой системы. Определить вероятность безотказной работы в течение месяца (720 ч) для проектируемой системы, которая содержит 5 транзисторов, 18 резисторов, 2 трансформатора, 2 реле, 8 конденсаторов и 15 соединительных зажимов. Все 50 элементов системы соединены логически последовательно, так что отказ любого из них влечет за собой отказ всей системы.

По справочным данным, средняя интенсивность отказов в расчете на 100 000 ч следующая:

Транзисторы	0,30
Резисторы	0,28
Трансформаторы	0,05
Реле	0,20
Конденсаторы	0,24
Соединительные зажимы	0,005

По формуле (1.10) определим общую интенсивность отказов всех логически последовательно соединенных элементов в расчете на 1 ч

$$I = (5 \cdot 0,30 + 18 \cdot 0,28 + 2 \cdot 0,05 + 8 \cdot 0,24 + 15 \cdot 0,005) \cdot 10^{-5} = 9,05 \cdot 10^{-6}$$

Вероятность безотказной работы получаем по формуле (1.11)

$$p_{\text{пос}} = 0,905 \cdot 10^{-5}$$

По этому выражению построена зависимость вероятности безотказной работы от времени (рис. 1.1).

Вероятность безотказной работы в течение месяца (720 ч), вычисленная по кривой зависимости, составляет 0,935.

С увеличением числа последовательно соединенных элементов вероятность безотказной работы уменьшается. Предположим, что проектируемая система, у которой число последовательно соединенных элементов каждого вида в 5 раз больше, чем в рассмотренной выше (250 элементов). Тогда вероятность безотказной работы, вычисленную аналогично, найдем из выражения

$$p_{\text{пос}} = 0,4525 \cdot 10^{-5}$$

По этому выражению на рис. 1.1 построена кривая 2. Вероятность безотказной работы в течение месяца, найденная по этой кривой, составляет 0,72, что значительно меньше, чем в первом случае.

Полный расчет надежности производится аналогично, только в значения интенсивности отказов включаются поправочные коэффициенты в соответствии с выражением (1.14).

Основные методы повышения надежности на стадии проектирования — применение более надежных элементов, выбор облегченных режимов работы по нагрузке, напряжению, температуре, выбор рациональных конструктивных решений, резервирование.

Повысить надежность можно также и в процессе эксплуатации выполнением запрокинутых режимов работы, своевременным проведением профилактических осмотров и ремонтов.

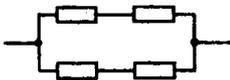
Выбор облегченных режимов работы как один из наиболее доступных и дешевых методов обеспечивается заменой принятого элемента аналогичным, рассчитанным на большую нагрузку, напряжение и т. п. Значительно повысить надежность можно рациональным конструированием блоков, щитов, пультов, обеспечивающим прочность, виброустойчивость, вентиляцию, удобство технического обслуживания, ремонтпригодность.

Резервирование заключается в применении дополнительных элементов или, другими словами, логическом параллельном соединении однотипных элементов, узлов, блоков и целых систем.

Существуют различные виды резервирования. На горных предприятиях в особо ответственных случаях применяют несколько независимых систем, выполняющих одну и ту же функцию. Например, шахтная вентиляторная установка состоит из двух аналогичных агрегатов, водоотливная — из трех. В случае выхода из строя работающего агрегата включается резервный, который всегда должен находиться в исправном состоянии. Такое резервирование повышает надежность проветривания шахты или откачки воды, но не надежность систем автоматического контроля и управления каждым агрегатом. Для повышения надежности автоматических систем в схему каждой из них вводятся резервные элементы, выполняющие те же функции, что и основные.

Различают *общее резервирование*, при котором резервируется система в целом или крупная подсистема, и *раздельное резервирование*, когда





резервируются отдельные элементы или узлы системы.

рис. 1.2. схемы ре- В зависимости от режимов работы различают *нагруженный резерв*, при котором запасные элементы пребывают в том же режиме, что и основной; и *непогруженный резерв*, когда запасные элементы находятся в ненагруженном режиме до начала выполнения ими функций основного элемента.

В зависимости от способа включения различают *постоянное резервирование*, когда при возникновении отказа не происходит перестройка структуры системы, резервные элементы включены непрерывно, и *резервирование замещением*, при котором функции основного элемента передаются запасному только после отказа основного элемента.

В системах шахтной автоматики, как правило, применяется раздельное постоянное резервирование.

При постоянном резервировании необходимо учитывать, какое действие, зависящее от вида отказов, различных по своим внешним проявлениям, произведет отказ на систему. Однако для подавляющего большинства подсистем или элементов можно ограничиться рассмотрением двух предельных случаев отказа — обрыва и короткого замыкания. Поэтому резервирование системы должно обеспечиваться при обоих видах отказов.

Схема резервирования отдельного элемента, сохраняющая работоспособность при любом виде отказа в любом из четырех элементов, приведена на рис. 1.2.

Предположим, произведено резервирование всей последовательной цепи (дублирование). Для создания двух логически параллельно соединенных цепей потребуется 500 элементов.

Вероятность отказа нерезервированной системы в соответствии с формулой (1.3)

$$Q_{\text{пое}} = 1 - P_{\text{пос}} = 1 - e^{-\lambda \cdot 45,25 \cdot 10^{-5} \cdot t}$$

Вероятность отказа системы с двумя одинаковыми логически параллельными цепями согласно формуле (1.12)

$$Q_{\text{пар}} = Q_{\text{пое}} = 1 - e^{-\lambda \cdot 45,25 \cdot 10^{-5} \cdot t}$$

Вероятность безотказной работы резервированной системы

$$P_{\text{пар}} = 1 - Q_{\text{пар}} = 1 - [1 - e^{-\lambda \cdot 45,25 \cdot 10^{-5} \cdot t}]^2 = e^{-\lambda \cdot 45,25 \cdot 10^{-5} \cdot t} \cdot e^{-\lambda \cdot 45,25 \cdot 10^{-5} \cdot t}$$

Кривая, построенная поэтому выражению на рис. 1.1, практически совпадает с кривой 1. Вероятность безотказной работы в течение месяца составляет в этом случае 0,94.

Основные показатели надежности для восстанавливаемых систем зависят от условий эксплуатации: если перерывы в работе недопустимы, определяется вероятность безотказной работы системы, если допустимы, устанавливается коэффициент готовности системы [23].

Вероятность безотказной работы восстанавливаемой дублированной системы с нагруженным резервом при недопустимых перерывах в работе

$$P = \frac{e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t}}{2} \cdot e^{-\lambda_3 t} \quad (1.15)$$

где  $s_1, s_2$  — корни квадратного уравнения;

$$s^2 + (3\lambda + \lambda_B) s + 2\lambda^2 = 0;$$

откуда

(Оле)

$$- (3\lambda + \lambda_B) \pm \sqrt{(3\lambda + \lambda_B)^2 - 8\lambda^2} \\ 2$$

Коэффициент готовности восстанавливаемой дублированной системы с нагруженным резервом, когда перерывы в работе системы допустимы, определяется по формуле

При автоматизации производственных процессов применяются сложные системы автоматического контроля, сигнализации, защиты и управления, так называемые многофункциональные системы. Эти системы разделяются на радиальные (рис. 1.3, а), магистральные (рис. 1.3, б) и смешанные. Каждая ветвь системы выполняет определенную рабочую функцию.

Для количественной оценки надежности всей системы вводится показатель эффективности  $E$ , учитывающий важность выполняемых рабочих функций и экономических потерь, которые возникают при их отказе [23].

Экономический эффект, получаемый от применения многофункциональной системы,

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^I \mathcal{E}_i, \quad (1.18)$$

где  $I$  — количество рабочих функций;  $\mathcal{E}_i$  — экономический эффект от каждой рабочей функции.

Коэффициент относительной ценности 1-й рабочей функции

$$C_1 = \mathcal{E}_1 / \mathcal{E}. \quad (1.19)$$

Рассмотрим вычисление показателя эффективности для систем, приведенных на рис. 1.3.

Предположим, для каждой ветви радиальной структуры 1, 2, 3 вероятности безотказной работы соответственно равны  $P_1, P_2, P_3$ ; вероятность отказов —  $(3_2, <2_3$  и коэффициенты относительной ценности —  $C_1, C_2, C_3$ .

Возможные значения вероятности и коэффициентов относительной ценности состояний системы для каждой структуры приведены в табл. 1.1.

Показатель эффективности радиальной структуры

$$\mathcal{E}_p = (C_1 + C_2 + C_3) P_1 P_2 P_3 + (C_2 + C_3) (3LP_a + (C_x + C_3) P^{\wedge} P_3 + \\ + (C_x + C_2) P_x \Phi r O_3 " \mathcal{B} \quad 3 + C_2 C_1 \mathcal{Y}_2 C_3 + C_1 P_1^* 3a C_3 -$$

Таблица 1.1

Вероятности состояний	Коэффициенты относительной ценности состояний системы		Вероятности состояний	Коэффициенты относительной ценности состояний системы	
	для радиальной структуры	для магистральной структуры		для радиальной структуры	для магистральной структуры
$P_1 > P_2 > P_3$ $@1 > P_2 > P_3$ $P_1 > C_2; P_3$ $P1 > P_2 > P_3$	$f^* 1 + ^2 + ^3$ $C_2 + C_3$ $C_x + C_3$ $C_x + C_2$	$C1+C2+C3$ $0$ $C_2$ $^1 + C-2$	$@1 > Cr! P_3$ $@1! P1! C_3$ $P1! Ca > C_3$ $Q1! Cr! C_3$	$C_3$ $C_2$ $C_2$ $0$	$0$ $0$ $0$ $0$

После преобразований, учитывая, что  $P_2 + C_2 = 1$ ,  $P_2 + C_a = 1$   
 $+ C_3 = 1$ , получаем  $E = C_x P_2 + C_2 Y_2 + C_3 P_3$ .

Показатель эффективности магистральной структуры

$$E_m = (C_1 + C_a - C_3) P_1 P_2 C_3 + (C_1 + C_2) P_x P_a C_3 / C_1 C_2 C_3$$

После преобразований получим

$$E_m = C_x P_1 + C_2 P_1 P_2 + C_3 P_1 P_3$$

Аналогично показатель эффективности устанавливается для схемы любой структуры.

Существенным является вопрос о целесообразном уровне надежности проектируемых систем, который в принципе можно получить сколько угодно высоким. Однако следует помнить, что повышение надежности систем приводит к повышению их стоимости, которая растет очень быстро с приближением вероятности безотказной работы к единице.

Целесообразный уровень надежности определяется экономическим расчетом так, чтобы срок окупаемости системы не выходил за нормативные пределы при максимально достижимой в этих условиях надежности.

Существует также методика выбора оптимального уровня надежности, которая позволяет установить уровень надежности, обеспечивающий максимальный дополнительный экономический эффект при учете потерь от простоев и затрат на повышение надежности.

Более подробно вопросы надежности изложены в специальных монографиях [15].

## 1.7. Экономическая эффективность автоматизации

Высокая экономическая эффективность автоматизации технологических процессов и установок на шахтах и рудниках достигается путем улучшения использования оборудования во времени и, как следствие, увеличения его производительности, а также путем уменьшения количества выполняющих данный процесс рабочих.

Автоматизация шахтных установок способствует повышению пропускной способности отдельных технологических звеньев шахты, что ведет к увеличению добычи полезного ископаемого и, следовательно, к сокращению условно-постоянных затрат.

Таким образом, в результате автоматизации шахтных установок возрастает экономическая эффективность производства: увеличивается добыча полезного ископаемого, снижается себестоимость, повышает-

ся производительность труда, улучшается использование основных фондов.

Расчет экономической эффективности автоматизации производится в соответствии с разработанными рекомендациями [10].

Годовой экономический эффект (руб.), получаемый в результате автоматизации производственных процессов или отдельных установок, рассчитывается по формуле

$$\varepsilon = [(C_1 C_2) Y_n / C_{\text{доп}} \pm \varepsilon_{\text{кос}}] A_a,$$

где  $C_u$ ,  $C_a$  — годовые эксплуатационные затраты по процессу (рабочему месту) при применении базового и нового вариантов автоматизации производственного процесса (установки), руб.;  $1/C_{\text{доп}}$  — дополнительные капитальные затраты (по сравнению с базовым вариантом) на автоматизацию производственных процессов или отдельных установок, руб.;  $E_y$  — нормативный коэффициент эффективности, равный 0,15;  $\varepsilon_{\text{кос}}$  — косвенный годовой экономический эффект (+) или ущерб (—) на смежных звеньях процесса производства, полученный в результате последствий автоматизации данного процесса, руб.;  $A_a$  — количество процессов (рабочих мест), на которых предусматривается внедрение автоматизации в расчетном году, ед.

Изменение годовых эксплуатационных затрат по базовому и новому варианту (руб.) определяется по формуле

$$C\{ - C, - AC_3 \} - AC_3 - (- DC_M - LC_a,$$

где  $DC_3$  — экономия годового фонда заработной платы в результате высвобождения обслуживающего персонала после внедрения автоматизации, руб.;  $DC_8$  — изменение годовых затрат на электроэнергию, руб.;  $DC_M$  — изменение годовых затрат на материалы и запасные части, руб.;  $DC_a$  — годовые амортизационные отчисления от стоимости аппаратуры и средств автоматизации, руб.

Изменение годового фонда заработной платы обслуживающего персонала с начислениями на нее (руб.) определяется по формуле

$$\Delta C_3 = \varepsilon_v - C_{\text{п.о.}}$$

где  $\varepsilon_v$  — экономия годового фонда заработной платы и начисления на нее вследствие высвобождения обслуживающего персонала, руб.;  $C_{\text{п.о}}$  — годовой фонд заработной платы и начисления на нее работников, осуществляющих профилактические осмотры средств автоматизации, руб.

Годовая экономия заработной платы с начислениями на нее (руб.) вследствие высвобождения обслуживающего персонала при автоматизации рассчитывается по формуле

$$\varepsilon_v = 1,09 \Delta A_{\text{яв}} T N \left( 1 + \frac{K_{\text{доп}}}{100} \right) \left( 1 + \frac{K_{\text{д.з}}}{100} \right),$$

где 1,09 — коэффициент, учитывающий начисления на заработную плату;  $\Delta A_{\text{яв}}$  — количество высвобождаемых рабочих явочного состава в результате автоматизации производственных процессов (установок);  $T$  — средняя тарифная ставка рабочих, обслуживающих данный процесс (установку) до автоматизации, руб.;  $N$  — число рабочих дней в году;  $K_{\text{доп}}$  — размер доплат к прямой заработной плате (принимается

на основании фактических данных), %;  $K_{r,3}$  — установленный размер дополнительной заработной платы (9 %).

Годовой фонд заработной платы слесарей на профилактические осмотры средств автоматизации с начислениями на нее (руб.) определяется по формуле

$$C_{\text{г}} = 1,094 K_{r,3} (1 + \%_{\text{н}}) (1 + \%_{\text{д}}),$$

где  $Da_{\text{яв}}$  — число рабочих в сутки, занятых обслуживанием средств автоматизации;  $T$  — тарифная ставка электрослесаря, обслуживающего данные средства автоматизации, руб.

Годовая экономия затрат на электроэнергию определяется исходя из расчетного или фактического удельного расхода ее при использовании базового и нового варианта автоматизации процесса (установки) по формуле

$$DC_3 = \Delta \text{— } u_{\text{г}} \text{ } (\beta_{\text{г}} \text{ } \mu),$$

где  $ou_2$  — удельный расход электроэнергии в условиях базового и нового варианта автоматизации процесса (установки), кВт • ч (устанавливается расчетным путем);  $\beta_2$  — суточная производительность объекта при новом варианте, ед.;  $N$  — число дней работы;  $l$  — тариф за один кВт • ч израсходованной электроэнергии, руб.

Изменение годовых затрат на материалы и запасные части при автоматизации процессов (установок) (руб.) определяется по формуле

$$DC_{\text{м}} = \Delta_{\text{м}} - \Delta_{\text{мп}},$$

где  $\Delta_{\text{м}}$  — снижение годовых затрат на материалы и запасные части к основному горно-шахтному оборудованию, руб.;  $\Delta_{\text{м,г}}$  — стоимость материалов и запасных частей, расходуемых за год в процессе профилактических осмотров средств автоматизации, руб. (принимается на основании расчетных данных).

Годовые амортизационные отчисления от стоимости аппаратуры и средств автоматизации (руб.) определяются по формуле

$$\Delta_{\text{авт}} = \frac{C_{\text{авт}}}{a} \text{ } TOO,$$

где  $C_{\text{авт}}$  — капитальные затраты на приобретение и монтаж средств автоматизации, руб. (принимаются на основании прогнозных расчетных или фактических данных);  $a$  — норма амортизационных отчислений на полное восстановление и капитальный ремонт, %.

При определении годового экономического эффекта учитывается также косвенный эффект, который может быть получен на смежных звеньях производства в результате учета последствий автоматизации данного процесса. Этот эффект равен экономии условно-постоянных затрат по смежным звеньям или шахте в целом за счет роста пропускной способности автоматизированных объектов и увеличения добычи полезного ископаемого.

Косвенный годовой экономический эффект (руб.) рассчитывается \* по формуле

$$\text{®кос} = (a \delta *) >$$

где  $C_n$  — годовые условно-постоянные расходы по смежному звену или шахте до увеличения нагрузки, руб. (принимаются по фактическим данным);  $a_e$  — коэффициент роста нагрузки на смежное звено или шахту после автоматизации процесса (установки).

При этом коэффициент роста нагрузки на звено или шахту устанавливается по формуле

$$**^{**} \frac{100 - b_1}{100 - b_2}$$

где  $b_1, b_2$  — внутрисменные потери рабочего времени соответственно до и после внедрения средств автоматизации, % (определяется расчетным путем).

### 1.8. Безопасность при автоматизации

Автоматизация технологических процессов и установок на шахтах и рудниках способствует облегчению и оздоровлению труда горнорабочих, повышает его безопасность. Создание добычных и проходческих автоматизированных комплексов освобождает людей от тяжелой работы в очень неблагоприятных и часто опасных условиях. Резко повышают безопасность работы на внутришахтном транспорте автоматическая блокировка, сигнализация и диспетчеризация. Автоматизация скиповых подъемных установок освобождает людей от работы в очень тяжелых условиях в пунктах загрузки и разгрузки скипов, освобождает машиниста от напряженного, утомительного труда по управлению подъемной машиной.

Однако следует помнить, что автоматизированные установки — средство повышения безопасности труда только в том случае, если они правильно спроектированы и правильно эксплуатируются. Система автоматического управления, спроектированная без учета правил безопасности, сама может явиться причиной несчастных случаев и даже катастроф. Поэтому при проектировании и эксплуатации автоматизированных установок вопросам безопасности следует уделять самое серьезное внимание.

Если электрическая автоматическая система предназначена для работы на поверхности шахты, то она должна выполняться и эксплуатироваться в соответствии с Правилами устройств электроустановок и Правилами технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок промышленных предприятий [12, 13].

Если электрическая автоматическая система предназначена для работы в шахтах, опасных по газу и пыли, то технические средства, входящие в нее, должны изготавливаться в соответствии с требованиями Правил изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования [13] взрывобезопасными или искробезопасными, а монтироваться и эксплуатироваться в соответствии с Правилами технической эксплуатации угольных и сланцевых шахт [12].

Установки с автоматическим управлением должны снабжаться автоматической защитой, чтобы отказ системы управления не повлек за собой аварии. Например, подъемная установка с автоматическим управлением обязательно оборудуется ограничителем скорости и

концевыми выключателями, защищающими ее от превышения скорости и переподъема.

Если предусмотрена возможность пуска установки из нескольких пунктов, то система должна быть спроектирована так, чтобы одновременно пуск можно было осуществить только из одного пункта, все остальные пункты должны быть в это время заблокированы. Передача управления на другой пункт должна осуществляться специальным переключающим устройством с указателем, показывающим, какому пункту передано управление. Например, пуск автоматизированной подъемной установки может быть произведен из здания подъемной машины, из загрузочного устройства в стволе, от опрокидывателя в околоствольном дворе или автоматически после окончания загрузки и разгрузки подъемных сосудов. Передается управление на тот или иной пункт с помощью специального переключателя, установленного в здании подъемной машины. На сложных разветвленных конвейерных установках пуск также может предусматриваться из нескольких пунктов, передача управления должна осуществляться переключателем, установленным на главном пульте управления.

Система автоматического управления установками проектируется с таким расчетом, чтобы о предстоящем пуске автоматически подавался сигнал, предупреждающий людей, которые могут случайно находиться в опасной близости к установке. Сигнал должен быть хорошо слышен во всех точках установки и иметь длительность, достаточную для того, чтобы люди успели уйти в безопасное место. Такая предупредительная сигнализация особенно важна на конвейерных линиях в шахте, на дробильно-сортировочных и обогатительных фабриках.

Системы автоматического управления сложными комплексами должны быть спроектированы так, чтобы ремонтники могли отключить любой агрегат с уверенностью, что после этого ни из одного пункта никто другой не может его включить, и в то же время они имели бы возможность осуществлять пробный пуск с местного пульта управления.

В конкретных условиях к системам автоматического управления предъявляются некоторые специальные требования по безопасности, обусловленные специфическими производственными условиями или применяемыми средствами автоматизации (например, радиоактивные изотопы).

### ***Контрольные вопросы***

1. Каковы требования к автоматизации технологических процессов и механизации?
2. Назовите условия эксплуатации средств автоматизации в подземных выработках шахт?
3. Каковы требования к автоматическим системам и техническим средствам автоматизации?
4. Во сколько стадий выполняется проектирование автоматических систем?
5. Что входит в состав технического проекта?
6. Что входит в состав рабочих чертежей?
7. Как подразделяются схемы, включающиеся в состав проектной документации?
8. Что такое надежность автоматических систем?
9. Каковы пути повышения надежности?

10. Какие системы называются невосстанавливаемыми, многофункциональными?
11. Какие показатели надежности определяются для невосстанавливаемых систем (восстанавливаемых, многофункциональных)?
12. Чем определяется экономическая эффективность автоматизации технологических процессов и установок на горных предприятиях?
13. Как рассчитывается экономическая эффективность?
14. Каковы требования безопасности к автоматическим системам и техническим средствам автоматизации на горных предприятиях?

## Глава 2. ДАТЧИКИ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

### 2.1. Классификация, общие характеристики и свойства

Датчик — это устройство, воспринимающее контролируемую величину и преобразующее ее в другую, удобную для дальнейшего использования.

Измерительные преобразователи — устройства, выполняющие те же функции, что и датчики, с той лишь разницей, что их точность и ряд других характеристик отвечают требованиям, предъявляемым к использованию в информационно-измерительных системах (ИИС).

Датчики классифицируются по ряду признаков, основной из которых — физическая природа входной величины. В соответствии с этим различают датчики механических величин (пути или перемещения, скорости, ускорения, усилий и моментов), состояния жидкостей и газов (давления, разрежения, скорости движения, уровня), температуры, интенсивности излучения и др.

Датчики классифицируются также по типам воспринимающих элементов: электроконтактные, резисторные, индуктивные, трансформаторные, магнитоупругие, емкостные, радиоволновые, радиационные, фотоэлектрические, упругие деформируемые элементы. Достаточно полно датчик может быть охарактеризован одновременно по двум разнородным признакам (например, индуктивный датчик перемещения воспринимает перемещение и имеет индуктивный чувствительный элемент).

Датчик вместе с блоком питания, выполненный в виде самостоятельного аппарата, в горной промышленности часто именуется технологическим реле.

По виду выходных сигналов датчики и измерительные преобразователи делятся на дискретные и аналоговые.

*Дискретные датчики и измерительные преобразователи.* Их выходной сигнал принимает ограниченное количество разрешенных уровней (минимум два — сигнал есть, «1» или сигнала нет — «0»). Если множеству таких сигналов присвоено числовое содержание, то сигналы именуются цифровыми.

*Аналоговые датчики и измерительные преобразователи.* Их выходные сигналы могут принимать любое значение в диапазоне своего изменения (например, сигнал постоянного тока в пределах 0—5 мА).

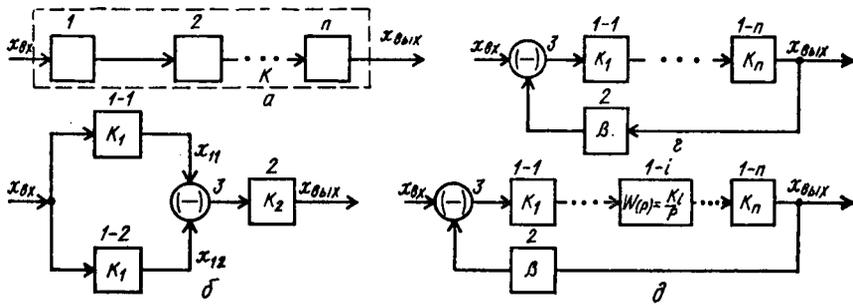


Рис. 2.1. Структурные схемы датчиков и измерительных преобразователей

Измерительные преобразователи классифицируются по виду входной величины — переменного или постоянного тока, напряжения, мощности, давления, расхода, температуры, содержания вещества и пр.

Простейший датчик состоит из последовательно включенных чувствительного (воспринимающего) элемента 1 и преобразующих элементов 2..... n (рис. 2.1, а). В данном случае выходной сигнал одного элемента является входным для другого и т. д. Четкое разделение элементов датчиков по функциям не всегда возможно, и преобразующий элемент одного датчика может являться чувствительным элементом другого.

При последовательном включении элементов, обладающих линейными характеристиками, выходной сигнал датчика в установившемся режиме определяется по формуле

$$x_{\text{вых}} = x_0 + Kx \quad (2.1)$$

где  $x_0$  — значение выходной величины датчика при  $x_{\text{вх}} = 0$  или начальное смещение его нуля;  $k$  — статический коэффициент передачи (усиления) датчика.

Для датчиков, собранных по дифференциальной схеме рис. 2.1, б, с увеличением входного сигнала выходной одного чувствительного элемента увеличивается, а другого уменьшается, так что на выходе вычитающего элемента 3, или элемента сравнения, получаем разностный сигнал

$$x_{\text{в}} = *И - *x_{\text{в}} = (-C_0 + M_{\text{вх}}) - (*_0 - *_1 *_{\text{вх}}) = 2x_{\text{вх}} \quad (2.2)$$

Выходной сигнал датчика

где  $k = 2k_1k_2$  — статический коэффициент передачи.

Как следует из выражения (2.3), в дифференциальной схеме взаимно компенсируются сигналы начального смещения нуля чувствительных элементов, что в итоге улучшает характеристики датчика.

Если в схеме (см. рис. 2.1, б) вместо сигнала одного из чувствительных элементов на вычитающий элемент подать постоянный сигнал  $x_0 = \text{const}$ , то получим так называемую компенсационную схему, для

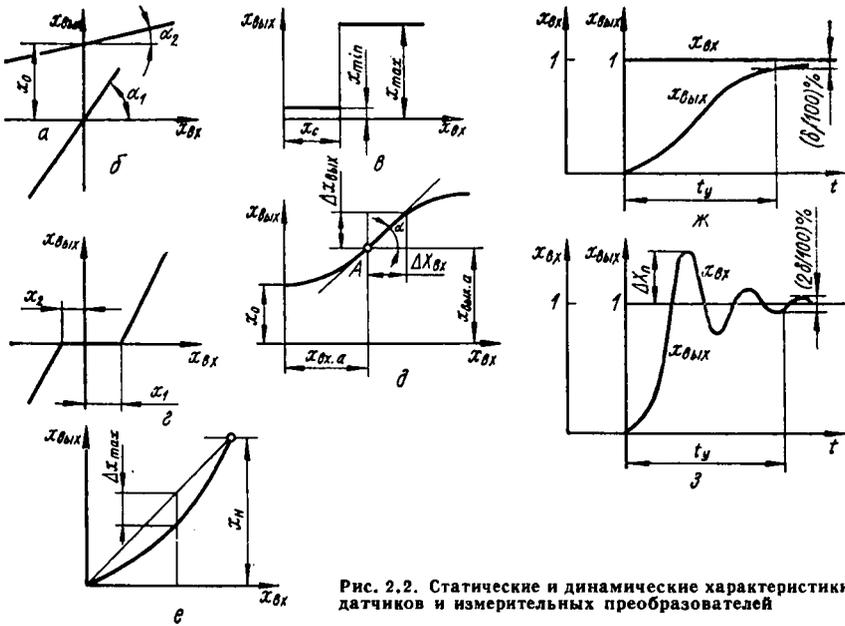


Рис. 2.2. Статические и динамические характеристики датчиков и измерительных преобразователей

которой

$$*2 = *1 - *0 = *0 + M_{вх} - *0 = *I_x;$$

$$X_{\text{вых}} = \wedge a \cdot *r = Ma * v_x \text{ " " } * v_x'$$

Неэлектрические сигналы малой мощности (например, разрежение)» преобразовывать в электрические с достаточной точностью посредством применения разомкнутых схем (см. рис. 2.1, а—в) затруднительно. В этих условиях используются измерительные преобразователи с замкнутой структурой (рис. 2.1, г, д). В них входная величина уравнивается (компенсируется) сигналом  $x_{(p,a)}$  пропорциональным выходной величине, задаваемой значениями постоянного тока (напряжения) или частоты переменного. Сигнал обратной связи  $*o.o$  поступает на вычитающий элемент 3 через элемент обратной связи 2, имеющий коэффициент передачи  $p$ . Компенсационные измерительные преобразователи в зависимости от структуры регулируются по статическому или астатическому закону. В последнем случае (рис. 2.1, д) в прямом канале передачи сигнала имеется интегрирующий элемент, выходная величина которого является интегралом по времени от входной.

Компенсационные (замкнутые) измерительные преобразователи характеризуются высокой точностью и мощными выходными сигналами. Статической характеристикой датчика или измерительного преобразователя определяется связь между выходной и входной величинами в установившемся режиме.

Различают линейные (рис. 2.2, а, б) и нелинейные (рис. 2.2, в—е) статические характеристики.

Характеристика, изображенная на рис. 2.3, в, называется релейной (скачкообразной). Для нее выходная величина может принимать

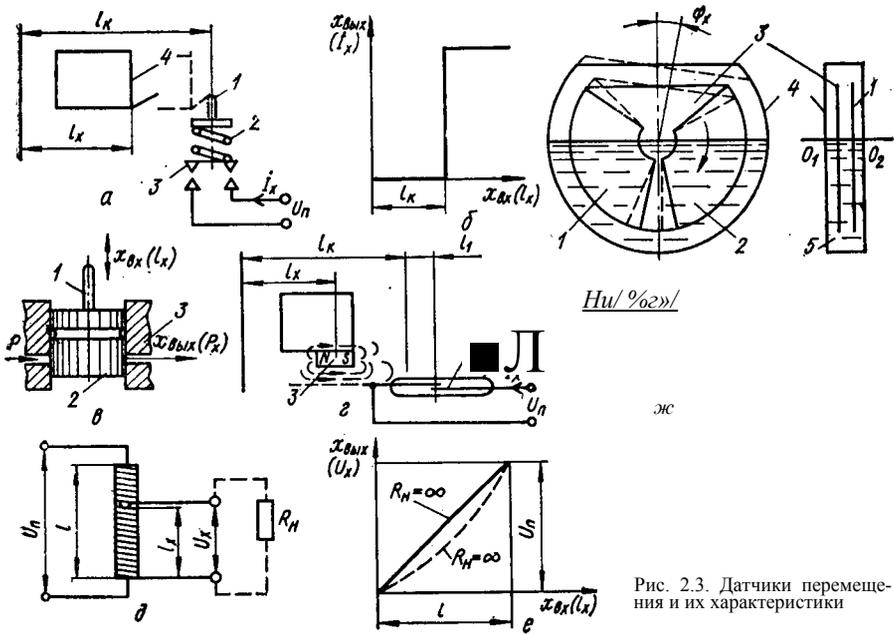


Рис. 2.3. Датчики перемещения и их характеристики

лишь два значения

Ятп И  $X_{max}$

( $\approx mlz$ .

при

$< X_c$

(2.5)

где  $x_c$  — порог срабатывания (отпускания) элемента.

Характеристика, представленная на рис. 2.3, б, имеет зону нечувствительности в пределах от  $x_{вх} = x_2$  до  $x_{вх} = x_c$  с порогами чувствительности  $x_2$  и  $x_c$ . Изменения входной величины в зоне нечувствительности не вызывают изменений выходной.

Кроме упомянутого выше статического коэффициента передачи, который для линейной характеристики (рис. 2.3, а) равен

$$k_{ст} = \frac{\Delta U_{вых}}{\Delta U_{вх}} = a = \cot \alpha,$$

различают также дифференциальный коэффициент передачи в некоторой точке характеристики (например, в точке А на рис. 2.3, д)

$$k_{диф} = \frac{dx_{вых}}{dx_{вх}} = a_0. \quad (2.6)$$

$A^* = 0$ .

Замена нелинейной характеристики в окрестностях точки А касательной к кривой называется ее л и н е а р и з а ц и е й .

Величина, обратная коэффициенту передачи, именуется соответственно статической и дифференциальной чувствительностью

$$S = 1/k = \frac{1}{a} \quad \text{и} \quad S_{диф} = \frac{1}{a_0} \quad (2-7)$$

К метрологическим характеристикам рассматриваемых устройств относится их точность, которая для релейных характеристик устанавливается допуском на величины входных сигналов срабатывания и отпущения, а также на соответствующие значения выходной величины. Чаще всего этот допуск определяется в процентах от величины, на которую он установлен (например,  $x_c \pm 5\%$ ). Если желаемая характеристика датчика должна быть приближенно-линейной, то для нее нормируется коэффициент нелинейности (рис. 2.3,  $\epsilon$ )

$$\Gamma_{\text{н}} = \Delta x_{\text{тах}} / x_{\text{н}} \quad (2-8)$$

где  $\Delta x_{\text{тах}}$  — максимальное отклонение ординаты реальной характеристики от линейной;  $x_{\text{н}}$  — номинальное значение выходного сигнала датчика.

Для измерительных преобразователей точность определяется основной погрешностью, выраженной в процентах

$$V_{\text{ос}} = 100 \Delta x_{\text{ос}} / (x_{\text{ос тах}} - x_{\text{ос т1п}}), \quad (2.9)$$

где  $\Delta x_{\text{ос}}$  — абсолютная погрешность, представляющая разность измеренного и действительного значений технологического параметра.

Основная погрешность зависит от метода измерения и степени несоответствия реальных характеристик устройства расчетным.

Кроме основной учитывается также дополнительная погрешность  $u_{\text{д}}$ , которая является следствием изменений в условиях эксплуатации измерительного преобразователя — температуры окружающей среды, величины и частоты питающего напряжения и др.

Результирующая погрешность определяется как

$$\Gamma_{\text{р}} = \Gamma_{\text{ос}} + \Gamma_{\text{д}} \quad (2.10)$$

Эта погрешность, как и ее составляющие, регламентируется государственным стандартом на соответствующие измерительные преобразователи.

Динамические характеристики определяют вид переходного процесса (монотонный — рис. 2.2,  $\text{ж}$ , или колебательный — рис. 2.2,  $\text{з}$ ), быстродействие (или время установления) и величину перерегулирования  $\Delta x_{\text{р}}$ , которые имеют место при скачкообразном изменении входной величины от нуля до номинального значения.

Отсчет времени установления ( $t_{\text{у}}$ ) производится от момента изменения входного сигнала до момента времени, когда выходная величина будет отличаться от установившегося значения не более чем на заданную величину (например,  $\pm 5\%$  от  $x_{\text{н}}$ ). Иногда (например, при измерении амплитуды колебаний) необходимо учитывать динамическую погрешность, являющуюся в данном случае следствием зависимости выходной величины от их частоты.

Для измерительных преобразователей нормируется и коэффициент пульсаций выходного сигнала, так как от него зависит возможность применения этих преобразователей в цифровых системах автоматического управления.

Датчики и измерительные преобразователи должны отвечать ряду требований, главными из которых являются их конструктивное исполнение и характеристики выходных сигналов. Конструкция аппарата и его составных частей обеспечивает надежную эксплуатацию при

воздействии влаги (зачастую с содержанием активных кислот), токопроводящей пыли, тряски и вибраций.

Аппаратура, эксплуатируемая в опасных по газу и пыли шахтах» должна отвечать требованиям взрыво- и электробезопасности.

Датчик обладает свойством самоконтроля, вырабатывает сигнал отказа в работе, если это требуется с точки зрения безопасности труда или технологии производства.

Характеристики выходных сигналов датчиков и измерительных преобразователей унифицированы нормами Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП). Широко распространено использование унифицированных сигналов постоянного тока 0—5 мА при сопротивлении нагрузки до 2,5 кОм; реже используются унифицированные выходные сигналы постоянного напряжения 0—1 и 0—10 В (сопротивление нагрузки не менее 2 кОм).

Аппаратура с сигналами постоянного тока имеет, как правило, большую точность, меньше подвержена влиянию нестабильности параметров линий связи и пр.

В сложных устройствах цифровой автоматики унифицируются так называемый интерфейс — порядок обмена управляющими информационными сигналами, а также электрические характеристики этих сигналов.

В общем унификация аппаратуры в рамках ГСП позволяет использовать датчики или измерительные преобразователи в различных системах без каких-либо дополнительных преобразующих или согласующих устройств.

## 2.2. Датчики перемещения

Датчик перемещения выдает выходной сигнал, который является непрерывной или дискретной функцией координаты подвижного контролируемого объекта. При этом подразумевается, что траектория движения этого объекта строго фиксирована. Если датчик контролирует крайнее или некоторое промежуточное положение объекта» то он именуется **д а т ч и к о м п о л о ж е н и я** .

Различают также *датчики поступательного и вращательного перемещения (движения)*. При необходимости эти датчики используются со звеньями, преобразующими поступательное движение во вращательное, или наоборот — безлюфтовыми реечными передачами, ходовыми винтами и т. п. Рассматриваемые датчики широко применяются как преобразующие элементы в устройствах, чувствительные элементы которых имеют выходные сигналы в виде перемещений.

Простейший *электроконтактный датчик положения* (рис. 2.3, а) состоит из воспринимающего элемента — толкателя 1, связанного пружиной с замыкающими или размыкающими контактами 3. Когда контролируемый объект 4 приходит в положение  $I_X = I_K$ , называемое уставкой срабатывания, он воздействует на толкатель, контакты переключают ток в цепи обмотки промежуточного реле или другого элемента автоматической системы (рис. 2.3, б). Для уменьшения подгорания контактов в состав датчика вводят моментное звено, переводящее кон-

такты из одного крайнего положения в другое с большой скоростью даже при медленном движении толкателя. Надежность этих датчиков сравнительно невелика, но они имеют достаточно широкое распространение, так как, несмотря на простую конструкцию, позволяют коммутировать значительные мощности.

К электроконтактным относятся также устройства, у которых цепь выходного тока создается путем замыкания ее конструктивным элементом движущегося объекта (например, замыканием колесной пары локомотива изолированного участка рельсовой цепи).

*Золотниковый датчик положения* (рис. 2.3, в) является гидро- или пневмомеханическим аналогом электроконтактного датчика. При воздействии контролируемого объекта на толкатель 1 золотник 2 своей заточкой соединяет напорное и выходное отверстия в гильзе 3, и здесь устанавливается выходная величина — давление  $P_x = P$ . Недостаток датчика — повышенные требования к качеству обработки сопрягаемых поверхностей золотника и гильзы. При небольших длинах соединительных трубопроводов (импульсных труб) золотниковый датчик может считаться нелинейным усилительным звеном.

*Датчик положения на герконе* в качестве основного элемента имеет герметизированный магнитоуправляемый контакт (геркон), представляющий собою стеклянную ампулу 1 (рис. 2.3, г), заполненную защитным газом (азот, аргон и др.), со впаянными с торцов перекрывающимися гибкими контактами 2 из магнитомягкого сплава (например, 52НВП или 47НД). При определенном значении напряженности внешнего магнитного поля, ориентированного вдоль контактов, они притягиваются друг к другу и замыкаются. Источник магнитного поля — чаще всего это постоянный магнит 3 — устанавливается на контролируемом объекте 4, и с приближением его на определенное расстояние  $z_1$  к геркону последний срабатывает. Достоинство геркона — высокая надежность и большое (порядка  $10^7$ ) число срабатываний. Его недостаток — существенное изменение уставки срабатывания  $I_K$  даже при незначительных смещениях магнита в направлении, перпендикулярном движению объекта. Герконы выпускаются как с замыкающими, так и с размыкающими, а также переключающими и поляризованными контактами.

*Потенциометрический датчик перемещения* относится к группе резисторных датчиков. На рис. 2.3, д показан вариант исполнения датчика в виде пластины 1, на которую равномерно по длине  $l$  намотан изолированный провод высокого сопротивления (константан). На намотке шлифована дорожка, с которой входит в соприкосновение ползунок 2, связанный с контролируемым объектом. К потенциометру подводится стабилизированное напряжение питания  $u_{..}$ .

Если объект переместится на расстояние  $l_x$  из исходного положения, то при холостом ходе ( $I_x = 0$ ) напряжение на выходе датчика

$$u_x = (u_{II}/l) l_x \quad (2.11)$$

Статическая характеристика датчика линейная (рис. 2.3, е), и коэффициент передачи его

$$B = x_{вых}/x_{вх} = u_a C (x_{вх} \wedge /). \quad (2.12)$$

Угловые перемещения преобразуются в сигналы напряжения (тока) поворотными потенциометрами.

В динамическом отношении рассматриваемый датчик — линейное усилительное звено с коэффициентом передачи по формуле (2.12).

Достоинства этого датчика — линейность характеристики, высокая точность (основная погрешность  $y_0 = \pm 0,2...0,5 \%$ ), а также незначительное усилие, требуемое для перемещения ползунка. Его недостаток — низкая надежность в шахтных условиях из-за наличия подвижного электрического контакта. Кроме этого при  $R \Phi$  характеристика датчика становится нелинейной.

Электролитический датчик перемещения представляет собой сосуд с электролитом, в который опущены электроды. При прочих равных условиях сопротивление между электродами уменьшается с увеличением той части их площади, которая находится в контакте с электролитом. На рис. 2.3, ж показано устройство дифференциального электролитического датчика, с помощью которого измеряется угол наклона в плоскости электродов 1—3.

При повороте по часовой стрелке корпуса датчика 4 с закрепленными в нем электродами на угол  $\phi^*$  вокруг оси  $OjO_2$  площадь электрода 1, находящегося в контакте с электролитом 5, уменьшается, а площадь электрода 2 увеличивается. В связи с этим сопротивление  $R_{1x}$  между электродами 1—3 растет и одновременно падает сопротивление  $R_{2x}$  между электродами 2—3. При небольших значениях  $c\phi_x$  приращения величин сопротивлений

$$\Delta R_{1x} = 6\phi\Phi^* \quad (2.13)$$

Рассматриваемый датчик используется в цепях переменного тока, чем устраняется разложение электролита. Он надежнее потенциометрического датчика, но имеет низкую температурную стабильность. В динамическом отношении при малых скоростях и углах поворота электролитический датчик может считаться линейным усилительным звеном с коэффициентом передачи, определяемым по формуле (2.13).

Трансформаторный датчик перемещения представляет собой трансформатор, коэффициент связи между первичной и вторичными обмотками которого изменяется посредством перемещения якоря, составляющего часть магнитной цепи. Широко применяются дифференциальные трансформаторные датчики линейных перемещений (рис. 2.4, а). Первичная и вторичные  $W_{21}$  и  $W_{22}$  обмотки размещены на изолированном каркасе, охваченном цилиндрическим магнитопроводом, а внутри каркаса расположен подвижный якорь из ферромагнитного материала. Ток, протекающий по первичной обмотке, создает магнитный поток, в котором можно выделить составляющие, охватывающие обмотки  $W_{21}$  и  $W_{22}$ . При симметричном расположении якоря относительно вторичных обмоток эти составляющие потока и э. д. с. на зажимах обмоток равны ( $E_{1x} = \pm 2E_2^*$ ). Когда якорь смещается от среднего положения на небольшую по сравнению с длиной катушки величину, э. д. с. получает равные по величине и разные по знаку приращения  $\Delta E_{1x}$ . Равенство приращений э. д. с. обеспечивается равномерной намоткой первичной катушки с симметричным расположением относительно нее обмоток и  $W_{22}$ . Если обмотки

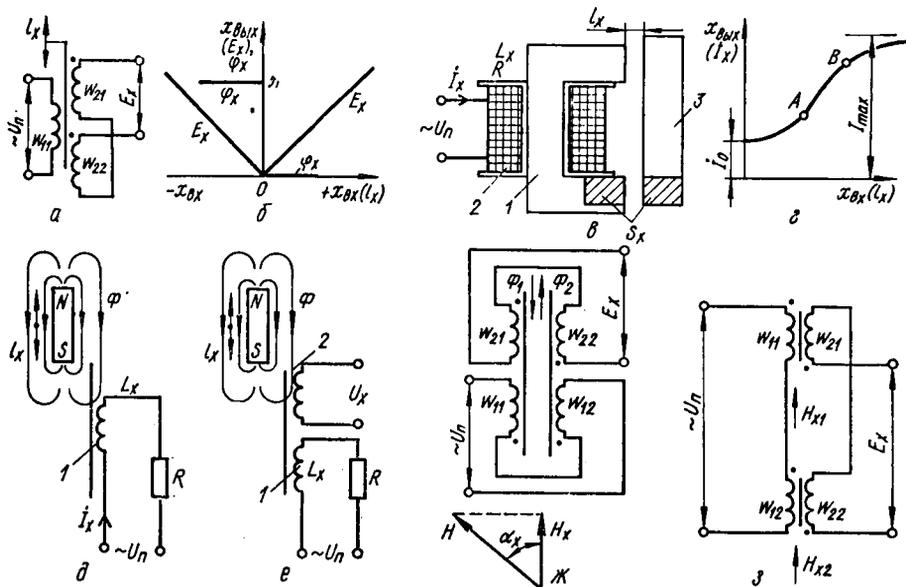


Рис. 2.4. Трансформаторный, индуктивные и магнитомодуляционные датчики

включить встречно, то э. д. с. на выходе датчика в среднем положении якоря будет равна нулю, а при смещении его на величину  $I_X$

$$E_x = E_{x_1} - E_{x_2} = (E_0 + \Delta E_x) - (E_0 - \Delta E_x) = 2\Delta E_x = 2k_T I_X \quad (2.14)$$

где  $2k_T$  — статический коэффициент передачи дифференциального трансформаторного датчика.

В сигнале этого датчика содержится информация о направлении перемещения — при переходе якоря через среднее положение фаза ЭДС  $E_x$  изменяется на  $180^\circ$ .

Трансформаторный дифференциальный датчик отличается высокой надежностью, хорошей линейностью и точностью (основная погрешность  $V_0 = \pm 0,1 \dots 0,2 \%$ ), незначительным усилием перемещения якоря. Его недостаток — необходимость стабилизации напряжения питания. Этот датчик широко применяется как преобразующий элемент малых перемещений.

Индуктивный Датчик перемещения (рис. 2.4, в) состоит из разомкнутого магнитопровода 1 с катушкой 2 и подвижного якоря 3, связанного с контролируемым объектом. Индуктивное сопротивление катушки

$$X_L = 0) L_X = \text{co} (W^2 I) \text{HoS}, \quad (2.15)$$

где  $I$  — величина зазора между сердечником и якорем;  $S$  — площадь перекрытия каждого полюса магнитопровода (сердечника) якорем.

Из выражения (2.15) следует, что индуктивность можно изменять, регулируя либо площадь перекрытия  $S_x$  полюсов сердечника якорем при  $I = \text{const}$ , либо зазор  $I_X$  за счет перемещения якоря перпендикулярно полюсам ( $S = \text{const}$ ). В дальнейшем рассматривается последний вариант управления индуктивностью датчика.

С изменением  $x$  изменяется и выходная величина датчика — ток  $I_x$  в цепи катушки

$$I_x = u/\omega\Phi + I_{\text{ЙЕ}u}. \quad (2.16)$$

При зазоре  $I_x = 0$  ток имеет минимальное значение определяемое в основном индуктивным сопротивлением катушки при замкнутом магнитопроводе, а при удалении якоря от сердечника ток стремится к значению

$$/шах - VIII.$$

Как видно из рис. 2.4,  $z$ , статическая характеристика датчика нелинейна; рабочая зона выходных сигналов выбирается на участке  $AB$ , где характеристика имеет максимальную крутизну.

Достоинства датчика: отсутствие подвижных электрических контактов, высокая надежность. К числу недостатков следует отнести нелинейность характеристики и значительное электромагнитное усилие притяжения якоря к сердечнику.

Разновидность индуктивного датчика — катушка с насыщающимся сердечником. Такой датчик (рис. 2.4,  $d$ ) имеет разомкнутый магнитопровод из пермаллоя, который насыщается при сравнительно малых напряженностях поля, создаваемого постоянным магнитом (как для датчика на герконе). При этом индуктивность катушки уменьшается, а ток в ней увеличивается, достигая максимального значения.

По этому же принципу может быть построен и трансформаторный датчик положения (рис. 2.4,  $e$ ), у которого при насыщении сердечника напряжение на вторичной обмотке  $II_x$  падает из-за уменьшения напряжения, приложенного к обмотке  $I$ .

Датчики с насыщающимися сердечниками имеют достоинства, присущие индуктивным датчикам, однако требуют дорогих материалов для магнитопроводов и специальной их термообработки.

Индуктивный датчик в устройствах шахтной автоматики — это нелинейное усилительное динамическое звено. Вариант использования датчика — включение его как элемента резонансного

или квазирезонансного контура автогенератора; частота колебаний  $f_x$  в такой схеме будет выходной величиной. В общем зависимость ее от положения сердечника индуктивности нелинейная, хотя известны устройства генераторного типа, имеющие практически линейную статическую характеристику  $= \text{ср}(I_x)$ .

> При быстрых перемещениях сердечника индуктивности и высокой добротности колебательного контура генераторная схема в динамическом отношении описывается аperiодическим звеном. На рис. 2.4,  $ж$  приведена схема магнитомодуляционного датчика углового положения объекта относительно источника внешнего магнитного поля с напряженностью  $H$ . Такой датчик применяется для выявления неоднородностей магнитного поля и рассматривается в подразд. 2.7.

Емкостный датчик перемещения имеет в качестве чувствительного элемента конденсатор, емкость которого  $C$  зависит от диэлектрической проницаемости среды  $\epsilon$  и расстояния  $b$  между обкладками, также от их эффективной площади  $S$ . Для плоского конденсатора

$$C = \epsilon S/b. \quad (2.17)$$

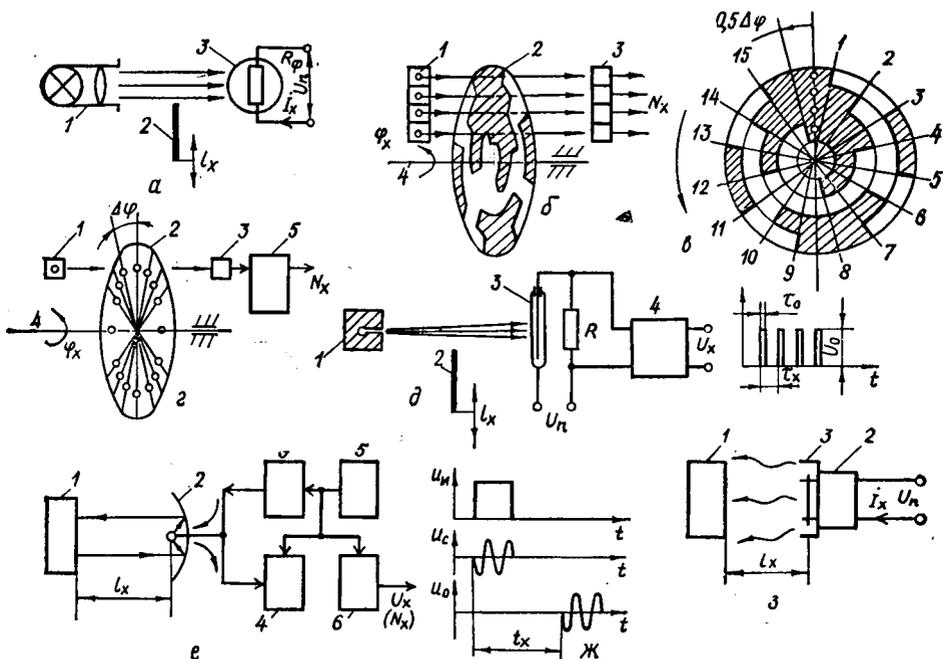


Рис. 2.5. Датчики и измерительные преобразователи перемещения

Таким образом, функцию датчика перемещения на конденсаторе можно реализовать, задавая смещение пластин друг относительно друга при  $b = \text{const}$  или изменяя расстояние  $b^*$  между ними.

Обычно конденсаторные датчики используются при включении в мостовые схемы измерения, а также как элементы колебательных  $LC_X$  контуров автогенераторов, частота колебаний которых является функцией переменной площади  $S_X$  или расстояния между обкладками  $\delta_X$ .

Обеспечить надежную работу конденсатора переменной емкости при воздействии шахтной атмосферы трудно, поэтому конденсаторные датчики в аппаратуре, эксплуатируемой в подземных условиях, применяются редко.

Фотоэлектрический датчик положения выполняется на основе использования фотоэлемента с внешним или внутренним фотоэффектом. Простейший датчик такого типа состоит из фоторезистора 3 и осветителя с оптической системой 1 (рис. 2.5, а). Контролируемое положение объекта 2 такое, при котором перекрывается луч света, падающий от осветителя на фоторезистор; это приводит к увеличению его сопротивления и уменьшению выходной величины датчика — тока  $I_X$  в цепи фоторезистора. Фотоэлектрический датчик — бесконтактное и простое устройство, однако пыль, которая откладывается на оптической системе, ограничивает его применение для непосредственного контроля положения технологических объектов. Как элемент САУ фотоэлектрический датчик положения является нелинейным усилительным звеном.

Десятичные числа (номера кодовых комбинаций)	0	1	2	3	4	5	6
Комбинации нормального двоичного кода	0000	0001	0010	ООП	0100	0101	оно
Комбинация кода Грея	0000	0001	ООП	0010	оно	0111	0101

Фотоэлектрический цифровой датчик перемещения с кодирующей маской предназначен для преобразования угловых перемещений  $ср^*$  в двоичный или двоично-десятичный код Грея. Процесс преобразования «угол-код» разделяется на две элементарные операции — квантования непрерывной величины в дискретную с шагом (квантом)  $Дер = const$  и последующего присвоения каждому квантованному значению  $ср_г$  своего порядкового номера (кода).

Датчик данного типа (рис. 2.5, б) состоит из блока точечных источников света 1, количество которых равно числу разрядов кода «я», количеству фотоэлементов в блоке 3. Между блоками 1 и 3 размещается диск 2, посаженный на входной вал 4. На диске нанесена кодирующая маска, имеющая  $n$  кольцевых разрядных зон и  $N = 2^n$  элементарных секторов (квантов), в каждом из которых расположен код номера сектора. Разряды кода следуют в порядке: старший на внутренней зоне, младший на внешней. Элементы кода «1» и «0» нанесены на маске в виде прозрачных и непрозрачных участков. На рис. 2.5, в в качестве примера показана маска, а в табл. 2.1 приведены кодовые комбинации 4-разрядного двоичного кода Грея.

Как видно из таблицы, коды номеров соседних секторов маски отличаются друг от друга лишь в одном двоичном разряде, чем обеспечивается однозначность преобразования входной величины в выходную. Кодовые комбинации кода Грея получают из комбинаций нормального двоичного кода путем специальных преобразований в выражениях булевой алгебры.

Значение кванта угла равно

$$Дф = 360^\circ/W = 360^\circ/2^n. \quad (2.18)$$

Кодирующий диск данного типа датчика закреплен на входном валу и в исходном положении, т. е. при  $ср_x = 0$ , он смещен на середину нулевого сектора или на  $0,5Лср$  по направлению вращения. Это обеспечивает уменьшение максимальной ошибки квантования до значения

$$с_{тах} = \pm 0,5\Delta(р).$$

При повороте входного вала на некоторый угол в плоскости осветители — фотоэлементы оказывается соответствующий сектор маски, код номера которого считывается фотоэлементами. Этот код, представляющий собой выходную величину, имеет вид набора выходных сигналов фотоэлементов, которые передаются далее в устройства обработки сигналов.

Таблица 2.1

7	8	9	10	11	12	13	14	15
0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
0100	1100	1101	1111	1110	1010	1011	1001	1000

Основная погрешность датчика

$$\pm \sqrt{0,5^2 \Delta \rho + \dots + 0,5^2 (3607 \text{ЛО } 100 \% , 50)} \\ \pm \sqrt{7^2 100 \% = \dots - 360^\circ \dots} = \pm \dots \% (2.19 >$$

По величине основной погрешности  $\pm 0,5 \dots 0,2 \%$  и менее рассматриваемый датчик относится к классу измерительных преобразователей. Его недостаток — необходимость надежной защиты от загрязнения и конденсации влаги на кодирующем диске.

Число-импульсный датчик перемещения (рис. 2.5, г) имеет кодирующую маску с отверстиями, расположенными с шагом  $\Delta \phi = 3607 \text{Л}$ , где  $N$  — число уровней квантования.

При повороте диска 2 на угол  $\alpha_x$  фотоэлемент 3 фиксирует  $N_x = \alpha_x / \Delta \phi$  импульсов, которые накапливаются счетчиком 5. Число  $N_x$ , записанное в счетчике, — выходная величина, пропорциональная (с точностью до  $\pm \Delta \phi$ ) входной — углу поворота  $\alpha$ . Надежность такого датчика можно повысить, применив индуктивный преобразователь вместо фотоэлектрического. Кодирующий диск в этом случае выполняется из ферромагнитного материала и имеет по периферии зубцы, периодически замыкающие магнитную цепь индуктивного чувствительного элемента.

Основной недостаток такого датчика — накопление ошибки измерения  $M_x$  при сбоях в работе считывающего узла или счетчика.

В динамическом отношении рассмотренные выше датчики могут считаться линейными усилительными звеньями.

Датчик положения, использующий радиоактивные излучения, — устройство, действие которого основано на поглощении гамма-лучей, испускаемых источником, содержащим радиоактивный изотоп (например, кобальт 60). Источник представляет собою контейнер из свинца, в котором имеется узкое отверстие — коллиматор, формирующий пучок у-лучей. Как видно из рис. 2.5, д, луч от источника 1 попадает на приемник 3 — газоразрядный или сцинтиляционный счетчик. Каждый у-квант, попадающий в рабочий объем газоразрядного счетчика, ионизирует находящийся в нем газ, и в цепи (источник питания — счетчик) протекает импульс тока. С увеличением интенсивности излучения повышается и частота этих импульсов, а с уменьшением снижается. Полученный частотно-импульсный сигнал формируется в блоке 4 так, что импульсы на его выходе имеют постоянные длительность  $\tau_0$  и амплитуду  $E_0$ . Среднее значение этого импульсного напряжения, являющегося выходным

сигналом датчика,

$$ix \text{ " } u_{\theta} (T_0 T_x) = u_i m_0 I_x \quad (2.20)$$

где  $x_x$ ,  $f_x$  — период и частота повторения импульсов на выходе счетчика.

Таким образом, при перекрывании 7-пучка контролируемым объектом 2 интенсивность излучения, попадающего на приемник, падает, и напряжение  $I_x$  уменьшается.

Рассмотренный датчик практически безынерционен, стабилен и работоспособен в самых неблагоприятных условиях эксплуатации. Его недостаток — ограниченность применения нормами безопасности.

Ультразвуковые и радиолокационные датчики перемещения действуют на основе измерения интервала времени между моментами посылки ультразвука или радиопульса и приема его после отражения от контролируемого объекта. Расстояние от излучателя до объекта

$$I_x = 0,5^* V, \quad (2.21)$$

Где  $V$  — скорость распространения колебаний в воздухе ( $3,3 \cdot 10^2$  м/с для ультразвука и  $3 \cdot 10^8$  м/с для радиоволн).

Излучатель датчика обычно совмещен с приемным узлом. Это или ультразвуковой резонатор или параболическая антенна сантиметрового диапазона 2 (рис. 2.5, *е*, *ж*). Колебания возбуждаются импульсным генератором 5. Во время действия импульса этого генератора частотный сигнал  $u_a$  поступает в излучатель, во время паузы отпирается вход приемника и измерительный блок 6 начитает отсчет времени  $I_x$ . Когда на приемник поступает отраженный сигнал  $u_{\theta}$ , отсчет  $I_x$  заканчивается, и блок 6 выдает измеренное значение  $I_x$  в аналоговой или цифровой форме. Достоинство этих датчиков — достаточно высокая точность, сосредоточенность аппаратуры в одном месте при измеряемых перемещениях до десятков метров, работоспособность в условиях шахтной среды. Их недостаток — сложность и довольно широкая диаграмма направленности излучателей, что приводит к помехам от движущихся рядом людей и т. п. Этот недостаток устраним в лазерных и гамма-локаторах, имеющих аналогичный принцип действия, но использующих волны оптического и ядерного диапазона.

Радиоволновой датчик положения — это генератор сверхвысокочастотного диапазона 2, имеющий открытый колебательный контур (резонатор 3) коробчатой конструкции (рис. 2.5, *а*).

Если против резонатора появляется контролируемый объект 1, то излучаемая генератором электромагнитная энергия им поглощается или отражается. Вследствие этого изменяется режим его работы (например, увеличивается потребление тока  $I_x$  от источника питания). В данном случае статическая характеристика датчика — зависимость тока  $I_x$  от расстояния  $I_x$  до контролируемого объекта.

Достоинства радиоволнового датчика — высокая надежность, работоспособность в шахтных условиях, а также после незначительной регулировки возможность контроля положения объектов, состоящих из разнообразных материалов — металла, горных пород, органического вещества и т. п. Радиоволновый датчик — нелинейное усилительное звено САУ.

### 2.3. Датчики скорости и ускорения

Датчики скорости и ускорения в самом общем случае реализуют операции дифференцирования сигналов линейного или углового перемещений. Для линейной и угловой скорости

$$V_x = dx/dt \text{ и } \omega^* = d\varphi/dt,$$

а для линейного и тангенциального ускорения

$$a_x = d^2I_x/dt^2 \text{ и } W_x = d^2(f_x/dt^2).$$

Операция дифференцирования осуществляется либо самим датчиком, как, например, в тахогенераторе, либо специализированными дифференцирующими звеньями.

Действие тахогенераторов (тахо — от греческого «скорость») всех типов основано на законе магнитной индукции. Для тахогенератора постоянного тока э. д. с. на зажимах якоря

$$E_x = k_{\dot{\varphi}} \dot{\varphi}_x, \quad (2.22)$$

где  $k_{\dot{\varphi}}$  — коэффициент усиления.

Широко применяются тахогенераторы с возбуждением от постоянных магнитов, не требующие внешнего источника питания цепи возбуждения. Как следует из формулы (2.22), статическая характеристика датчика  $E_x = f(\omega^*)$  линейна. Недостаток датчика — наличие малонадежного коллектора со скользящими контактами.

В САУ применяются синхронные и асинхронные тахогенераторы, отличающиеся от рассмотренного выше тем, что не имеют подвижных электрических контактов.

Синхронный тахогенератор состоит из статора, в котором размещена обмотка  $I$  (рис. 2.6, а), и индуктора выполненного в виде постоянного магнита. На зажимах обмотки э. д. с. задается уравнением вида (2.22), но со своим значением коэффициента усиления  $k_{\dot{\varphi}}$ .

Одновременно с изменением э. д. с. изменяется и частота выходного сигнала

$$f_x = (P/2\pi) \dot{\varphi}_x, \quad (2.23)$$

где  $P$  — число пар полюсов индуктора (по рис. 2.6, а  $P = 1$ ).

Выходной сигнал синхронного тахогенератора в частотной форме удобно использовать в цифровых САУ.

Аналогично может быть использован сигнал на выходе фотоэлемента 3 (см. рис. 2.6, в). Частота импульсов здесь равна

$$i_x = (N/2\pi) \omega^*.$$

У асинхронного тахогенератора (рис. 2.6, б) в статоре расположена обмотка возбуждения  $I$ , получающая питание от сети переменного тока. Внутри статора находится полый алюминиевый ротор 2, охватывающий неподвижную выходную обмотку 3. При вращении ротора со скоростью  $\omega^*$  в нем наводятся вихревые токи с частотой сети и величиной, пропорциональной  $a\omega^*$ .

В свою очередь, магнитное поле вихревых токов возбуждает в обмотке 3 э. д. с., величина которой определяется уравнением вида,

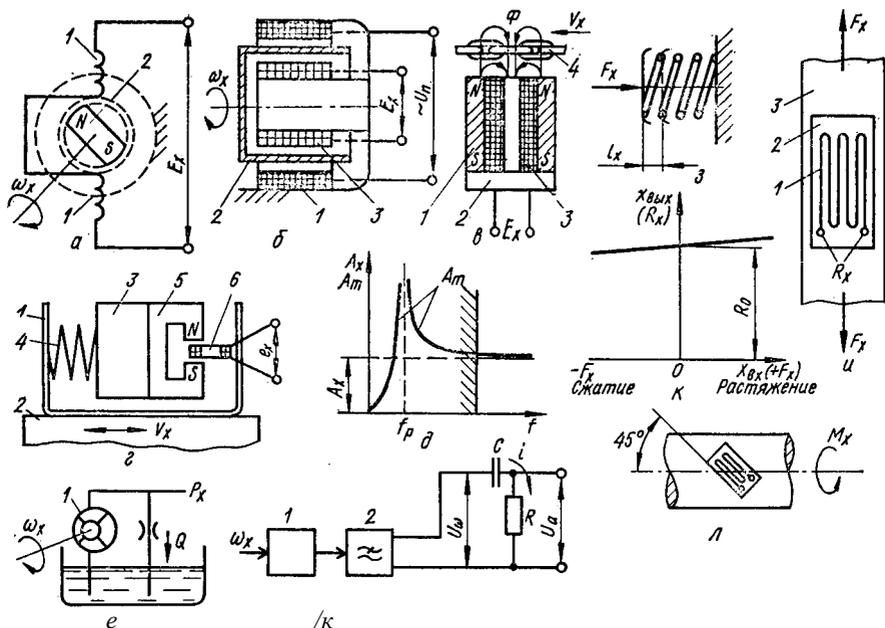


Рис. 2.6. Датчики скорости, ускорения, сил, моментов и их характеристики

представленного формулой (2.22), а частота равна частоте напряжения сети  $i_c$  и не зависит от скорости вращения ротора. Недостаток асинхронного тахогенератора — необходимость стабилизации напряжения  $11_n$ . Тахогенераторные датчики скорости в динамическом отношении являются линейными усилительными звеньями.

Магнитоиндукционный датчик скорости (рис. 2.6, в) имеет разомкнутую магнитную систему, состоящую из кольцевого магнита 1 и ферромагнитного сердечника 2 с расположенной на нем катушкой 3.

Контролируемый объект 4, состоящий из ферромагнитного материала, должен иметь неоднородную структуру (например, тяговая цепь скребкового конвейера). Тогда с движением объекта вдоль открытой стороны датчика будет изменяться магнитное сопротивление последнего. При этом чем больше скорость движения объекта, тем интенсивнее изменения магнитного сопротивления и потока, пронизывающего катушку датчика. Как следствие, на ее зажимах возникает переменная э. д. с., величина которой возрастает с повышением скорости движения контролируемого объекта.

Точность такого датчика сравнительно невысока, однако он обладает большой надежностью и практически не требует затрат на обслуживание. Как элемент САУ магнитоиндукционный датчик — нелинейное усилительное звено.

Сейсмический датчик скорости вибрации с магнитоэлектрическим преобразователем (рис. 2.6, з) состоит из основания 1, которым он устанавливается на объект 2, колеблющийся в горизонтальном направлении, и якоря 3, связанного с основанием пружиной 4. Постоянный магнит преобразо-

вателя 5 закреплен на якоре, а катушка 6 связана с основанием и расположена в зазоре магнита.

При перемещениях основания с малой скоростью якорь с магнитом и катушка движутся совместно, и э. д. с.  $E_x$  на зажимах катушки равна нулю. Предположим, что вибрация основания совершается по гармоническому закону  $l_x = A_x \sin 2\pi ft$ . С увеличением частоты  $f$  при  $A_x = \text{const}$  растет и амплитуда колебаний якоря относительно основания, в чем можно убедиться из рис. 2.6, *д*. Амплитуда  $A_m$  достигает максимума при частоте резонанса  $f_p = 1/\sqrt{j/\sim jr}$  ( $m$  — масса якоря и магнита,  $c$  — жесткость пружины). В зарезонансной области, которая и является рабочей,  $A_m \ll A_x$  и мало зависит от частоты. В связи с этим мгновенные скорости колебаний контролируемого объекта и колебаний магнита относительно катушки будут практически одинаковыми и составят

$$V_x = \frac{di}{at} = 2\pi f A_x \cos 2\pi ft \cdot 2\pi f A_m \cos 2\pi ft. \quad (2.24)$$

На основании формулы (2.24) можно утверждать, что мгновенное значение э. д. с на зажимах катушки 6 будет пропорционально мгновенной скорости объекта

$$I_x = BIV_x = k_v V_x \quad (2.25)$$

где  $B$  — магнитная индукция в зазоре магнита ( $B = \text{const}$ );  $I$  — длина витков катушки.

Как элемент САУ этот датчик может быть представлен линейным усилительным звеном.

В гидродинамическом датчике скорости (рис. 2.6, *е*) угловая скорость вращения вала объемного насоса  $I$  преобразуется сначала в пропорциональный расход рабочей жидкости, а затем путем дросселирования потока на слив — в давление  $P_x$ , которое связано с входной величиной зависимостью

$$P_x = \frac{\rho \omega^2}{2} \frac{I^2}{S^2} \quad (2.26)$$

где  $\rho$  — плотность рабочей жидкости; ( $Q_0$  — номинальный расход насоса при скорости вращения вала  $\omega_0$ );  $k_d$  — коэффициент расхода;  $S$  — проходное сечение дросселя 2.

В динамическом отношении гидродинамический датчик является линейным усилительным звеном.

Сейсмический датчик ускорения выполняется по схеме, представленной на рис. 2.6, *з*, где магнитоиндукционный преобразователь заменяется преобразователем перемещения (например, потенциометрическим датчиком — как на рис. 2.3, *д*). При перемещении основания с ускорением  $a_x = \ddot{\epsilon}^2 l_x / cH^2$  к якору прикладывается сила инерции  $P = -ma_x$ , смещая его и деформируя пружину.

Это смещение преобразуется в выходной сигнал  $U_{\text{вы}x}$  упомянутым датчиком перемещения, так что в режиме движения с установившимся ускорением

Как динамический элемент САУ рассмотренное устройство представляется последовательно включенными колебательным и двумя дифференцирующими звеньями.

Сейсмический датчик с преобразователем перемещения может использоваться как измеритель амплитуды вибраций; с этой же целью может применяться сейсмический датчик скорости с последовательно включенным интегрирующим звеном.

Для получения сигналов ускорения широко применяется непосредственное дифференцирование сигналов скорости специальными электрическими цепями. Простейшее из них — пассивное дифференцирующее  $I/C$ -звено (рис. 2.6, ж). Сигнал скорости на такое звено подается от датчика  $I$  (например, тахогенератора постоянного тока) через фильтр низких частот  $Z$ , не пропускающий высокочастотных помех, в том числе коллекторной э. д. с.

Предположив, что выходное сопротивление датчика и фильтра намного меньше, чем входное сопротивление  $\wedge C$ -цепи, а также, что во всех режимах работы цепи  $I_a I_{b1}$ , ток заряда конденсатора

$$i = -\dot{q} = -C \frac{dU}{dt} = -C \dot{U} = -C \dot{v} = -C \dot{v}_x$$

Тогда выходное напряжение измерителя

$$U_a = I/C = \kappa_u \dot{v}_x = \kappa \dot{x} \quad (2.28)$$

С учетом динамических свойств фильтра низких частот этот измеритель является реальным дифференцирующим звеном.

#### 2.4. Датчики сил и моментов

Действие датчиков этой группы основано на явлениях, характеризующих напряженное состояние конструкционных или специальных чувствительных элементов, воспринимающих силы и моменты.

Механический пружинный датчик (рис. 2.6, з) имеет пружину, преобразующую усилие  $T^*$  в перемещение  $I_x$ . Ему свойственна линейная статическая характеристика

$$I_x = (1/C_n) T^*, \quad (2.29)$$

где  $C_n$  — жесткость пружины.

В динамическом отношении датчик представляет собой колебательное звено. Он обладает достаточно высокой точностью и надежностью, однако выполняется как специальный силовой элемент в кинематической цепи передачи измеряемого усилия.

Магнитоупругий датчик имеет чувствительный элемент из ферромагнитного материала, магнитная проницаемость которого изменяется при упругих деформациях, возникающих при действии внешней силы.

Дроссельный магнитоупругий датчик представляет собой катушку индуктивности, сердечник которой воспринимает растягивающее или сжимающее усилие. Статическая характеристика датчика  $B_x = I(P_x)$  близка к линейной, и он может считаться усилительным динамическим звеном.

Магнитоупругие датчики надежны, однако их характеристики изменяются во времени из-за старения материала сердечника и температурной нестабильности.

Пьезоэлектрический датчик силы действует на основании явления прямого пьезоэффекта — возникновения на одной грани деформируемого кристалла пьезодиэлектрика (например, кварца) положительных, а на другой отрицательных зарядов. Кристалл при этом должен быть сориентирован определенным образом относительно действующей силы. Заряд при пьезоэффекте

$$\langle \Delta x \rangle = \kappa_p P_x \quad (2.30)$$

датчик обладает хорошей линейностью, стабильностью и практически безынерционен. Его выходное сопротивление весьма велико, таким должно быть и входное сопротивление усилителя, воспринимающего сигналы пьезокристалла. Применять этот датчик в шахтной аппаратуре затруднительно из-за влияния утечек тока (особенно при повышенной влажности окружающей среды).

Тензометрический датчик силы (тензодатчик) (рис. 2.6, и) представляет собою тонкую проволоку 1, жестко приклеенную на изоляционной подложке 2 к детали 3. Проволока ориентирована по направлению напряжений, возникающих в детали под действием силы. Действие тензодатчика основано на изменении электрического сопротивления проволоки при ее растяжении-сжатии. Относительная деформация детали (а следовательно, и проволоки), которая при этом возникает,

$$(2.31)$$

где  $E$ ,  $S_d$  — соответственно модуль упругости и поперечное сечение детали.

При малых изменениях длины проволоки ее поперечное сечение остается практически постоянным, поэтому приращение сопротивления датчика можно считать линейной функцией силы.

$$\Delta R^* = \nu \Delta L^* / L_0 = \epsilon^* r / (5_{II}) - (r)/(e^* 5_d 5_{II}) / L^* = \kappa r r_x \quad (2.32)$$

где  $L$ ,  $S_{II}$  — соответственно общая длина и поперечное сечение проволоки;  $r$  — удельное сопротивление проволоки.

Сопротивление датчика при действии силы

$$= Y_0 + D / ?^* = K_0 \cdot \Delta x \quad (2.33)$$

Эта зависимость показана на рис. 2.6, к.

Тензодатчик обычно включается в плечо уравновешенной мостовой схемы, что позволяет получать выходной сигнал, пропорциональный силе  $P_x$ . Для измерения крутящего момента  $M_x$  тензодатчик наклеивается на вал под углом 45° к образующей по направлению действия касательных напряжений (рис. 2.6, л).

Тензодатчик имеет то преимущество, что может устанавливаться непосредственно на детали механизмов и конструкций. Его точность, стабильность и надежность отвечают требованиям, предъявляемым к средствам шахтной автоматики. В динамическом отношении тензодатчик — линейное усилительное звено.

Гидростатический датчик силы выполняется в виде гидроцилиндра, поршень которого воспринимает силу сжатия. Выходной сигнал датчика — давление в полости гидроцилиндра

$$P_x - (1/5) F_x \quad (2.34)$$

где 5 — площадь поршня.

Такой датчик является линейным усилительным звеном и применяется в гидравлических САУ.

## 2.5. Датчики параметров состояния жидкостей и газов

Эти датчики измеряют давление, разрежение, объемный и массовый расходы, а также уровни (жидкостей). Перечисленные параметры преобразуются чаще всего в промежуточную величину — перемещение, а затем в электрический сигнал.

Механические мембраны и сильфонные датчики давления имеют чувствительные элементы — упругие дисковые мембраны или цилиндрические сильфоны с гофрами (рис. 2.7, а), выполняемые в большинстве случаев из специальных сплавов. Когда с двух сторон чувствительного элемента действуют различные давления среды  $P_{x1}$  и  $P_{x2}$  (рис. 2.7, б), то происходит его деформация на величину

$$l_x = (1/C_0) (P_{x1} - P_{x2}) = (1/C_0) P_x \quad (2.35)$$

где  $C_0$  — жесткость чувствительного элемента при действии давления (объемная жесткость).

Механические мембранные и сильфонные датчики давления применяются обычно с трансформаторными или индуктивными преобразователями перемещения. Если увеличивать жесткость чувствительного

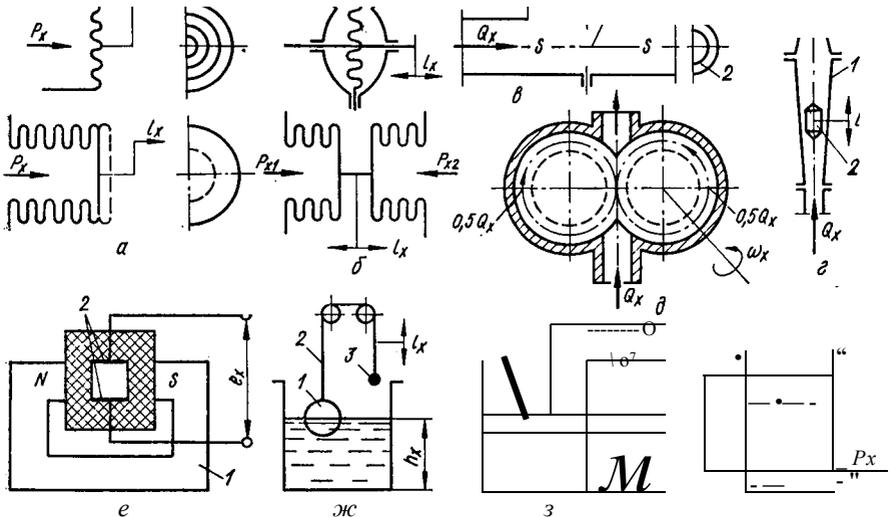


Рис. 2.7. Датчики параметров состояния жидкостей и газов

элемента датчика давления, то деформации снижаются до величин, при которых возможно его применение совместно с датчиками тензометрическим, магнитоупругим или пьезопреобразователем. Все эти датчики являются линейными усилительными звеньями САУ.

Датчик расхода переменного перепада выполняется путем установки в трубопровод  $l$ , по которому протекает жидкость, суживающего устройства  $3$  (рис. 2.7, в). На последнем создается перепад давлений  $P_x = P_x^1 - P_x^2$ , который может восприниматься, например, сильфонным преобразователем.

Мгновенное значение объемного расхода жидкостей или газов связано с перепадом давлений. Связь эта описывается выражением

$$P_x = P_l - P_{x'} = (\Gamma \wedge 5^2) < \xi, \quad (2.36)$$

где  $5$  — площадь поперечного суживающего устройства.

Как следует из изложенного выше, получение в данном случае сигнала расхода в форме электрического тока требует ряда преобразований, что усложняет измерительное устройство и снижает его точность. Применение этого датчика осложняется также нелинейной зависимостью выходной величины от входной. В динамическом отношении датчик переменного перепада — нелинейное усилительное звено.

Датчик расхода постоянного перепада (ротаметр) представляет собой конусообразную вертикальную трубку с раствором по направлению потока, в котором расположен поплавок  $2$  (рис. 2.7, г). В состоянии покоя он находится внизу трубки, а при течении жидкости (газа) поднимается в положение  $1_x$ , где действующие на него сила тяжести и подъемная уравновешивают друг друга:

$$Y_n (P_n - P) = 3Д, \quad (2.37)$$

где  $Y_n$ ,  $P_n$ ,  $S_n$  — соответственно объем, плотность и площадь поплавка;  $p$  — плотность жидкости (газа);  $P_x$  — перепад давлений, действующий на поплавок.

Если расход увеличивается, то растет перепад давлений и поплавок поднимается выше, кольцевой зазор вокруг него расширяется, а  $P_x$  уменьшается. Этот процесс заканчивается, когда поплавок приобретает новое положение  $1_x$ .

В ряде конструкций ротаметров поплавки выполняют функцию якоря трансформаторного или индуктивного преобразователя перемещения.

Датчики расхода постоянного перепада — линейные колебательные звенья САУ.

Датчик расхода на основе обращенного насоса объемного типа выполняется с применением механизма, аналогичного шестеренчатому насосу (рис. 2.7, д). Разница между ними лишь в том, что шестерни вращаются вследствие переноса жидкости в зубцовых впадинах по направлению потока. Скорость вращения шестерен

$$\omega_{0x} = (l / \langle ? \rangle) C_{1x}, \quad (2.38)$$

где  $q$  — объем зубцовой впадины шестерни;  $z$  — число зубьев шестерни.

Достоинства такого датчика — возможность получения мощных выходных сигналов без применения усилителей. Основной его недостаток — перетоки жидкости в зазорах между зубьями шестерен и корпусом, что приводит к погрешностям. Датчик этого типа представляет собою линейное усилительное звено САУ.

Индуктивный датчик объемного расхода (рис. 2.7, е) состоит из магнитной системы 1 (выполняется чаще всего на основе электромагнитов, питающихся стабильным током), создающей поле в проточной его части, а также электродов 2, имеющих контакт с потоком жидкости и расположенных в перпендикулярной плоскости по отношению к магнитному полю. При движении электропроводной жидкости через датчик на электродах индуцируется э. д. с

$$E_x = B l v_x = (Ba\delta) j_x \quad (2.39)$$

Датчик этого типа не имеет подвижных механических частей, отличается достаточно высокой точностью и надежностью. В динамическом отношении датчик представляет собою линейное усилительное звено.

Поплавковый датчик уровня (рис. 2.7, ж) состоит из поплавка 1, располагающегося на поверхности жидкости, и троса 2, связывающего поплавок с преобразователем 3. С тросом тем или иным способом связываются преобразователи перемещения, которые и формируют сигналы уровня, используемые в САУ, а также определяют статические и динамические характеристики устройства.

Электродный датчик уровня (рис. 2.7, з) контролирует одно значение уровня ( $\kappa_x$  —  $I_{\kappa}$ ). На эту отметку устанавливается электрод 1, подвешенный на кабеле 2. При соприкосновении жидкости с электродом создается цепь тока  $I_x$ . Когда электродный датчик контролирует уровень шахтных вод с низкой электропроводностью, то из-за малости тока  $I_x$  его нужно усиливать. В остальном характеристики рассмотренного датчика такие же, как и у электроконтактного (рис. 2.3, а).

Гидростатический датчик уровня фиксирует на глубине  $\kappa_x$  от свободной поверхности жидкости давление (рис. 2.7, и)

$$p_x = \rho A^* \quad (2.40)$$

Это давление может быть измерено каким-либо из описанных выше преобразователей и задано сигналом, удобным для использования в САУ.

## 2.6. Датчики температуры

Действие датчиков температуры основано на зависимости ряда характеристик веществ от температуры. К этим характеристикам относятся коэффициент температурного расширения, электропроводность, магнитная проницаемость, термо-э. д. с и др.

Термобиметаллический электроконтактный датчик температуры (рис. 2.8, а) имеет в качестве чувствительного элемента биметаллическую пластину 1, у верхнего слоя которой коэффициент температурного расширения меньше, а у нижнего — больше. При увеличении температуры окружающей среды

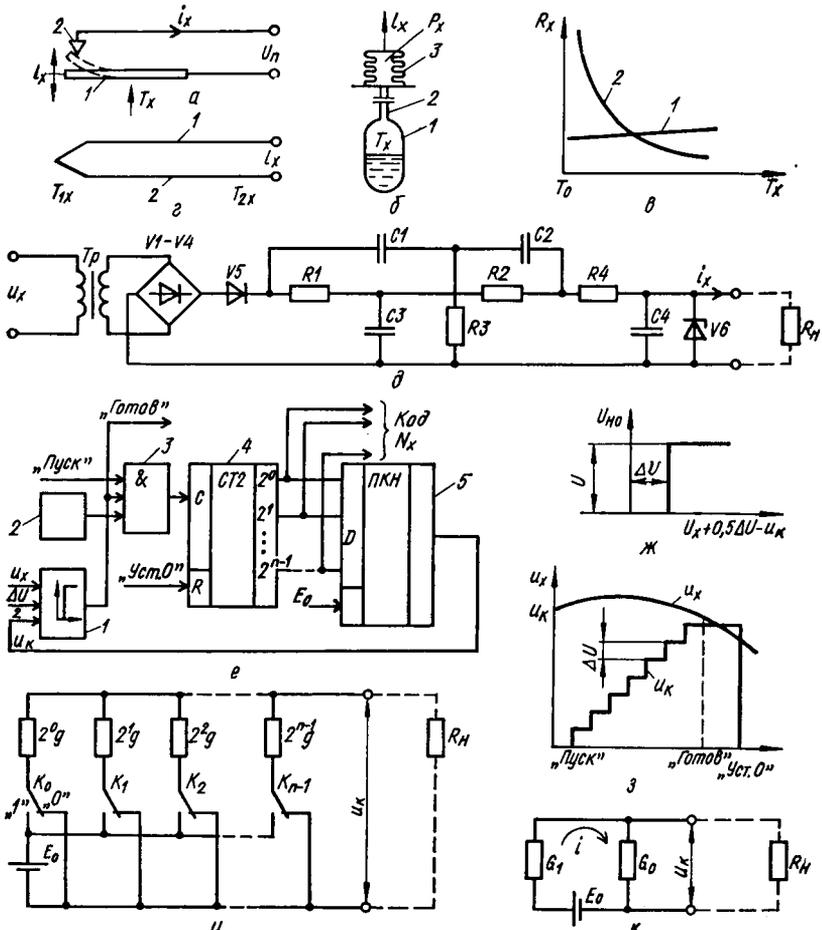


Рис. 2.8. Датчики температуры и измерительные преобразователи напряжения

$T_x$  пластина прогибается свободным концом вверх на величину  $I_x$  и при  $T_x = T_0$  замыкает контакты 2, вследствие чего в выходной цепи появляется ток. Приблизительно этот датчик может быть описан нелинейным апериодическим звеном I порядка.

Манометрический датчик температуры представляет собой ампулу 1, частично заполненную легкоиспаряющейся жидкостью, например фреоном (рис. 2.8, б). Ампула встраивается в контролируемый объект и соединяется капиллярной трубкой 2 с преобразователем давления 3. При повышении температуры давление насыщенных паров увеличивается, растет также и выходной сигнал преобразователя. Такой датчик успешно применяется в гидравлических и пневматических САУ и является линейным апериодическим звеном порядка.

Резисторный датчик температуры имеет чувствительный элемент — резистор из проводникового или полупровод-

никового материала. Датчики из проводникового материала называются термометрами сопротивления, а из полупроводникового — терморезисторами (термисторами); зависимости их сопротивления от температуры соответственно имеют вид

$$R_x = R_0 [1 + \alpha_T (T_x - T_0)]$$

$$R_x = A e^{B/T_x}, \quad (2.41)$$

где  $R_0$  — сопротивление проводника при температуре  $T_0$  (обычно  $T_0 = 293$  К);  $\alpha_T$  — температурный коэффициент сопротивления;  $A$ ,  $B$  — постоянные терморезистора.

Эти зависимости определяют вид статических характеристик термометров сопротивления и термисторов (кривые 1 и 2 на рис. 2.8, б).

Для термистора температурный коэффициент  $\alpha_m = -(B/T_x^2)$  — величина отрицательная, существенно зависящая от  $T_x$ , и ее абсолютное значение намного больше, чем у любого проводникового материала (0,03—0,1 и 0,004—0,005 1/°К). Следовательно, чувствительность термисторов значительно выше, чем у термометров сопротивления, однако последние более стабильны, их статические характеристики близки к линейным. В динамическом отношении термометры представляют собой линейные, а термисторы — нелинейные апериодические звенья

II порядка.

Индуктивный датчик с термочувствительным сердечником действует на основании нелинейной зависимости магнитной проницаемости ферритов от температуры, которая резко уменьшается при  $T_x = T_c$  (например, 343 °К — для феррита 1200НН и 363 °К — для феррита 1200НН1). Катушка индуктивности с таким сердечником входит в состав генератора или применяется в схемах включения, аналогичных рис. 2.4, д, е. Рассмотренный датчик температуры — нелинейное апериодическое звено I порядка.

Термоэлектрические датчики (термопары) действуют на основании возникновения термо-э. д. с. в разнородных проводниках, если точки их соединения имеют разную температуру. На рис. 2.8, г месту спая проводников 1 и 2 отвечает температура  $T_x$ , а клеммам термопары —  $T_0$ . На них будет действовать э. д. с.  $E_x = E_m x - E_{m0}$ , которая при небольшой разности температур является линейной функцией этой разности

$$E_x = \kappa_m (T_x - T_0). \quad (2.42)$$

Рассмотренный датчик имеет низкое выходное сопротивление, стабилен и надежен в эксплуатации, но сигналы термо-э. д. с. из-за малости при использовании в САУ надо усиливать. Термопара — линейное апериодическое звено II порядка.

## 2.7. Датчики и измерительные преобразователи тока, напряжения и напряженности магнитного поля

Электромагнитное реле (см. гл. 3) широко используется как датчик постоянного и переменного тока и напряжения, особенно в системах релейной защиты и автоматики. В цепях по-

стоянного тока применяется бесконтактное реле на транзисторах и операционных усилителях в микроэлектронном исполнении.

Измерительный преобразователь переменного напряжения (рис. 2.2, д) содержит понижающий трансформатор  $T_p$ , разделяющий также силовую и измерительную цепи, двухполупериодный выпрямитель на диодах  $U_{1...7_4}$ , термокомпенсирующий диод  $U_5$ , двойной Т-образный заградительный фильтр  $C_1 C_2 Y_3$ ,  $Y_1 Y_2 C_3$ , балластный резистор  $R_4$ , образующий с конденсатором  $C_4$  фильтр низких частот, и защитный стабилитрон  $K_6$ . Изменения прямого сопротивления диода  $U_6$  в зависимости от температуры окружающей среды противоположны изменениям сопротивления обмоток трансформатора, что существенно снижает температурную погрешность преобразователя.

Двойной Т-образный фильтр имеет максимум затухания на частоте 100 Гц — основной гармонике выпрямленного тока — и обеспечивает основное ее сглаживание.

Балластный резистор большой величины превращает измерительный преобразователь в источник тока, так что небольшие изменения сопротивления нагрузки практически не влияют на выходной ток  $i_x$ . С другой стороны, как элемент фильтра  $R_4 C_4$ , он обеспечивает дополнительное сглаживание выходного сигнала. Стабилитрон  $U_6$  предотвращает опасное увеличение напряжения на выходе преобразователя при обрыве цепи нагрузки.

Рассмотренное устройство преобразовывает переменное напряжение  $u_x$  0—130 В в постоянный ток 0—5 мА с погрешностью  $1/0 \wedge$

1 % и является апериодическим звеном I порядка с временем установления не более 2,5 с.

Цифровой компенсационный преобразователь постоянного напряжения, действующий по методу последовательного счета (рис. 2.8, з), состоит из нуля-органа (элемента сравнения) 1, генератора импульсов 2, трехходового логического элемента «И» 3, двоичного счетчика 4 и элемента обратной связи — преобразователя код-напряжение. Выходной сигнал нуля-органа изменяется согласно зависимости

$$U_{н0} = \begin{cases} 0 & U_x + 0,5\Delta U - U_k < \Delta U \\ \text{при} & \\ U & U_x + 0,5\Delta U - U_k > \Delta U, \end{cases} \quad (2.43)$$

где  $u_x$   $U_k$  — соответственно преобразуемое и компенсирующее напряжение;  $\Delta U$  — величина кванта напряжения.

Таким образом, ноль-орган имеет релейную характеристику (рис. 2.8, ж) с порогом срабатывания  $x_c = \Delta U$ . Аналогично формуле (2.18) величина кванта

$$\Delta U = E_0 / (2^n - 1), \quad (2.44)$$

где  $E_0$  — опорное (эталонное) напряжение преобразователя код-напряжение;  $2^n - 1$  — емкость я-разрядного двоичного счетчика или максимальное число, записываемое в двоичный счетчик.

Максимальное значение преобразуемого напряжения не должно превышать величину опорного напряжения  $E_0$ .

Выходное напряжение преобразователя код-напряжение (устройство и действие его рассмотрены ниже) пропорционально числу, запи-

$$I_i = \sum_{l=1}^n \text{Ш} B_{i,l} = \text{Ш} \sum_{l=1}^n a_{i,l} \quad (2.45)$$

где  $a_{i,l}$  — значение  $l$ -го разряда двоичного числа в зависимости от  $B_{i,l}$ ,  $a_{i,l} = 0$  или  $a_{i,l} = 1$  (это значение отображается соответственно низким или высоким уровнем на  $i$ -м разрядном выходе счетчика 4).

Для подготовки преобразователя к работе на счетчик подается внешний сигнал «установка 0», в нем записывается число  $L^{\wedge} = 0$ , и на всех выходах счетчика устанавливаются напряжения низкого уровня. Начальное значение напряжения  $o = A I I B_{i,0} = 0$ , и если  $V_x + 0,5^{\wedge} > A u$ , то на выходе нуль-органа появляется высокий уровень напряжения, поступающий на третий вход логического элемента «И». Далее на первый вход элемента «И» подается внешний сигнал «пуск»; наличие сигналов высоких уровней на этих входах разрешает передачу импульсов от генератора через элемент «И» на счетчик. Первый из названных импульсов записывает в счетчике число 1. Ему соответствует появление высокого уровня напряжения на выходе «2°» счетчика (на остальных выходах сохраняются низкие уровни). Тогда  $I_{k,1}^{\wedge} = A u B_{i,1} = A u$ . Если  $I_{k,1}^{\wedge} + 0,5 \Delta I - I_{k,1}^{\wedge} \sim u_x = 0,5 A (I > A \xi /$ , то высокий уровень на выходе нуль-органа сохраняется, на счетчик поступает 2-й импульс и там записывается число  $A_2 = 2$ . При этом на выходе «2°» высокий уровень сменяется низким, а на выходе «2<sup>1</sup>» появляется высокий уровень. Преобразователь код-напряжение выдает сигнал  $u_{k,2} = A i / L / 2 = 2 A I /$ , и если  $I_{k,2} + 0,5 A u - \xi /_{k,2} - V_x - 1,5 u > A u$ , то на счетчик поступает третий импульс. На выходе «2°» снова появляется высокий уровень, который сохраняется также на выходе «2<sup>1</sup>» (в счетчик записано число  $B_{i,2} = 3$ ), и  $u_{k,3} = 3 A I$ .

Далее процессы в элементах схемы протекают аналогично описанному выше (рис. 2.8, з) до тех пор, пока на очередном такте не установится неравенство  $V_x + 0,5 A \theta - u_{k,x} < A H$ . Тогда на выходе нуль-органа появится низкий уровень сигнала, который запретит передачу импульсов на счетчик через элемент «И». Число, записанное в счетчике,

$$b_x = (u_x \pm 0,5 \Delta I) / \text{Ш} \quad (2.46)$$

с погрешностью в половину кванта пропорционально входному напряжению  $u_x$  в момент окончания преобразования.

Низкий уровень сигнала нуль-органа воспринимает внешнее устройство, использующее код  $u_x$ , оно снимает сигнал «Пуск» до начала нового цикла преобразования.

Один из вариантов преобразователя код-напряжение — управляемый «звездообразный» делитель (рис. 2.8, и), состоящий из резисторов, проводимости которых изменяются пропорционально «весам» двоичных разрядов ( $2^{\wedge}$ ,  $2^{\wedge}$ , ...,  $2^{n-\xi}$ ), и разрядных перекидных ключей  $K_0, \dots, K_{n-1}$ . Ключи управляются сигналами с соответствующих разрядных выходов счетчика: когда на выходе низкий уровень сигнала, ключ находится в положении «0», когда уровень его высокий — в положении «1». Следовательно, если в счетчике записано число = 0, то все резисторы делителя присоединены к нижней шине схемы и  $u_{x,0} = 0$ , при других значениях некоторые ключи будут

в положении «0», а остальные — в положении «1» и  $U_{к1} > 0$ .

Рассмотрим эквивалентную схему делителя для этого случая (рис. 2.8, κ). Здесь  $G_{\Sigma}$  — суммарная проводимость резисторов, соединенных с нижней шиной ключами, находящимися в положении «0», а  $G_j$  — проводимость резисторов, соединенных с шиной (—) источника  $E_0$  ключами, установленными в положение «1».

Из эквивалентной схемы при  $R_H = c0$

$$u_{\kappa} = \frac{E_0 [G_0 G_i / (G_0 + G_j)]}{G_0} = \frac{E_0}{G_0} \frac{G_i}{G_0 + G_j} \quad (2.47)$$

Проводимость, пропорциональная числу, записанному в счетчике,

$$G_i = \sum_{i=1}^n c_i 2^{i-1} g = g \sum_{i=1}^n a_i 2^{i-1} = g N_x \quad (2.48)$$

а сумма проводимостей  $G_0 + G_i$  пропорциональна максимальному числу, которое можно записать в счетчике  $\sqrt{V_{\text{га}}^*} = 2^n - 1$ , т. е.

$$G_{\Sigma} + G_i = g(2^n - 1). \quad (2.49)$$

С учетом выражений (2.48) и (2.49) выражение (2.47) приводится к виду

$$u_{\kappa} = \frac{E_0}{g} \frac{N_x}{(2^n - 1) N_x} = \frac{E_0}{g} \frac{N_x}{2^n - 1} \quad (2.50)$$

Следовательно, преобразователь код-напряжение обеспечивает линейную зависимость между числом, записанным в счетчике, и выходным напряжением  $U_Z$ . При  $R_H = \Phi$  оо линейность соблюдается, если выходное сопротивление делителя — величина постоянная. Действительно,

$$Y_{\text{вых}} = 1 / (0 + G) = 1 / g (2^n - 1) = \text{const}. \quad (2.51)$$

Если сопротивление нагрузки (в том числе по входу нуля-органа) имеет конечное значение, то выходное напряжение преобразователя код-напряжение

$$u = 0 * N / (Y_{\text{вых}} + Y_n). \quad (2.62)$$

В современных преобразователях в качестве ключей делителя используются полупроводниковые переключатели, и преобразователи напряжение-код в целом могут иметь микроэлектронное исполнение. Аналогично устроены и преобразователи ток-код.

Цифровые преобразователи имеют высокое быстродействие: цикл счета длится от сотых до тысячных долей секунды и менее. Точность их также высока, основная погрешность может быть снижена в преобразователях широкого применения до сотых долей процента.

Рассмотренные устройства надежны и перспективны для применения в аппаратуре шахтной автоматики. С целью выявления внешнего магнитного поля может быть использован упомянутый выше магнитомодуляционный датчик (см. рис. 2.4, ж), выполненный в виде магнитопроводов — прямолинейных стержней, с обмотками возбуждения (питания)  $W_n$  и  $N_{12}$ , создающими в магнитопроводах равные и встречно направленные магнитные потоки  $\Phi_x$  и  $\Phi_2$ . Вторичные обмотки  $W_{21}$  и  $W_{22}$  включены встречно, при отсутствии внешнего магнитного поля

д. с.  $E_x = 0$ . Появление составляющей внешнего поля  $H_x = H \cos \alpha_x$  вследствие нелинейности кривой намагничивания маг-

нитепроводов приводит к возникновению э. д. с. с удвоенной частотой источника питания и величиной, пропорциональной  $H_x$ :

$$E_x = \kappa_m u_n H_x. \quad (2.53)$$

Для выявления неоднородностей магнитного поля используется магнитомодуляционный датчик (зонд) (см. рис. 2.4, з). Магнитопроводы его разнесены друг от друга, а вторичные обмотки включены встречно как по отношению к возбуждающему, так и внешнему полю. Если вследствие неоднородности последнего  $H_x \neq \Phi H_x$ , то на выходе датчика появится сигнал  $E_x$ , определяемый из выражения (2.53), где  $H_x = H_x \sin \alpha$  —  $Ha$ .

Магнитомодуляционные датчики — линейные усилительные звенья САУ.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие функции выполняют датчики и измерительные преобразователи в автоматических системах?
2. Назовите признаки, по которым классифицируются датчики и измерительные преобразователи.
3. Какой вид имеют структурные схемы и зависимости выходных сигналов от входных для датчиков: с последовательным соединением элементов, дифференциального типа, компенсационного с разомкнутой схемой?
4. Какой вид имеют структурные схемы измерительных преобразователей компенсационного (замкнутого) типа и каковы их достоинства?
5. Что такое статическая характеристика датчика? Какие существуют виды статических характеристик?
6. Что такое динамическая характеристика датчика?
7. Какие величины характеризуют метрологические свойства датчиков?
8. Каким требованиям должны отвечать датчики и измерительные преобразователи систем шахтной автоматики?
9. Назовите требования, предъявляемые к унификации характеристик датчиков и измерительных преобразователей.
10. Какой вид имеют принципиальные (структурные) схемы и на чем основано действие датчиков: положения и перемещения, скорости, ускорения, сил и моментов, параметров состояния жидкостей и газов, температуры?
11. В чем заключается принцип действия измерительного преобразователя переменного напряжения и как обеспечивается его точность?
12. Назовите принцип действия цифрового компенсационного преобразователя постоянного напряжения в код. Напишите уравнения преобразования сигналов в его схеме.
13. В чем заключается принцип действия преобразователя код-напряжение и какими зависимостями описывают это преобразование?
14. Начертите принципиальную схему магнитомодуляционного датчика. Как он действует и где применяется?

## Г л а в а 3. ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

### 3.1. Общие сведения

Большинство систем автоматического управления выполняют\* как управляющие функции, так и информационные.

Управляющие функции включают в себя определение рационального режима технологического процесса, выдачу обслуживающему персоналу рекомендаций по его управлению, формирование управляющих воздействий на объект.

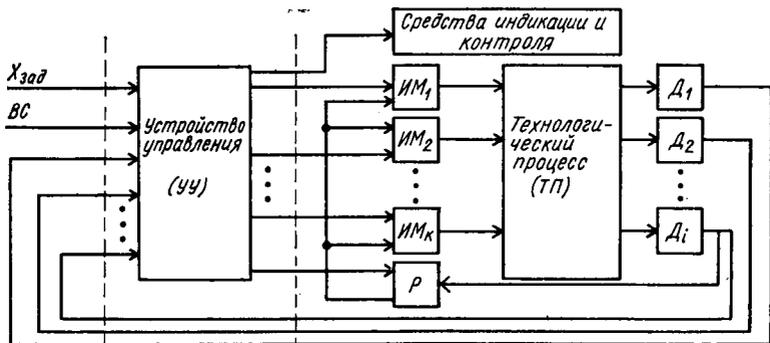


Рис. 3.1. Обобщенная структурная схема системы управления

Информационные функции предполагают контроль, за состоянием технологического процесса (измерение и регистрация технологических параметров, их отклонений от заданных значений,, контроль срабатывания защит, блокировок и другие операции информационного характера).

Структурная схема автоматического управления, учитывающая перечисленные выше функции, изображена на рис. 3.1.

**Технологический процесс (ТП)** характеризуется такими параметрами, как положение рабочих органов машин в пространстве, уровень жидких и сыпучих сред, температура, давление, скорость и др. Характер изменения параметра определяется положением исполнительных механизмов (ИМ). Значения технологических параметров фиксируются датчиками Д.

Изменение режима работы ТП происходит по сигналам от датчиков, временных средств (ВС) — таймеров, свидетельствующих об истечении установленного времени, и по сигналам от задающих устройств -Хзад- Создание системы управления предусматривает последовательное решение таких задач, как выбор ИМ и Д, комплектование средств регулирования (Р), построение регулятора и схемы устройства управления (УУ).

Предположим, что все операции по выбору ИМ, Д, средств регулирования и индикации выполнены, определены параметры регулятора (Р) и известна структура объекта, которым система должна управлять. Остается спроектировать схему УУ и выбрать элементную базу, на которой оно будет построено.

Если сделать сечение через каналы передачи информации к УУ и от него (как это показано пунктиром на рис. 3.1), то УУ в общем виде будет представлять собой преобразователь информации, имеющий  $m$  входных сигналов  $X$  и  $n$  выходных  $Y$  (рис. 3.2).

Так как входные и выходные сигналы неодинаковы, необходимо при- менять в системах управления различ- ные элементы и устройства (аналоговые и дискретные).

Преимущества использования дискретных сигналов в результате преобразования следующие: большая точность

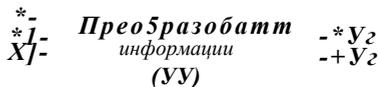


Рис. 3.2. Структурная схема устрой- ства управления

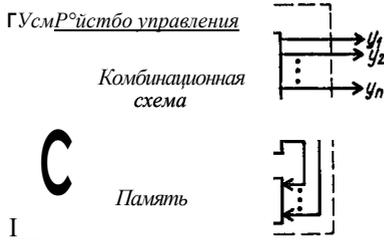


Рис. 8.3. Структурная схема устройства управления с памятью

преобразования; высокая помехозащищенность и общая надежность устройств; простота устройств запоминания информации и хранения ее в течение длительного времени; реальная возможность точного цифрового отображения выходной информации; относительно низкая стоимость устройств и систем, реализующих сложные и точные преобразования.

Преимущества дискретных преобразований так велики, что в большинстве случаев выгодно изменить характер входных и выходных сигналов для сохранения однородности преобразования.

При дискретных преобразованиях чаще всего приходится наблюдать определенную логическую зависимость выходных сигналов  $Y$  от сигналов, подаваемых на входы  $X$ . Функции, выражающие логическую зависимость выходных сигналов от входных, называются **логическими**.

В зависимости от решаемой задачи любому заданному набору входных сигналов должен соответствовать вполне определенный набор выходных. Если значения выходных сигналов функции полностью определяются текущими значениями входных, то УУ представляет собой преобразователь информации комбинационного типа. Если выходные сигналы зависят не только от текущих значений входных величин, а и от их предыдущих значений, то УУ представляет собой преобразователь информации последовательностного типа, который кроме комбинационной схемы имеет элементы памяти для запоминания предыдущих значений входных сигналов. Следовательно, в общем виде УУ можно представить схемой, приведенной на рис. 3.3. Из этого рисунка видно, что в первом и втором вариантах устройства управления (рис. 3.3а, б) имеется комбинационная схема, для построения которой нужно знать уравнения логических функций.

Математический аппарат логических функций — алгебра логики, которая является ветвью математической логики и представляет прежде всего алгебру высказываний. Под высказыванием понимается такое предложение, относительно которого можно сказать, истинно оно или ложно. В алгебре логики принято отождествлять истинность высказывания с символом 1, а ложность с символом 0. Здесь 1 или 0 используются не как числа, а как символы. В связи с этим алгебра логики является не алгеброй чисел, а алгеброй состояний.

Из отдельных высказываний можно построить новое, которое называется составным. В алгебре логики внутренней структурой высказываний не интересуются. Важно лишь то, что высказывание может быть истинным или ложным. Для определения составного высказывания необходимо знать, какие из его составляющих компонентов истинны, а какие ложны. В алгебре логики сложное высказывание отождествляется с функцией алгебры логики (логической функции), а простые высказывания — с аргументами (логическими переменными) функции алгебры логики (логические функции).

Таким образом, аргументом логической функции является величина, принимающая только два значения 0 и 1, следовательно, логическая функция также может принимать только два значения 0 и 1, т. е. функции алгебры логики и их аргументы определены на множестве {0,1}.

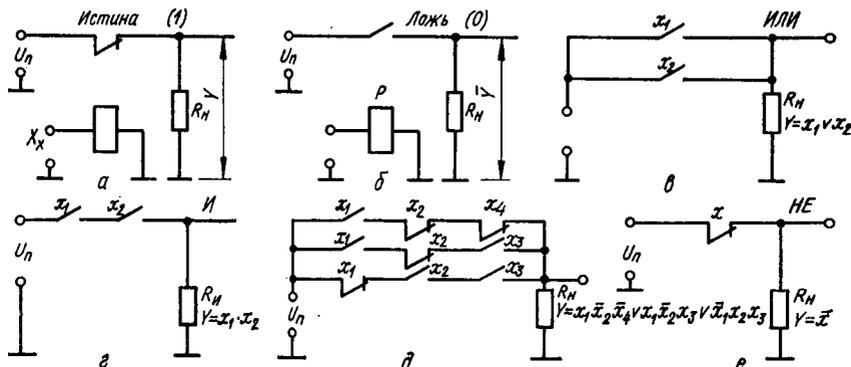
Различные комбинации значений аргументов называются наборами значений аргументов; так как последние могут принимать только два значения (0 и 1), то для  $n$  аргументов имеется  $2^n$  попарно различных наборов.

Например, УУ имеет пять входов и три выхода. Следовательно, для данного УУ существует  $2^5 = 32$  различных входных наборов и  $2^3 = 8$  выходов.

После получения минимальной формы логической функции, реализующей алгоритм работы устройства управления, необходимо выбрать элементную базу — тип логических элементов (ЛЭ), из которых будет выполнена схема преобразователя. Ныне используется большое количество типов ЛЭ, которые могут быть классифицированы по принципу действия, роду энергии, характеру сигналов, технологии изготовления и другим признакам. По характеру сигналов на входе и выходе ЛЭ подразделяются на потенциальные, импульсные и импульсно-потенциальные. В потенциальных ЛЭ логическим значениям 0 и 1 соответствуют два разных уровня, в импульсных — наличие или отсутствие импульса. Наиболее распространены потенциальные ЛЭ.

### 3.2. Релейно-контактные логические элементы

Логическую функцию, определяющую зависимость состояния выходных сигналов устройства управления от входных, можно реализовать на релейно-контактных логических элементах, представляющих собой электромагнитные реле с контактами. Вход такого элемента — обмотка, а выход — состояние контактов (рис. 3.4, а). Обычно на схемах изображаются не обмотки, а только контакты реле. Логическая переменная — это сигнал, принимающий два различных значения, известных как состояния «истина» и «ложь». Например, логическая переменная  $X$  может быть представлена состояниями контактов



реле, которые либо замкнуты, либо разомкнуты. Следовательно,  $X$  принимает два значения. Обычно значению «истина» соответствует замкнутое состояние контактов, значению «ложь» — разомкнутое (рис. 3.4, б). Часто «истинное» и «ложное» состояния соответствуют терминам «высокий» и «низкий» уровень, «да» — «нет», «включено» — «выключено», «единица (1)» — «нуль (0)».

Рассмотрим реализацию функции дизъюнкции, конъюнкции, инверсии входных переменных на релейно-контактных элементах. Поскольку функция дизъюнкции равна 1, (если хотя бы одна переменная на входе равна 1), это равносильно параллельному включению контактов реле (рис. 3.4, в); функция же конъюнкции предполагает последовательное включение контактов. Эта функция будет равна 1, если все переменные одновременно на входе равны 1 (рис. 3.4, г).

Функцию инверсии НЕ можно реализовать, используя размыкающий контакт реле  $X$  (рис. 3.4, е). Пример реализации сложной логической функции на релейно-контактных элементах приведен на рис. 3.4, д.

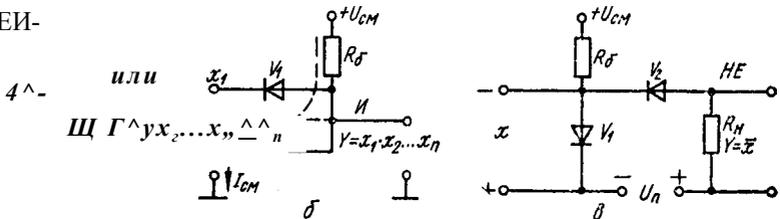
### 3.3. Диодные логические элементы

Реализовать основные логические операции И, ИЛИ, НЕ можно на полупроводниковых диодах. В схеме ИЛИ (рис. 3.5, а) не требуется дополнительного источника энергии, так как при подаче положительного потенциала на один из выходов  $X$  через соответствующий диод и резистор  $Y_a$  протекает ток, под действием которого на падает напряжение, соответствующее на выходе логической единице. Функция И (рис. 3.5, б) реализуется с использованием дополнительного источника смещения  $\mathcal{E}/\text{см}$ . При отсутствии входных сигналов  $X_1, \dots, X_n$  через резистор  $Y_0$ , диоды  $Y_1, \dots, Y_n$  и входные сопротивления источников сигнала  $X$  протекает ток смещения, и все напряжение выделяется на резисторе  $Y_0$ , а на выходе низкий потенциал (0). При подаче на вход сигналов  $X$  диоды  $Y_1, \dots, Y_n$  запираются, на выходе будет высокий потенциал (1). Если даже на одном из входов отсутствует входной сигнал  $X$ , то на выходе будет 0. Таким образом реализована функция И:

$$Y = X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_n$$

Функция НЕ реализуется с использованием двух источников питания (рис. 3.5, в). Если отсутствует входной сигнал  $X$ , то диод открыт и на выходе будет высокий потенциал (1) от  $C/n$ . Если на вход  $X$

$x, 0$  — ЕИ-



подан отрицательный потенциал, то диод запирается, ток через /  $y$  не протекает, на выходе потенциал будет равен 0. Малая нагрузочная способность и большое затухание сигналов — основные недостатки диодных ЛЭ.

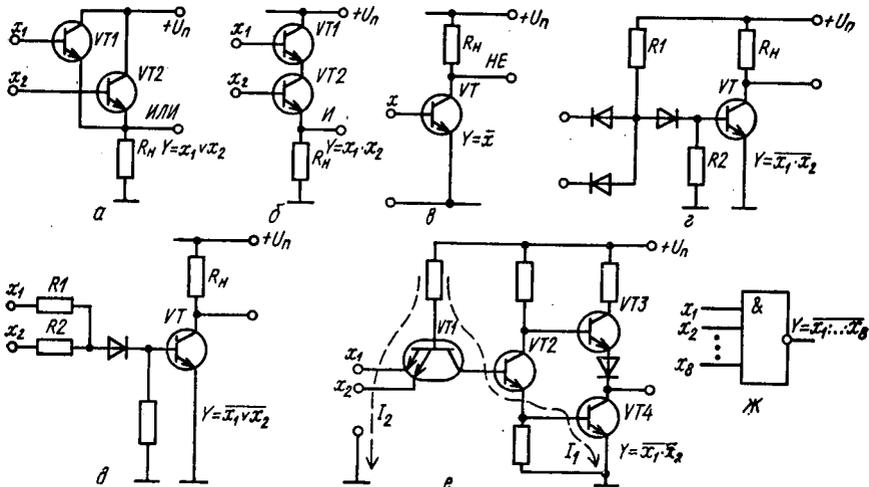
### 3.4. Транзисторные логические элементы

Транзисторные ЛЭ получили наибольшее распространение, поскольку имеют несколько схемных решений реализации логических функций.

Реализация основных логических операций с использованием транзисторов приведена на рис. 3.6. Операция ИЛИ (рис. 3.6, а) реализуется, если открыт один из транзисторов  $T_1$  или  $T_2$  т. е.  $Y = X_1 \vee X_2$  операция И (рис. 3.6, б) реализуется, если открыты транзисторы  $T_1$  и  $T_2$ , т. е.  $Y = X_1 X_2$ . Операция инверсии реализуется с помощью обычного ключа с нагрузкой в цепи коллектора (рис. 3.6, в). При отсутствии сигнала на входе ( $X = 0$ ) транзистор  $T$  закрыт, и на выходе будет высокий потенциал (1). При наличии сигнала на входе ( $X = 1$ ) транзистор открывается, потенциал на выходе равен потенциалу «земли» (т. е. «0»),

Диодно-транзисторные логические элементы (ДТЛ). Используя диодно-транзисторные ЛЭ, можно реализовать логическую функцию в функционально полном базисе И — НЕ (рис. 3.6, з), а применяя резисторно-транзисторные ЛЭ,— в функционально полном базисе ИЛИ — НЕ (рис. 3.6, д).

Транзисторно-транзисторные логические элементы (ТТЛ) появились как результат их развития благодаря замене диодов многоэмиттерным транзистором. Основное отличие многоэмиттерного транзистора от обычных заключается в том, что он имеет несколько эмиттеров, расположенных таким образом, что прямое взаимодействие между ними исключено. ТТЛ позволяют реализовать логические функции в



функционально полном базисе И — НЕ (рис. 3.6, е). Если на входы  $X_x$  и  $X_2$  подан высокий потенциал ( $X = 1$ ), то протекает ток  $I_1$ , который открывает транзисторы  $T_2$  и  $T_4$ , и на выходе будет низкий потенциал ( $Y = 0$ ). Если даже на один из входов  $X_x$  или  $X_2$  подан низкий потенциал (т. е. заземлен один из входов), то в этом случае станет протекать ток  $I_2$ , транзисторы  $T_2$  и  $T_4$  будут закрыты, и на выходе образуется высокий потенциал ( $Y = 1$ ).

ТТЛ элементы применяются исключительно в интегральных схемах, имеющих высокую плотность упаковки электрически соединенных элементов и кристаллов, когда стоимость транзисторов невелика, а простота проектируемого устройства — не самое главное требование. Элемент, приведенный на рис. 3.6, ж, является базовым или типовым для ТТЛ и выпускается серийно с различным количеством входов — от двух до восьми.

### 3.5. Реализация логических функций с использованием мультиплексоров

Мультиплексор представляет собой интегральную схему средней степени интеграции для подключения на выход одного из  $N$  источников сообщений в зависимости от комбинации управляющих сигналов. Рассмотрим функциональную схему мультиплексора начетыре входа (рис. 3.7, а).

Комбинация сигналов  $c_1 c_2$  определяет, какой из входов  $x_0, \dots, x_4$  будет подключен на выход. Например, при комбинации управляющих сигналов  $c_1 c_2$  (т. е. 00) на выход подключены  $x_0$ .  $C_1 C_2$  — ^ и т. д. Таким образом, работу мультиплексора можно описать следующим уравнением:

$$y = c^1 c^0 x^0 \vee \bar{c}^1 \bar{c}^0 x^1 \vee c^1 \bar{c}^0 x^2 \vee \bar{c}^1 c^0 x^3 \vee c^1 c^0 x^4 \quad (3.1)$$

Учитывая, что на выход  $y$  одновременно подключен только один вход  $x$ , который имеет всего два состояния 0 или 1, уравнение (3.1) можно представить в следующем виде:

$$y = c^1 c_2^* \vee c_1 c_2^x \vee c_1^c c_2^x \vee C \& x, \quad (3.2)$$

где  $x$  может быть как прямым  $x$  так и инверсным  $\bar{x}$ .

Из уравнения (3.2) видно, что  $y$  зависит только от трех переменных —  $c_1, c_2$  и  $x$ .

Рассмотрим пример. Пусть логическая функция трех переменных задана выражением

$$y = \bar{x}_1 X_2 \vee X_2 X_3 X_4 \quad (3.3)$$

Разрешение -

	$X_1$	$M5$	
■	$X_2$		$Y$
■	$X_3$		
■	$X_4$		
6			ч

Разрешение -

л №

$X_3$   
\* >  
 $X_1$

Схема подключения мультиплексора имеет вид, представленный на рис. 3.7, б. На входы  $c_x c_2$  подаются переменные  $x_x$  и  $x_2$ , в зависимости от их состояния к выходу будет подключаться соответствующее значение  $x_3$ . При наличии на входе комбинации сигналов  $x_x x_2$  или  $x_x x_2$  к выходу подключается  $x_3$ , а при  $x_x x_3$  —  $1$ . Состояние переменных  $x_x x_2$  в данном уравнении не определено, поэтому вход  $x_3$  мультиплексора можно доопределить либо  $0$ , либо  $1$ , удобнее  $0$ , т. е. вход  $x_3$  подсоединить на землю.

Приведенные рассуждения можно распространить и на другие мультиплексоры. Логическая функция четырех переменных легко реализуется на восьмивходовом мультиплексоре, а 32-входовой позволяет реализовать логическую функцию пяти переменных.

Реализуют логические функции на мультиплексорах в тех случаях, если после минимизации логической функции остается сложное выражение. Тогда будет сокращено количество корпусов микросхем, а соответственно упростится монтаж и число паек.

### 3.6. Реализация логических функций с помощью постоянных запоминающих устройств

Постоянные запоминающие устройства (ПЗУ) принадлежат к такому их классу, для которых существует постоянная зависимость между входной информацией (адресом) и выходной (содержимым). Другими словами, ПЗУ имеют определенное количество ячеек памяти, характеризующихся конкретным содержимым и адресом, программируются ПЗУ на стадии изготовления, информация в них не может быть изменена потребителем. В качестве содержимого ячеек применяются двоичные символы  $0$  и  $1$ .

ПЗУ строят, применяя различные принципы (матричные на ферритовых сердечниках, матричные на тонких магнитных пленках, интегральные полупроводниковые). Они отличаются размерами и структурой. Здесь рассматриваются лишь полупроводниковые ПЗУ, в которых с применением современной технологии десятки тысяч ячеек памяти размещаются на кристалле площадью в доли квадратного сантиметра. Такие имеющие небольшие габариты и массу запоминающие устройства благодаря высокой степени интеграции обладают значительной информационной емкостью. Они относятся к классу больших интегральных схем (БИС), характеризуются малым потреблением энергии и невысокой стоимостью. Основные требования к ПЗУ — высокая надежность, энергонезависимость хранения информации и неразрушающее считывание.

Наиболее типичная структура полупроводниковых интегральных ПЗУ представлена на рис. 3.8 ( $x_n, x_n$  — входные шины адреса; ДСА — дешифратор адреса;  $y_1, \dots$  — выходные шины данных).

Комбинация входных сигналов, поступающих на адресные шины ПЗУ, представляет собой код адреса ячеек накопителя. Дешифрует



этот код ДСА. По каждому адресу в матрице записано т-разрядное двоичное слово. В результате анализа комбинации входных сигналов выбирается одно из  $2^n$  таких слов, которое затем через выходной буфер подается на шины данных ПЗУ. Информация на выходе сохраняется до очередной смены адреса.

Матрица-накопитель представляет собой совокупность взаимно перпендикулярных шин, которые при занесении информации связываются между собой в пересечениях, установленных программой записи в ПЗУ. Связывающими элементами шин обычно являются полупроводниковые вентили (биполярные или МОП).

Если на стадии проектирования допущена ошибка, то содержимое ПЗУ не может быть изменено, так как необходимые связи между шинами устанавливаются в процессе их изготовления с использованием фотошаблонов. Этот недостаток устраняется с помощью выпускаемых серийно перепрограммируемых ПЗУ (ППЗУ). В данном случае информация заносится самим потребителем уже после изготовления устройства. Одни ППЗУ программируются выжиганием перемычек или пробоем р/п-переходов (одноразовое программирование), на других информация заносится электрическим путем и может быть стерта ультрафиолетовыми лучами или электрическими сигналами (многократное программирование).

Применение ПЗУ в качестве преобразователей кодов, генераторов символов в устройствах индикации для хранения стандартных программ, констант, таблиц имеет широкие возможности. ПЗУ могут с успехом использоваться при создании автоматических каталогов, словарей, архивов и т. д.

Важная область применения ПЗУ — реализация логических функций. При этом адресом являются конъюнктивные члены уравнений, а содержимым (данные) — те функции, которые необходимо получить (функции управления).

Методы упрощения уравнений при реализации на ПЗУ теряют смысл, так как функции необходимо представить в совершенной дизъюнктивной нормальной форме (СДНФ).

Для иллюстрации приведенных положений рассмотрим пример.

Пусть необходимо реализовать на ПЗУ следующие логические функции:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= \text{ХЛХА} \vee \text{V} \text{х.вдха}; \\
 y_2 &= \text{ХЛВД}, \text{V} \text{ХЛХЛ}; \\
 y_3 &= \text{ХАХЛ} \vee \text{х}_x \text{х}_x \text{х}_A \vee \text{ХЛХЛ}; \\
 y_4 &= \text{V} \text{V} \text{V} \text{х}_x \text{х}_x \text{х}_3.
 \end{aligned}$$

Из уравнений видно, что в образовании конъюнкций участвуют 5 переменных, а конъюнктивные члены образуют 4 функции. Это означает, что для реализации логических функций необходимо ПЗУ на 5 входов и 4 выхода. Таким образом, матрица-накопитель должна содержать  $2^5 \cdot 4 = 128$  ячеек памяти, в каждой из которых нужно записать логический 0 или логическую 1 в соответствии с выражениями (3.4).

Поскольку ПЗУ имеет 5 входов, то адрес должен всегда состоять из пяти двоичных символов. Однако в уравнениях не все конъюнкции представлены пятью переменными.

Переход от трех и четырех переменных к пяти покажем на примере первой логической функции. Для  $X_1X_2X_4X_5$  справедливо  $X_1X_2X_4X_5 = XAX_3X_4X_6 = X_1X_2X_3\bar{A}X_5 \vee XЛВД4X$ .

Для конъюнкции  $X_1X_2X_3$  можно записать

$$\begin{aligned} \mathbf{ВДX} &= \mathbf{x_1x_2x_3x_4x_5} = \mathbf{adx^1x, V xДлад V} \\ &\mathbf{V xДлхД, V ВДХ.ХД.} \end{aligned}$$

Сделав аналогичные преобразования для всех конъюнций о числе переменных меньше пяти, получим:

$$\begin{aligned} Y_1 &= X_1X_2X_3X_4X_5 \vee X_1X_2X_3X_4X_6 \vee X_1X_1X_1X_4X_5 \vee \\ &\vee X_1X_2X_3X_4X_5 \vee x_1x_1x_8x_4x_6 \vee X_1X_2X_3X_4X_5 \vee X_1X_2X_3X_4X_8; \\ Y_2 &= X_1X_2X_3X_4X_5 \vee X_1X_2X_3X_4X_5 \vee XЛВДX, \vee X_1X_2X_3X_4X_5; \\ Y_8 &= X_1X_2X_3X_4X_6 \vee X_1X_2X_3X_4X_5 \vee X_1X_2X_3X_4X_5 \vee X_1X_2X_3X_1X_5 \vee \\ &\vee X_1X_2X_3X_4X_6 \vee X_1X_2X_3X_4X_6 \vee ХДДЗХ.Х, \vee X^{\wedge}.Х.ХД.; \quad (3.5) \\ Y_4 &= ХД_2X_3X_4X_5 \vee X_1X_2X_3X_4X_6 \vee X_1X_2X_3X_4X_5 \vee XxX.X3XA \vee \\ &\vee x_1x_2x_3x_4x_6 \vee x_1x_2x_3x_4x_6 \vee x_1x_0x_3x_4x_6 \vee X_1X_2X_1X_4X_5, \vee \\ &\vee X_1X_2X_3X_4X_5 \vee X_xX_2X_3X_4X_6. \end{aligned}$$

По существу уравнения (3.4) представляют собой минимизированные уравнения (3.5), т. е. упрощение функции пришлось расширить, что подтверждает бессмысленность их минимизации при реализации на ПЗУ.

Пять входных переменных образуют  $2^5 = 32$  различных входных комбинаций, каждая из которых однозначно определяет выходной код ПЗУ.

Будем считать, что  $X_i (Y_j)$  означает высокий уровень сигнала (1) на  $i$ -м входе (выходе) ПЗУ, а  $\bar{X}_i (\bar{Y}_j)$  — низкий уровень (0).

Переведем уравнения в табл. 3.1. Для этого перечислим все 32 комбинации в графе «входы» и затем заполним графу «выходы», используя уравнения (3.5). Например, конъюнкция  $XЛХЗХ4X5$  записана в графе «входы» под номером 5. Обратившись к логическим функциям (3.5), заметим, что конъюнкция входит в состав первого и четвертого уравнения. Следовательно, в пятой строке графы «выходы» следует записать 1001. Строки с конъюнкциями, отсутствующими в логических функциях (3.5), заполняются в графе «выходы» нулями (строки 1, 2, 3, 4 и др.). Полученная таблица, по существу, представляет собой программу записи в ПЗУ. При этом входы следует рассматривать как адрес, а выходы — как содержимое. Иными словами, если по адресам 00000, 00001, 00010, 00011 будет записан код 0000, по адресу 00100 — код 1001 и т. д. до адреса 11111, для которого содержимыми является

\*  $X_1$  — либо прямое  $X^{\wedge}$ , либо инверсное  $\bar{X}_1$ .

№ п/п	Входы (адрес)					Выходы (содержимое)				№ п/п	Входы (адрес)				Выходы (содержимое)			
	X.	X.	X,	x.	A.	y,	y.	y.	y*		A.	X.	V.	г,	y,	y.		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	1	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	18	1	0	0	0	1	0	0	0
3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	19	1	0	0	1	0	0	0	0
4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	20	1	0	0	1	1	0	0	0
5	0	0	1	0	0	1	0	0	1	21	1	0	1	0	0	0	0	0
6	0	0	1	0	1	1	0	0	1	22	1	0	1	0	1	0	0	0
7	0	0	1	1	0	1	0	0	1	23	1	0	1	1	0	0	0	1
8	0	0	1	1	1	1	0	0	1	24	1	0	1	1	1	0	0	1
9	0	1	0	0	0	0	1	1	0	25	1	1	0	0	0	0	1	0
10	0	1	0	0	1	0	0	0	0	26	1	1	0	0	1	1	1	1
11	0	1	0	1	0	0	0	0	0	27	1	1	0	1	0	0	0	0
12	0	1	0	1	1	1	0	0	0	28	1	1	0	1	1	0	0	0
13	0	1	1	0	0	0	0	0	0	29	1	1	1	0	0	0	0	0
14	0	1	1	0	1	0	0	0	0	30	1	1	1	1	1	1	1	0
15	0	1	1	1	0	0	0	0	0	31	1	1	1	1	0	0	1	1
16	0	1	1	1	1	0	0	0	0	32	1	1	1	1	1	0	1	1

комбинация **0011**, то можно сказать, что запрограммированное в соответствии с табл. 3.1 ПЗУ заданные логические функции реализует. Во многих случаях удастся перейти к программе записи в ПЗУ непосредственно от условий задачи\* что значительно упрощает реализацию этих функций.

### 3.7. Реализация логических функций с помощью программируемых логических матриц

При решении большинства задач нет надобности рассматривать все  $2^n$  ( $n$  — число переменных на входе) набора входных переменных, так как обычно (особенно при больших  $n$ ) логическая функция содержит конъюнкций меньше, чем  $2^n$ . Поэтому информационная емкость ПЗУ используется неэффективно. Указанный недостаток можно устранить благодаря применению программируемых логических матриц (ПЛМ), представляющих собой комбинацию из двух ПЗУ, одно из которых реализует конъюнктивные члены, а другое — дизъюнктивные члены любой логической функции (рис. 3.9).

Область применения ПЛМ — преобразователи кодов, форматов команд, запоминающие устройства, переключательные цепи и т. п. — во многом сходна с ПЗУ. Различают ПЛМ программируемые при изготовлении и программируемые пользователем.

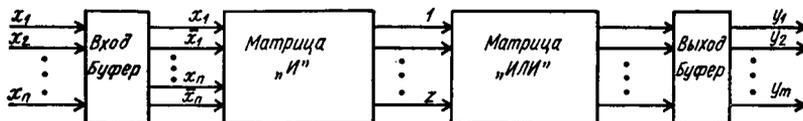


Рис. 8.9. Структурная схема ПЛМ



Функциональная схема ПЛМ, реализующая уравнения (3.4), приведена на рис. 3.10, из которого видно, что для реализации заданных логических функций на ПЛМ понадобилось 98 ячеек, а на ПЗУ — 128. Причем о увеличении числа входных переменных преимущество ПЛМ, заключающееся в более рациональном использовании информационной емкости, увеличивается настолько, что применение ПЗУ для реализации логической функции от числа переменных большего, чем 12, становится нецелесообразным.

На практике БИС ПЗУ и ПЛМ применяются для создания более сложных устройств, чем устройство, рассмотренное выше. Поэтому в ряде случаев информационной емкости одной БИС бывает недостаточно для решения поставленной задачи. Тогда ПЗУ или ПЛМ объединяются в модули для наращивания их суммарной информационной емкости до нужного уровня.

### 3.8. Реализация логических функций с помощью микропроцессоров

Достижения интегральной технологии позволили выработать новый подход к реализации логических функций на основе программируемой логики. Он предполагает использование стандартной универсальной БИС (одной или нескольких), работающих под программным управлением. Эта БИС называется микропроцессором (МП). Прежде чем приступить к исследованию реализации логических функций с использованием МП, необходимо рассмотреть последний с точки зрения выполняемых им функций. Эти функции следующие:

считывание входного слова (набора)  $X$ , (сигналов  $X_x, \dots, X_m$ )<sup>1</sup>

сравнение входного слова  $X_I$  с внутренним состоянием микропроцессора  $A_I$ , т. е. сравнение текущих значений сигналов  $X_x, \dots, X_m$  со значениями  $X_x, X_m$ , находящихся в программе, записанной в памяти по адресу  $A_I$ ;

вывод соответствующего выходного слова  $Y_e$ , когда появляется единица (1) на соответствующих  $Y_x, \dots, Y_n$  в зависимости от результатов сравнения сигналов;

переход внутреннего состояния микропроцессора  $A_I$  в новое  $L^*+1$  (определяется адрес следующей команды);

повторение описанной последовательности операций для нового входного слова  $X^*+1$ .

Если проанализировать процесс управления любым технологическим процессом (объектом), то можно увидеть, что он включает следующие аналогичные операции:

измерение текущих значений технологических параметров, характеризующих состояние технологического процесса (т. е. измерение показаний датчиков  $X\}$ )<sup>1</sup>

сравнение текущих значений  $X_I$  с заданными;

выработка управляющих воздействий на соответствующие исполнительные механизмы в зависимости от результата сравнения;

отработка управляющих воздействий (включение соответствующих

$y$ ,)<sup>1</sup>

повторение измерения текущих значений: и т. д.



Рис. 3.11. Структурная схема устройства управления с использованием микропроцессора

Таким образом, МП — это универсальное устройство управления, закон управления (функционирования) которого хранится в памяти в виде программы. Структурная схема такого устройства управления приведена на рис. 3.11.

Базовое понятие всех ЭВМ и МП — программа. Вместо того чтобы создавать аппаратуру для реализации различных логических функций, изготавливается аппаратура, реализующая некоторые элементарные операции и управляемая программой. Логические функции, как известно, реализуются с помощью микропроцессоров.

Микропроцессор представляет собой сложное устройство управления, которое разработано и реализовано с помощью ПЛМ и других устройств и изменению пользователем не подлежит. Рассмотрим пока только программирование МП.

Программа состоит из последовательности операций или команд, реализующих в совокупности необходимую логическую функцию, хранится в ячейках памяти (ПЗУ).

Программа выбирается из памяти микропроцессором последовательно — команда за командой. В качестве устройства, задающего номер начального адреса программы, применяется программный счетчик, который находится внутри МП.

Обычно в системе команд МП имеются команды, способные изменить состояние программного счетчика непоследовательным образом. Они называются командами условных и безусловных ветвлений программы и зависят от результатов некоторых ранее выполненных сравнений. Кроме того, имеются команды, выполняющие арифметические и логические операции над переменными (представленными в двоичном коде), команды ввода, вывода и пересылки данных. Для реализации логической функции программным способом необходимо каждое логическое действие описать соответствующими командами программы. Например, надо реализовать логическую функцию  $V = X_2 X_2 \vee X_3 X_4$  с использованием МП. Чтобы выполнить эту задачу, вначале составим блок-схему программы, которая строится с использованием вершин двух типов (рис. 3.12, а):

операторной, указывающей на безусловное выполнение каких-либо действий над переменными, имеющей один вход и один выход;

логической, указывающей на выполнение логических условий, установленных внутри вершин, имеющей один вход и два выхода: 1 —

(Начало)

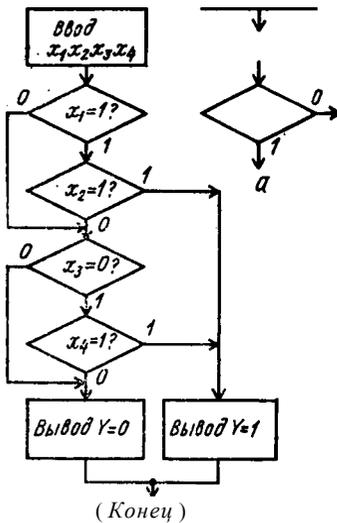


Рис. 3.12. Блок-схема программы реализации логической функции

истинного (единичного) значения в одном из двух случаев: когда  $X_1 = 1$  и  $X_2 = 1$  или  $X_3 = 0$  и  $X_4 = 1$ .

Фактически необходимо проверить две конъюнкции  $X_1X_2$  или  $X_3X_4$ : если хотя бы одна из них равна единице, то МП переходит к операции вывода.

Операция вывода, как правило, включает в себя команды выборки из определенной ячейки заранее записанных туда значений  $Y = 1$  или  $Y = 0$  и команд пересылки этих значений  $Y$  в соответствующее выходное устройство.

Приведенный пример наглядно показывает последовательный характер анализа функции  $Y = / (X_1 X_2, X_3, X_4)$ . Сначала анализируется значение затем  $X_3$  и  $X_4$ .

Однако следует иметь в виду, что применение МП не решает всех задач реализации логических функций, в противном случае не было бы необходимости рассматривать все перечисленные выше методы. Один из основных недостатков МП — их невысокое быстродействие. Другой недостаток — большая стоимость при реализации простых логических функций, однако она непрерывно снижается, значит недостаток этот временный.

В реальных системах используются как традиционные логические схемы для связи отдельных узлов и БИС, когда требуется большое быстродействие, так и программируемые структуры для выполнения сложных логических преобразований.

выполнение логического условия; 0 — невыполнение логического условия.

Линия со стрелкой указывает направление перехода.

Блок-схема программы, реализующая заданную логическую функцию, имеет следующий вид (рис. 3.12, б).

После составления блок-схемы ее обычно переводят на язык той системы команд, которая используется в выбранном МП.

Проанализируем полученную блок-схему и покажем, какие действия должен выполнить МП, чтобы реализовать заданную логическую функцию. Для анализа МП необходимо иметь входные переменные  $X_1, X_2, X_3, X_4$ , поэтому после начала работы в блок-схеме предусмотрена операция ввода переменных  $X_1, X_2, X_3, X_4$ . Эта команда пересылает значения переменных из входного интерфейса во внутреннюю память МП, где они хранятся в течение всего времени анализа.

Далее из блок-схемы программы следует, что  $Y = / (X_1 X_2, X_3, X_4)$  и достигает

значения в одном из двух случаев: когда  $X_1 = 1$  и  $X_2 = 1$  или  $X_3 = 0$  и  $X_4 = 1$ .

Фактически необходимо проверить две конъюнкции  $X_1X_2$  или  $X_3X_4$ : если хотя бы одна из них равна единице, то МП переходит к операции вывода.

Операция вывода, как правило, включает в себя команды выборки из определенной ячейки заранее записанных туда значений  $Y = 1$  или  $Y = 0$  и команд пересылки этих значений  $Y$  в соответствующее выходное устройство.

Приведенный пример наглядно показывает последовательный характер анализа функции  $Y = / (X_1 X_2, X_3, X_4)$ . Сначала анализируется значение затем  $X_3$  и  $X_4$ .

Однако следует иметь в виду, что применение МП не решает всех задач реализации логических функций, в противном случае не было бы необходимости рассматривать все перечисленные выше методы. Один из основных недостатков МП — их невысокое быстродействие. Другой недостаток — большая стоимость при реализации простых логических функций, однако она непрерывно снижается, значит недостаток этот временный.

В реальных системах используются как традиционные логические схемы для связи отдельных узлов и БИС, когда требуется большое быстродействие, так и программируемые структуры для выполнения сложных логических преобразований.

### 3.9. Эквивалентность аппаратной и программной реализации логических функций

Каждый из рассмотренных раньше методов реализации логических функций — метод традиционного логического проектирования с использованием дискретных вентильных схем (И, ИЛИ, НЕ); метод реализации логических функций на схемах средней степени интеграции (например, мультиплексоры) и метод реализации их с использованием БИС, ПЗУ или ПЛИМ — может рассматриваться как инструмент для решения поставленной задачи, имеющий свои достоинства и недостатки.

Степень сложности и вид логических функций, как правило, являются для разработчика решающими факторами в выборе способа их реализации. Небольшие и достаточно простые логические функции удобнее всего реализовать с помощью дискретных вентильных схем. Для реализации же более сложных уравнений предпочтительнее использовать элементы средней степени интеграции (СИС) и БИС. Вывод о целесообразности применения дискретных вентильных схем обычно делается после того, как становится очевидной неэффективность использования схем более высокой степени интеграции. Такой вывод часто можно сделать еще до получения логических уравнений, которые иногда лишь усложняют процесс проектирования. Например, схема управления семисегментным индикатором в зависимости от поступающего на вход двоично-десятичного кода выпускается в виде единой СИС. Применение же традиционных методов логического проектирования для решения этой задачи требует записи логических уравнений, которые могут затруднить понимание и, таким образом, отдалить от цели. Поэтому оценивать реальную возможность применения СИС и БИС в большинстве случаев необходимо еще до получения логических уравнений.

Существует немало стандартных логических функций, для реализации которых выпускаются специализированные СИС и БИС (например, преобразователь двоично-десятичного кода в двоичный, преобразователь двоичного кода в дополнительный код знаков, четырехразрядный полный сумматор, арифметико-логическое устройство и многие другие). Однако часто эти схемы удовлетворяют потребностям разработчика лишь частично. Тогда для решения поставленной задачи наряду с СИС или БИС применяются дискретные вентильные схемы малой степени интеграции.

Характерная особенность большого класса БИС связана с возможностью их перепрограммирования. При необходимости изменения алгоритма устройства, построенного с использованием дискретных вентильных элементов, необходима такая корректировка схемы, которая в большинстве случаев эквивалентна созданию новой схемы устройства на дискретных вентильных элементах, т. е. ее полная переделка.

При программной реализации достаточно лишь произвести перепрограммирование имеющегося устройства без какого-либо изменения аппаратуры. Другими словами, программный подход позволяет изменять одни и те же элементы устройства для реализации сложных логических функций любого вида. Преимущественно используется

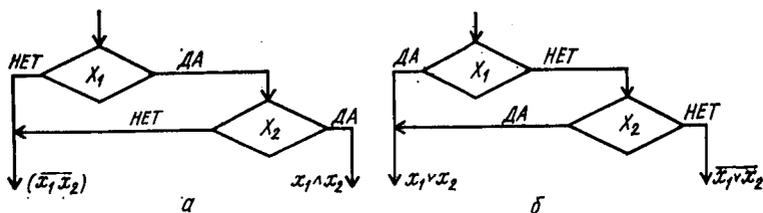


Рис. 3.13. Структурные схемы программ

однокристальный программируемый процессор, который может выполнять любую комбинацию арифметических и логических операций в соответствии с программой его работы.

Логические функции при программном подходе, как правило, представляют в виде структурных схем программ с последующим написанием последовательностей команд. Между логическими булевыми функциями и структурными схемами программ существует взаимно однозначное соответствие. В этом можно убедиться на следующем примере. Допустим, необходимо программно реализовать логические функции И и ИЛИ. Структурные схемы программ, соответствующие указанным функциям, представлены на рис. 3.13.

Как при использовании дискретных аппаратных вентилях, так и их программных эквивалентов можно получить логическую функцию любой сложности. Но логические функции, полученные программно, требуют меньших аппаратных затрат, так как они формируются одними и теми же аппаратными узлами. Однако функции в этом случае формируются последовательно во времени (рис. 3.12), т. е. снижается быстродействие устройств по сравнению с реализацией на аппаратных вентилях, где обе функции можно было бы реализовать одновременно. При реализации сложных логических функций, для которых приемлемо невысокое быстродействие, предпочтение отдается программному подходу.

Таким образом, любое логическое уравнение, реализованное программным путем, может быть преобразовано в эквивалентное, реализуемое аппаратными средствами, и наоборот.

Ни аппаратные средства, ни программное обеспечение не существуют независимо друг от друга, поэтому указанное преобразование не может быть завершено. Всегда должно существовать программы управления аппаратными средствами и аппаратура, при помощи которой реализуются программные алгоритмы.

### 3.10. Триггеры

Т р и г г е р — один из распространенных элементов систем автоматики, использующийся в основном как запоминающий элемент. Схема триггера обладает способностью находиться в одном из двух устойчивых состояний в течение неограниченного времени. Одно состояние называется «единичное» ( $y = 1$ ), другое «нулевое» ( $y = 0$ ).

Триггер может быть выполнен на электромагнитных реле, ферритовых сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса, транзисторах, пневмоэлементах.

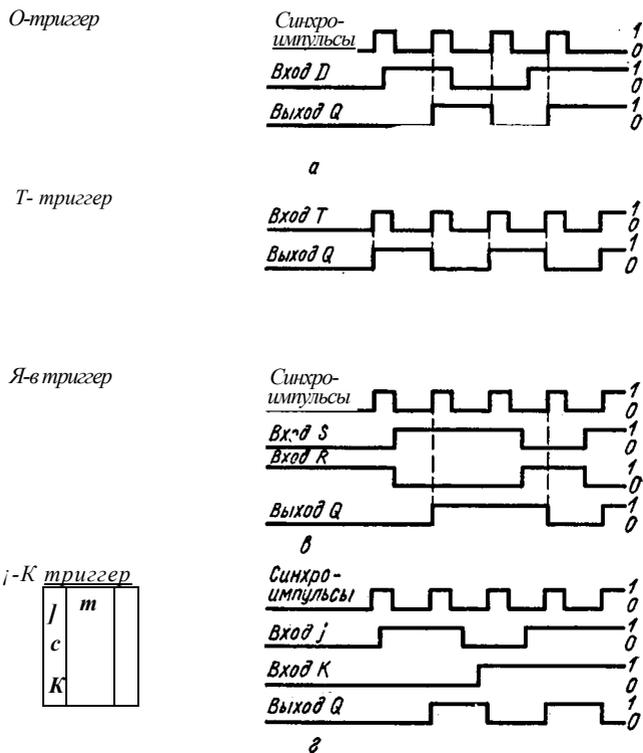


Рис. 3.14. Функциональные схемы и графики временного анализа работы триггеров

В последнее время наиболее широкое распространение получили триггеры в интегральном исполнении по схемам Д-триггера, Г-триггера, **Я** — Я и / — 6-триггера. Условное обозначение и графики временного анализа работы триггеров приведены на рис. 3.14.

Триггер имеет прямой выходной сигнал  $C\}$  и инверсный  $\phi$ , кроме того, имеются информационные входы (**O**, Г, **Я** — S, / — K), при подаче сигналов на которые осуществляется запись 0 или 1. На вход **C** поступают синхроимпульсы. Если в триггере записана 1, то на прямом выходе  $C\}$  установлен высокий уровень напряжения.

Когда на O-входе действует единичный сигнал, тогда синхроимпульс своим передним фронтом устанавливает триггер в единичное состояние. Если на O-входе нулевой сигнал, то триггер устанавливается в состояние (рис. 3.14, а).

Г-триггер имеет всего один вход (рис. 3.14, б), на который подается входной сигнал. Г-триггер переключается всякий раз, когда на его вход подается единичный сигнал. Как видно из рисунка, одно изменение выходной переменной (<2) приходится на каждые два изменения входной величины, т. е. осуществляется пересчет на два, и Г-триггер называется счетным.

**Я** — 5-триггер называется триггером с отдельными входами; (рис. 3.14, в). Если единичный сигнал есть на ^-входе, то синхроим-

пульс переведет триггер в состояние 1. Если же единичный сигнал подать на  $\bar{5}$ -вход, то триггер переводится в состояние 0. Одновременная подача единичных сигналов на  $\#$  и  $\bar{5}$ -входы запрещается.

$\bar{5}$  —  $\bar{5}$ -триггер, так же как и  $\bar{5}$ , имеет два информационных входа —  $\bar{5}$  и  $\bar{5}$  — и один вход, на который подаются синхроимпульсы (рис. 3.14,  $\bar{5}$ ).

В отличие от триггера  $\bar{5}$  —  $\bar{5}$  при единичных сигналах на входах  $\bar{5}$  триггер работает в счетном режиме, т. е. как Т-триггер.

Рассмотренные выше триггеры называются синхронными, поскольку переключаются только при наличии на входе синхроимпульса и управляющего сигнала. Однако они могут быть и асинхронными. В этом случае переключается триггер непосредственно с поступлением управляющих сигналов на информационные входы (Т, —  $\bar{5}$ ,  $\bar{5}$  —  $\bar{5}$ ).

### ***Контрольные вопросы***

1. Чем определяется точность дискретного преобразования сигналов?
2. Какие недостатки у магнитных логических элементов?
3. Почему транзисторно-транзисторная логика (ТТЛ) легла в основу построения интегральных микросхем?
4. Что нужно сделать для реализации на мультиплексоре другой логической функции?
5. В чем отличие ПЗУ от ПЛИМ?
6. Почему минимизация логических функций при реализации на ПЗУ теряет смысл?
7. Укажите достоинства и недостатки реализации логических функций с использованием микропроцессоров.
8. В чем суть эквивалентности аппаратной и программной реализации логических функций?

## Глава 4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

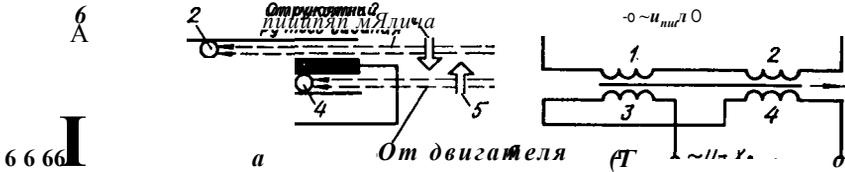
### 4.1. Задающие устройства

Задающие устройства (ЗУ) в системах автоматического управления предназначены для подачи воздействий, пропорциональных требуемому (заданному) значению управляемой величины. ЗУ подает в систему то значение или тот закон изменения управляемой величины, который система должна обеспечить. Ни одна система автоматического управления не может выполнять свои функции без задающего устройства, которое в зависимости от выполняемых задач может быть простым или довольно сложным.

В ряде случаев в качестве задающих устройств используют серийные элементы автоматики общего назначения. К ним относятся различные разновидности релейных устройств (реле времени, электромагнитные, программные) и датчиков (потенциометрические, индуктивные, магнитоупругие, сельсины).

В сложных системах управления применяются специальные задающие устройства. К таким системам принадлежат системы автоматизации добычных и проходческих машин, подъемных, компрессорных, котельных, калориферных установок.

В системах автоматизации компрессорных, котельных и калориферных установок, где используются типовые электронные регуляторы, применяются ЗУ, способные формировать требуемый закон управления.

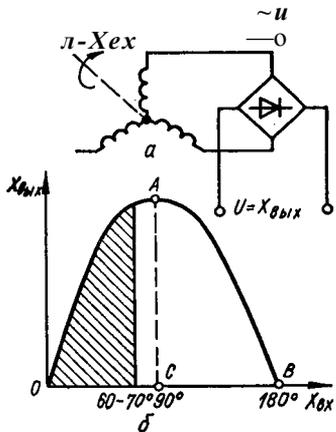


Так, на рис. 4.1, а [3] приведен один из вариантов задающего устройства, которое представляет собой реостат 1, по двум направлениям которого могут независимо друг от друга перемещаться два движка. Каждый из них одновременно касается своей токосъемной шины 6 и 7. Один движок 2 связан с рукояткой и указателем задания 3 таким образом, что его положение относительно спирали реостата / всегда соответствует положению указателя задания. Второй движок 4 перемещается одновременно с движком измерительного реохорда или кулачка прибора, и его положение соответствует положению указателя 5 измеряемой прибором величины. При равенстве управляемой величины заданному значению движка реостата ЗУ указатели задания и управляемой величины соответственно находятся один против другого. При изменении управляемой величины перемещается указатель 5 и связанный с ним движок реостата 4. Вследствие этого на вход системы управления поступает сигнал разбаланса, пропорциональный отклонению управляемой величины от заданного значения.

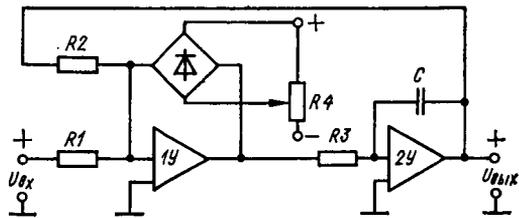
В качестве ЗУ применяются также индуктивные преобразователи. Наиболее распространенным видом такого преобразователя является длинная катушка с первичной и вторичной секционированными обмотками (рис. 4.1, б). Внутри катушки перемещается сердечник из магнетомягкого материала. Секции 1 и 2 первичной обмотки, к которой подводится напряжение питания  $u_{ин}$ , включены последовательно. Секции 3 и 4 вторичной обмотки соединены также последовательно, но встречно, т. е. наводимые в них э.д.с. вычитаются. При расположении сердечника в среднем положении взаимной индукции секций 1—2 и 3—4 равны между собой, и напряжение, снижаемое со вторичной обмотки  $u$  — \*вых, равно нулю. При отклонении сердечника от нейтрального положения возникает разница во взаимодействиях первичных и вторичных секций, и на выходе появляется напряжение, величина которого зависит от положения сердечника.

В системах автоматического управления добычными и проходческими комбайнами, а также подъемными установками требуемое значение управляемой величины необходимо изменять по заданному закону. Для этой цели применяют индуктивные и трансформаторные устройства (для сельсины) и специальные электронные схемы. Функциональная зависимость изменения заданного значения управляемой величины в индуктивных и трансформаторных устройствах устанавливается на основе выбора формы магнитопровода или применения механической передачи (например, кулачкового механизма).

При автоматизации шахтных подъемных установок широкое применение получили ЗУ на сельсинах (рис. 4.2, а). С изменением угла  $\alpha$



*a* — на сельсине; *б* — изменение напряжения на обмотках сельсина; *в* — задатчик интенсивности



поворота вала ротора сельсина между лучами его трехлучевой обмотки напряжение изменяется по закону синусоиды (рис. 4.2, б). Так как синусоида симметрична относительно оси *АС*, то для исключения ложных команд используют только часть синусоиды, ограничив рабочий угол поворота ротора сельсина до 65—70°. В данном диапазоне углов закон изменения выходной величины ЗУ близок к линейному. В описанном ЗУ необходимый закон изменения управляемой величины формируется в зависимости от пути, проходимого подъемными сосудами, или, что то же, в зависимости от угла поворота вала подъемной машины. С валом подъемной машины посредством редуктора связан ретардирующий диск с профилем (кулачком специальной формы). Форма профиля рассчитывается на основе заданного закона изменения управляемой величины.

В последнее время для формирования задания в системах автоматического управления шахтными подъемными установками применяются ЗУ, в которых заданное значение управляемой величины линейно изменяется в зависимости от времени. Такие ЗУ получили название задатчиков интенсивности. Один из вариантов задатчика интенсивности, применяемый в унифицированной блочной системе регуляторов (УБСР), приведен на рис. 4.2, в. Он состоит из двух операционных усилителей: первый из них 1У— пропорциональный, второй 2У— интегральный. С выхода усилителя 2У осуществляется обратная связь на вход 1У. Для ограничения напряжения выхода предусмотрена мостовая схема. При подаче напряжения на вход пропорционального усилителя последний дает на своем выходе напряжение, определяемое установкой ограничения. Это напряжение поступает на вход интегрального усилителя, на выходе которого напряжение изменяется линейно. Когда величина этого напряжения достигает значения напряжения на входе 1У, напряжение на выходе 1У исчезает, и процесс интегрирования прекращается.

При автоматизации производственных процессов в горной промышленности широкое применение нашли как разомкнутые, так и замкнутые системы автоматического управления. Замкнутые системы сложнее и дороже разомкнутых. Поэтому они применяются при автоматизации таких установок, в которых требуется точное поддержание управляемой величины на заданном уровне или ее воспроизведение по заданному закону. В горной промышленности такие системы применяются при автоматизации добычных и проходческих машин, подъемных, калориферных, котельных и других установок.

В замкнутых системах необходимо сравнивать действительное и заданное значения управляемой величины. Кроме того, в таких системах часто для улучшения качества автоматического управления применяются корректирующие устройства. Сигналы на выходе корректирующих устройств необходимо алгебраически суммировать с основными сигналами управления. Для этих целей применяются различные способы и схемы сравнения.

При автоматизации в горной промышленности довольно широко применяются электрические способы последовательного и параллельного сравнения напряжений, пропорциональных действительному и заданному значениям управляемой величины.

На рис. 4.3, а приведена схема последовательного сравнения двух напряжений. Величина их разности определяется соотношением [14]

$$U = \frac{U_3}{z_3} - \frac{U_4}{z_4} \quad (4.1)$$

где  $U_3, U_4$  — напряжения, пропорциональные соответственно заданному и действительному значениям управляемой величины, В;  $z_3, \dots, z_4$  — сопротивления, Ом;  $z_3 = z_3$ ;  $z_4 = z_3 + z_4$ ;  $z_5 = z_2 + z_4$ .

При параллельном способе сравнения напряжений (рис. 4.3, б), который иногда называют способом суммирования токов, разность между  $U_3$  и  $U_4$  выражается формулой [14]

$$\Delta U = \frac{U_3}{R_1} - \frac{U_4}{R_2} \quad (4.2)$$

Как при последовательном, так и при параллельном способе сравнения на выходе получается сигнал, соответствующий разности входных сигналов. Однако для реальных систем небезразлично, какой из способов сравнения выбрать. Это зависит от мощности источников сигналов  $U_3$  и  $U_4$ , от типа и параметров применяемого в системе

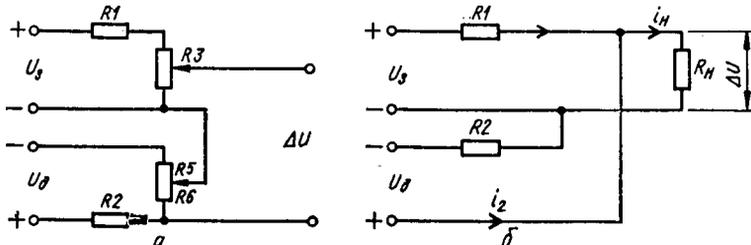


Рис. 4.3. Сравнение напряжений:  
а — последовательное; б — параллельное

Рис. 4.4. Схемы устройств сравнения:

*a* — параллельного; *б* — последовательного; *в* — параллельного на сумматоре

усилителя, на который поступает сигнал  $BI$ , от количества сравниваемых сигналов и др.

В стандартных системах автоматизации шахтных установок применяются оба рассмотренные выше способа, которые считаются практически равноценными. Выбор их для конкретной системы производится путем сравнения вариантов. При этом учитываются мощности источников сигналов  $I/3$  и  $II_d$ , тип и параметры применяемого усилителя, на вход которого поступает сигнал  $AI$ , количество сравниваемых сигналов и другие факторы.

На рис. 4.4. изображены две из применяемых схем сравнения при автоматизации добычных и проходческих машин [1]. В схеме на рис. 4.4, *a* применен способ параллельного сравнения напряжений, в схеме на рис. 4.4, *б* — последовательного сравнения. Первая обладает высокой чувствительностью, но требует применения мощных диодов, так как через них постоянно протекает большой ток; вторая менее чувствительна, однако более проста в настройке.

При автоматизации котельных и калориферных установок, а также в некоторых схемах автоматизации подъемных установок применяется способ параллельного сравнения сигналов на входе электронного усилителя, являющегося составной частью стандартного регулятора (рис. 4.4, *в*). Данная схема позволяет достаточно просто производить подстройку сравниваемых сигналов изменением величины входных резисторов  $z_{12}$ ,  $z_2$ ,  $z_3$  и сравнивать несколько сигналов. Напряжение на выходе усилителя равно алгебраической сумме сравниваемых напряжений:

$$\Delta U = \sum_{i=1}^n \frac{r_0}{r_i} U_i,$$

где  $u_i$  — сравниваемые сигналы ( $II_d$ ,  $I'_3$ ,  $\xi/k$ ), В;  $II_k$  — сигнал корректирующего устройства, В;  $n$  — количество сравниваемых сигналов;  $r_0$  — величина сопротивления обратной связи усилителя, Ом.

Рассмотренные способы сравнения являются электрическими, когда сигналы напряжения сравниваются непосредственно. На практике, особенно при автоматизации подъемных установок, широко применяются электромашинные и магнитные усилители, которые имеют несколько обмоток управления. Это дает возможность на каждую из обмоток управления подавать один сравниваемый сигнал напряжения. В усилителе также сравниваются магнитные потоки, создаваемые обмотками управления при подаче на них сравниваемых сигналов. Таким образом можно сравнить до 6 сигналов. Указанный способ получил

название способа магнитного сравнения. Следует учитывать, что инерционность электромашинного и магнитного усилителей возрастает с увеличением количества используемых обмоток управления. При этом снижается быстродействие системы автоматического управления, что необходимо учитывать при построении каждой конкретной системы.

Один из возможных вариантов сравнения сигналов с использованием магнитного усилителя приведен в главе 8, на рис. 8.8. Здесь разность сигналов, пропорциональных заданному и действительному значениям величины, при помощи схемы сравнения напряжений подается на обмотку управления ОУ2. На обмотку управления ОУ1 подается сигнал от действия корректирующего устройства.

### 4.3. Усилители

В зависимости от применяемой энергии различают усилители механические, гидравлические, пневматические и электрические. По принципу действия механические усилители наиболее просты и служат для преобразования механического перемещения малого усилия (входного сигнала) в механическое перемещение большего усилия (выходного сигнала). В качестве таких усилителей могут служить различные рычажные, винтовые, клиновые, кулачковые механизмы, редукторы, фрикционные вариаторы и др.

В динамическом отношении механические усилители описываются передаточной функцией усилительного звена. Если при исследовании системы управления инерционностью механического усилителя пренебречь нельзя, то ее влияние обычно компенсируют изменением параметров другого звена. Например, момент инерции редуктора приводится к валу двигателя, и электромеханическая постоянная последнего соответственно увеличивается. Сам же редуктор рассматривают как усилительное звено.

Принцип действия гидравлических и пневматических усилителей аналогичен, а отличие их заключается в природе рабочего тела: в гидравлических — используются жидкости (различные масла или масляные эмульсии), а в пневматических — сжатый воздух или газ. В дальнейшем, когда речь идет о принципе работы гидравлических усилителей, следует понимать, что пневматические усилители работают аналогично.

§

Гидравлическими усилителями называют устройства, обеспечивающие однонаправленное прохождение сигнала от маломощного управляющего элемента к выходному гидравлическому исполнительному механизму большой мощности.

Применяются два типа гидравлических усилителей: с дроссельным и струйным управлением. По методу управления различают гидравлические усилители с обратной связью и без нее.

Гидравлический усилитель состоит из двух основных элементов: управляющего и исполнительного. Управляющий элемент представляет собой дроссель переменного сечения, выполненный в виде золотника, сопла с заслонкой или струйной трубки. Исполнительным элементом чаще всего является цилиндр с поршнем.

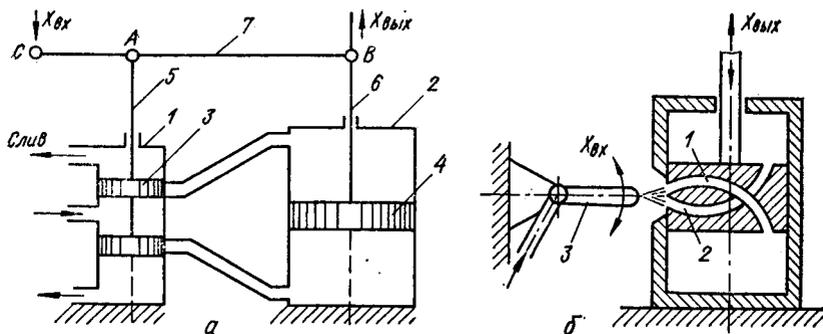


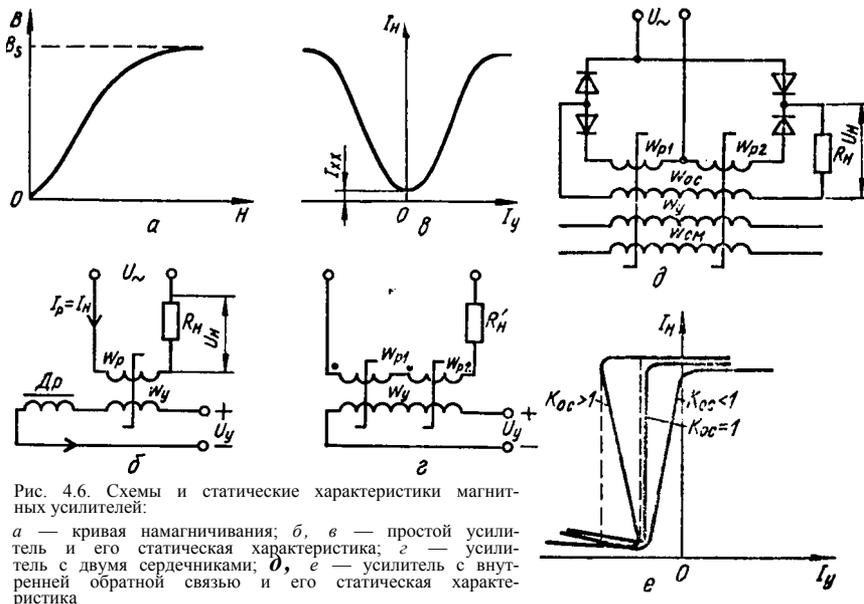
Рис. 4.5. Схемы гидравлических усилителей:  
*а* — золотниковые; *б* — со струйной трубкой

На рис. 4.5, *а* приведена схема гидравлического усилителя с золотниковым управляющим элементом. Золотник *1* под воздействием входного сигнала  $X_m$  открывает доступ жидкости в верхнюю или нижнюю полость цилиндра *2*. Под действием силы, создаваемой давлением рабочего тела, поршень *4* перемещается. На штоке *6* появится сигнал  $X_{вых}$  в виде перемещения большого усилия. Рычаг *7*, соединяющий штоки золотника и исполнительного элемента шарнирно, обеспечивает жесткую отрицательную обратную связь. Если рычаг *7* убрать, то поршень *6* исполнительного элемента гидроусилителя будет перемещаться до тех пор, пока существует доступ жидкости в одну из полостей цилиндра *2*.

Рассмотрим работу гидроусилителя при наличии рычага *7*. Допустим, что выходной сигнал  $X_{вых}$  направлен вниз, тогда поршень *3* золотника *1*, перемещаясь вниз, соединит нижнюю полость цилиндра *2* с напорной магистралью, а верхнюю со сливом. Поршень *4* под действием силы, возникающей за счет разности давлений в полостях цилиндра *2*, будет двигаться вверх, рычаг *7*, поворачиваясь вокруг точки *С*, начнет перемещать вверх поршень *3* золотника *1* до тех пор, пока не перекроет доступ жидкости в полость цилиндра *2*.

Рассмотрим принцип действия гидравлического усилителя со струйной трубкой (рис. 4.5, *б*). В этом усилителе приемные окна *1* и *2* находятся в самом поршне. Струйная трубка *3* закреплена на шарнире так, что сила реакции струи жидкости направлена по оси вращения трубки и для поворота последней не требуется больших усилий. Если трубка *3* расположена точно посередине между приемными окнами *1* и *2*, то в обеих полостях силового цилиндра давление одинаково. При отклонении трубки, например, вверх увеличивается давление в нижней полости цилиндра, а в верхней уменьшается. Поршень начнет перемещаться вверх вслед за струйной трубкой, пока кромка, разделяющая входы в окна, не совместится с новым положением оси трубки.

Динамика рассмотренных усилителей описывается дифференциальными уравнениями второго порядка. Учитывая, что гидравлические и пневматические усилители имеют очень малые значения постоянных времени по сравнению с инерционностью объектов управления, в большинстве случаев можно принять, что усилители описываются переда-



точной функцией усилительного звена. Достоинства гидравлических и пневматических усилителей — взрывобезопасность конструкции, надежность и малая инерционность.

Принцип действия магнитного усилителя основан на использовании явления насыщения ферромагнитных элементов в магнитном поле, т. е. нелинейности их характеристик намагничивания  $B = f(H)$  (рис. 4.6, а).

Простейший магнитный усилитель (МУ) (рис. 4.6, б) состоит из ферромагнитного сердечника и двух обмоток — рабочей и управляющей  $УР_y$ . Рабочая обмотка включена последовательно с нагрузкой  $I_H$  на напряжение переменного тока  $\xi/$  На управляющую обмотку и последовательно с ней включенный дроссель  $ДР$  подается управляющее напряжение постоянного тока  $I_y$  (входное напряжение). Выходной параметр — напряжение на нагрузке или ток, протекающий в рабочей цепи  $I_H = I_p$ :

$$I_H = \frac{u}{\sqrt{Y^2 + (CO/\rho_p)^2}} \quad (* \blacksquare 4)$$

где  $u \sim$  — напряжение питания МУ;  $Y^2 = Y_H^2 + \rho_p^2$  — полное активное сопротивление рабочей цепи, состоящее из сопротивления нагрузки  $Y_H$  и активного сопротивления рабочей обмотки  $\rho_p$ ;  $CO$  — круговая частота питающего напряжения;  $B_p$  — индуктивность рабочей обмотки, определяемая по формуле:

$$M'C \gg \quad (4.5)$$

где  $N_p$  — число витков рабочей обмотки;  $S_c$  — площадь поперечного сечения ферромагнитного сердечника;  $l_c$  — длина средней магнитной линии сердечника;  $\mu_0$  — магнитная проницаемость сердечника.

Как видно из формулы (4.4), ток в рабочей цепи зависит от индуктивности рабочей обмотки  $L_p$ , которая согласно формуле (4.5) пропорциональна  $i_{д.с.}$ . В свою очередь, магнитная проницаемость  $\mu_0$  зависит от магнитной индукции  $B$  и напряженности  $J$  внешнего магнитного поля ( $i_{л_0} = ДВ/ДЯ$ ). При отсутствии управляющего напряжения на входе МУ напряженность постоянного магнитного поля равна нулю ( $J = 0$ ). В данном случае магнитная проницаемость имеет большое значение. Следовательно, индуктивность  $L_p$  и индуктивное сопротивление рабочей обмотки велики. Поэтому ток в рабочей цепи в соответствии с (4.4) будет минимальным, его называют током холостого хода  $i_{х.х.}$ . Большая часть переменного напряжения  $u \sim$  падает на рабочей обмотке  $\mathcal{C}7_p$ , а незначительная часть — на нагрузке  $i_{н.}$ . При подаче на вход усилителя управляющего напряжения  $\theta_y$  по цепи управления потечет ток управления  $i_y$ , который создаст напряженность постоянного магнитного поля  $J$ . В результате этого уменьшится магнитная проницаемость  $|\mu_c$ , а следовательно, и индуктивное сопротивление рабочей обмотки  $X_p$ . Ток в рабочей цепи увеличится, а значит, увеличится и напряжение на нагрузке  $u_n$ . Изменяя величину тока управления  $i_y$ , можно регулировать величину тока в рабочей цепи. Статическая характеристика простейшего МУ представлена на рис. 4.6, в.

Основной недостаток рассмотренного МУ заключается в том, что 8 пЛмптк\* управления  $W_y$  наводится переменная э. д. с., которая отрицательно влияет на источник входного сигнала. Чтобы уменьшить действие этой э. д. с., последовательно с обмоткой управления подключают дроссель  $D_p$ , что, в свою очередь, увеличивает габариты. Лучший способ устранения влияния рабочей обмотки на управляющую — применение двух ферромагнитных сердечников. Схема МУ на двух сердечниках показана на рис. 4.6, г. Рабочая обмотка состоит из двух обмоток — и  $\mathcal{C}7_p2$  с одинаковым количеством витков. Рабочие обмотки  $\mathcal{C}7_p1$  и  $\mathcal{N}_p2$  включаются последовательно-встречно, поэтому э. д. с., наводимые этими обмотками в обмотке управления, будут равны по величине и встречно направлены.

Статическая характеристика такого усилителя отражена на рис. 4.6, в. Коэффициент усиления по току  $A_T$  данного усилителя мал и определяется по формуле

$$K = A_i / A_y = i_y / I_{7p}. \quad (4.6)$$

Коэффициент усиления по напряжению можно определить по формуле

$$K_u = \frac{A_i \cdot Y_n \cdot J_n \cdot D_n}{i_{н.} \cdot A_{л.} \cdot P_{л.} \cdot A_{л.} \cdot P_{л.}} = \frac{I_n \cdot K_n}{I} \quad (4.7)$$

Коэффициент усиления по мощности

$$K_P = \frac{\Delta P_n - \Delta P_{л.}}{P} = \frac{\Delta P_n}{P} = \frac{I_n \cdot U_n}{I_y \cdot U_y} = K \cdot K_u \quad (4.8)$$

Для увеличения коэффициента усиления в МУ применяют положительную обратную связь, которая бывает внутренней и внешней. Внутренняя обратная связь выполняется с помощью диодов

(рис. 4.6, *д*) так, что каждую рабочую обмотку обтекает только однополупериодный ток, и за счет этого сердечник входит в насыщение, а ток нагрузки становится максимальным, если даже ток управления равен нулю (рис. 4.6, *е*). Внешняя обратная связь выполняется путем подключения дополнительной обмотки  $I_{\theta 0,0}$  (рис. 4.6, *д*) последовательно или параллельно с нагрузкой.

Коэффициент усиления усилителя с обратной связью можно определить по формуле

$$K' = K / (1 - K_{oc}), \quad (4.9)$$

где  $K$  — коэффициент усиления по току усилителя без обратной связи;  $K_{oc}$  — коэффициент обратной связи.

Коэффициент обратной связи для усилителя с внутренней обратной связью близок к единице, а для усилителя с внешней обратной связью, выполненной последовательно с нагрузкой и рабочей обмоткой, равен отношению  $I_{\theta 0,0} / I_{\theta}$ . Анализируя формулу (4.9), можно сделать вывод, что если  $K_{oc} < 1$ , то статическая характеристика МУ будет иметь наклон вправо (рис. 4.6, *е*), при  $K_{oc} = 1$  она приобретает вид вертикальной линии, при  $K_{oc} > 1$  наклоняется влево и ток нагрузки изменяется скачкообразно, т. е. усилитель имеет релейную характеристику.

Коэффициенты усиления по мощности и по напряжению для усилителей с обратной связью можно определить по формулам

$$K'_{p} = K_{p} / (1 - K_{oc})^2; K'_{u} = K_{u} / (1 - K_{oc}), \quad (4.10)$$

где  $K_p$ ,  $K_u$  — коэффициенты усиления по мощности и по напряжению усилителя без обратной связи.

В динамическом отношении магнитный усилитель описывается передаточной функцией апериодического звена

$$K(p) = X_e / (T p + 1), \quad (4.11)$$

где  $X_e$ ,  $X_{вх}$  — мгновенные значения выходной и входной величин;  $K$  — коэффициент усиления усилителя (определяется по формулам (4.13) — (4.8));  $T$  — постоянная времени усилителя;

$$T = 1 / \omega_{\theta} \sqrt{L_{\theta} / R_{\theta}}, \quad (4.12)$$

где  $L_{\theta}$  — индуктивность обмотки управления;  $\omega_{\theta}$  — частота напряжения питания.

Для усилителя с обратной связью постоянная времени определяется по формуле

$$T = \frac{T}{1 - K_{oc}} \quad (4.13)$$

Кроме рассмотренных нереверсивных МУ в системах автоматики используются также реверсивные МУ. В реверсивных усилителях при изменении полярности входного сигнала изменяется полярность или фаза выходного. При этом фаза изменяется на  $180^\circ$ . Данное свойство широко используется при реверсировании однофазных двигателей,

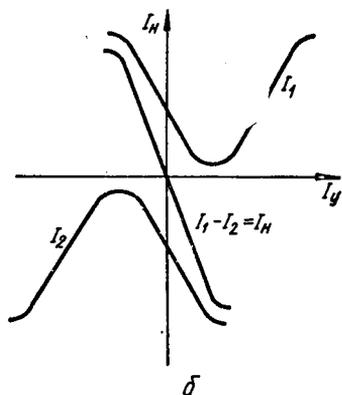
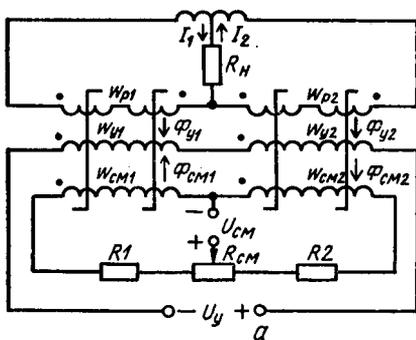


Рис. 4.7. Двухтактный магнитный усилитель:  
 а — схема; б — статическая характеристика

подключенных на выход МУ. Реверсивный МУ получают из двух нереверсивных, включенных на общую нагрузку так, чтобы их выходные токи были направлены встречно.

На рис. 4.7, а представлена схема реверсивного магнитного усилителя, рабочие обмотки которого включены через дифференциальный трансформатор на напряжение питания  $u \sim$ . Как видно из схемы, рабочие обмотки №<sub>р</sub>1 первого усилителя и ЦР<sub>р</sub>2 второго соединены последовательно-встречно, чтобы исключить влияние рабочих обмоток на обмотку управления. Обмотки управления и смещения наматывают так, чтобы создаваемые ими магнитные потоки в одном усилителе складывались, а в другом вычитались. При увеличении тока управления сердечники одного усилителя будут подмагничиваться, а другого размгничиваться, и через нагрузку станет протекать ток, равный разности токов одного и другого усилителей (рис. 4.7, б). Без применения смещения такой реверсивный усилитель (рис. 4.7, а) работать не может, так как при увеличении тока управления токи  $I_2$  и  $I_1$  начнут возрастать, но их разность будет равна нулю. Применение в схеме регулируемого резистора  $R_{\text{ом}}$  позволяет обеспечить прохождение характеристики через начало координат.

В реверсивных усилителях также применяется обратная положительная связь—внутренняя и внешняя. В динамическом отношении реверсивный усилитель описывается передаточной функцией аperiодического звена.

Рассмотренные МУ имеют следующие достоинства: высокая надежность и долговечность, отсутствие подвижных частей, широкий диапазон мощностей, постоянная готовность к работе, возможность суммирования нескольких сигналов. Основной недостаток МУ — их инерционность.

Электромашинный усилитель (ЭМУ) представляет собой генератор постоянного тока. Якорь ЭМУ вращается с постоянной скоростью при помощи электрического двигателя (обычно асинхронного короткозамкнутого). Управление напряжением на выходе осуществляется изменением напряжения на обмотке возбуждения.

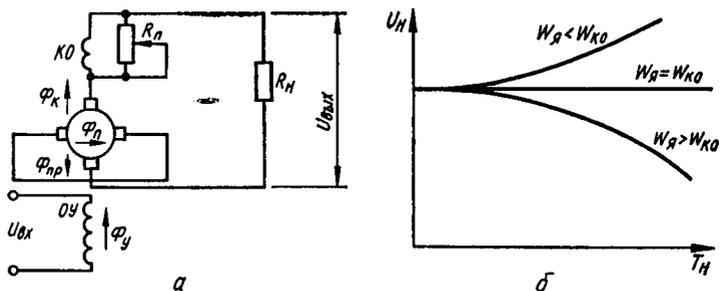


Рис. 4.8. Электромашинный усилитель с поперечным полем:  
 а — схема; б — характеристики

В ЭМУ с поперечным полем (рис. 4.8, а) под действием входного напряжения  $I_{вх}$ , подаваемого на обмотку управления ОУ, создается небольшой продольный магнитный поток управления  $\Phi_y$ , благодаря чему во вращающемся якоре наводится э. д. с. В точках якоря, где эта э. д. с. максимальна, установлены накоротко замкнутые дополнительные щетки. Благодаря малому сопротивлению замкнутого контура при малой э. д. с. возникает значительный ток, создающий поперечный магнитный поток реакции якоря  $\Phi_{пр}$ . Вращение якоря в этом поле сопровождается наведением выходной э. д. с. ( $u_{шy}$ ), которая снимается другой парой щеток, расположенных перпендикулярно к замкнутым. Ток в цепи нагрузки создает продольный магнитный поток реакции якоря  $\Phi_{пр}$ , направленный навстречу магнитному потоку управляющей обмотки, что приводит к резкому ослаблению последнего и снижению коэффициента усиления. Для уменьшения потока  $\Phi_{пр}$  последовательно с выходной цепью включают компенсационную обмотку КО. Магнитный поток компенсации  $\Phi_k$  направлен навстречу продольному потоку реакции якоря. При  $\Phi_k = \Phi_{пр}$  величина выходного напряжения не будет зависеть от сопротивления нагрузки. Для регулировки степени компенсации компенсационную обмотку шунтируют регулируемым резистором  $\#_{п}$ .

Первая ступень усиления ЭМУ с поперечным полем — обмотка управления ОУ и короткозамкнутые витки, второй ступенью служат те же короткозамкнутые витки и выходная цепь якоря.

Коэффициент усиления по мощности ЭМУ с поперечным полем составляет от  $1 \cdot 10^3$  до  $1 \cdot 10^6$ , выходная мощность от 30 до 100 кВт.

К электрическим относятся усилители на полупроводниковых транзисторах и тиристорах. В полупроводниковых усилителях транзисторы включаются по трем схемам: с общей базой (рис. 4.9, а), с общим эмиттером (рис. 4.9, б) и с общим коллектором (рис. 4.9, в).

Усилители с общим эмиттером (рис. 4.9, б) получили наибольшее практическое применение благодаря высоким коэффициентам усиления по мощности и по току и сравнительно большому входному сопротивлению.

Обычно усилители состоят из нескольких транзисторов, т. е. из нескольких каскадов. Рассмотрим, как будет работать усилитель на двух транзисторах (рис. 4.9, з). Так как в данной схеме применены транзисторы  $p-n-p$  перехода, при подаче на переход транзистора

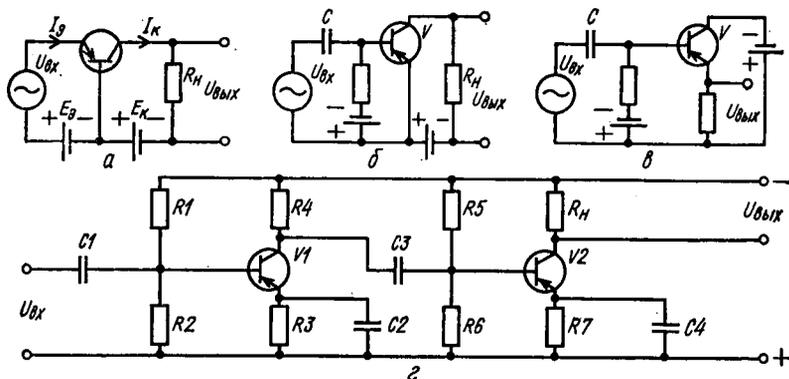


Рис. 4.9. Схемы транзисторных усилителей:

*a* — с общей базой; *б* — с общим эмиттером; *в* — с общим коллектором; *г* — двух-каскадный усилитель

эмиттер — база сигнала положительной полярности (т. е. когда потенциал на базе по отношению к эмиттеру положительный) транзистор закрывается, и наоборот, при подаче на вход транзистора входного сигнала отрицательной полярности он открывается.

Допустим, входной сигнал  $U_{вх}$  имеет синусоидальную форму. При положительной полуволне входного сигнала на входе транзистор закрывается, увеличивается падение напряжения на транзисторе  $U_{12}$ , конденсатор  $C_3$  начинает заряжаться по цепи резистор  $R_6$ , конденсатор  $C_3$ , резистор  $R_4$ . Падение напряжения на резисторе  $R_6$  отрицательным потенциалом открывает транзистор  $Y_2$ , в результате чего увеличивается падение напряжения на сопротивлении нагрузки. При отрицательной полуволне входного сигнала транзистор  $Y_1$  открывается, а  $Y_2$  закрывается и падение напряжения на сопротивлении нагрузки  $R_н$  уменьшается.

Транзисторные усилители надежны в работе, срок службы их составляет несколько десятков тысяч часов, они отличаются малыми габаритами и массой, постоянно готовы к работе. В динамическом отношении полупроводниковые усилители рассматриваются как усилительные (пропорциональные) звенья.

Тиристорные усилители работают на постоянном или переменном токе. Наибольшее распространение получили усилители с питанием от переменного тока, отличающиеся упрощением управления тиристорами при их выключении (с окончанием положительного полупериода тиристор автоматически выключается).

Управляют тиристорами при их включении с помощью специальных схем, обеспечивающих синхронизацию включающих импульсов по полупериодам и фазам. В таких схемах используются магнитные усилители, хорошо согласующиеся с тиристорными.

#### 4.4. Исполнительные элементы

Исполнительные элементы применяются в системах автоматического контроля и системах автоматического управления. В системах автоматического контроля они служат для сигнализации, индика-

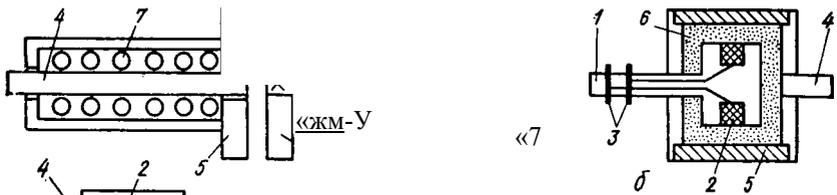


Рис. 4.10. Электромагнитная муфта;  
*a* — фрикционная; *б* — порошковая; *в* — асинхронная

ции и защиты (сирены, сигнальные лампы и стрелочные измерительные приборы, отключающие устройства защиты). В системах автоматического управления исполнительные элементы применяются с целью изменения управляющего воздействия в соответствии с сигналом задания, поступающим от устройства управления, т. е. исполнительный элемент служит для преобразования управляющего сигнала в перемещение рабочего органа. В качестве исполнительных элементов в системах автоматического управления применяются различные муфты, электромагниты, электродвигатели, реле, механизмы с вращательным и поступательным движением, регулируемые реостаты, трансформаторы и др.

Для обеспечения необходимого качества работы систем автоматического управления и контроля исполнительным элементам нужно перемещать рабочий орган с возможно меньшим искажением требуемого закона управления. Поэтому они должны обладать высокими чувствительностью, быстродействием и точностью. Кроме того, важно обеспечить исполнительным элементом закон управления.

Исполнительные элементы классифицируются по виду потребляемой энергии и характеру перемещения рабочего органа. По виду потребляемой энергии различают электрические, гидравлические и пневматические исполнительные элементы, по характеру перемещения — прямоходные, поворотные и многооборотные. Гидравлические и пневматические элементы бывают поршневые, мембранные, сильфонные и лопастные, электрические — электромагнитные и электромашинные [19].

Электрические исполнительные элементы выполняются с применением электромагнитов (соленоидов), электромагнитных муфт и электродвигателей.

Электромагнит по принципу действия практически ничем не отличается от электромагнитного реле. Конструктивно он более массивный и не имеет контактной системы, а приводит в движение рабочий орган при помощи якоря.

Электромагнитные муфты бывают фрикционные, порошковые и скольжения. **Фрикционная муфта** (рис. 4.10, *a*) выполнена в виде двух полумуфт *5* и *6*, расположенных соответственно на ведомом *4* и ведущем *1* валах. В полумуфте на ведущем валу находится обмотка возбуждения *2*, вращающаяся вместе с валом. Питание к обмотке подается через контактные кольца *3*. Полумуфта *5* может скользить вдоль ведомого вала, но не проворачивается относительно него. При подаче питания в обмотку возбуждения полумуфта

5 притягивается и прижимается к полумуфте 6. Ведомый вал начинает вращаться. При отключении питания под действием пружины 7 полумуфта 5 отходит от полумуфты 6.

**Порошковая электромагнитная муфта** позволяет плавно передавать момент вращения с ведущего вала на ведомый, плавно регулировать скорость вращения. Схема такой муфты приведена на рис. 4.10, б. На ведомом валу 1 укреплен электромагнит 2, получающий питание через контактные кольца 3. На ведущем валу 4 укреплен полый цилиндр. Пространство 6 между электромагнитом и полым цилиндром наполнено ферромагнитным порошком, который смешан с маслом или графитом. При подаче напряжения на обмотку электромагнита ферромагнитная масса начинает намагничиваться и между ней и полым цилиндром возникает сила сцепления. Величина этой силы и передаваемый на ведомый вал момент зависят от тока электромагнита.

**В электромагнитной муфте скольжения (асинхронных муфтах)** (рис. 4.10, в) передача вращения от ведущего вала к ведомому осуществляется благодаря магнитному полю, которое создается расположенной на ведущем валу 1 обмоткой 2. При вращении ведущего вала (а вместе с ним и обмотки) в корпусе ведомой полумуфты 3 наводятся э. д. с. и ток. Благодаря взаимодействию этого тока с магнитным полем, создаваемым обмоткой, возникает вращающий момент, увлекающий ведомую полу муфту 3 вслед за ведущей 4.

Динамические свойства рассмотренных электромагнитных муфт определяются следующей передаточной функцией [19]

$$\mathbb{W}(P) = (T_2 p + 1) \quad (4.14)$$

где  $X_{вых}$ ,  $X_{вх}$  — соответственно выходная величина (угловая скорость) и входная (напряжение питания обмотки);  $K$  — коэффициент усиления;  $T_1$ ,  $T_2$  — соответственно постоянная времени обмотки и механическая постоянная времени, с.

В зависимости от параметров для порошковых муфт  $T_2$  — 0,03—0,25 с, а для муфт скольжения  $T_2$  = 0,15—0,45 с [19]. Величина механической постоянной времени определяется моментом инерции ведомого вала и соединенных с ним частей. Поэтому для каждого конкретного случая ее необходимо рассчитать.

Широкое применение электродвигателей в исполнительных устройствах обусловлено большим диапазоном регулирования скоростей, удобством подключения, высоким быстродействием и экономичностью работы. Используются двигатели как постоянного, так и переменного тока.

В качестве исполнительных двигателей постоянного тока применяются двигатели с независимым возбуждением. Управление ими осуществляется на основе изменения напряжения якоря (рис. 4.11, а) или изменения напряжения возбуждения (рис. 4.11, б). На рис. 4.11, в приведены механические характеристики двигателя, управляемого изменением напряжения якоря или напряжения возбуждения.

Промышленность выпускает исполнительные двигатели постоянного тока мощностью от долей ватта до нескольких киловатт с частотой вращения  $9 \cdot 10^3$ , об/мин.

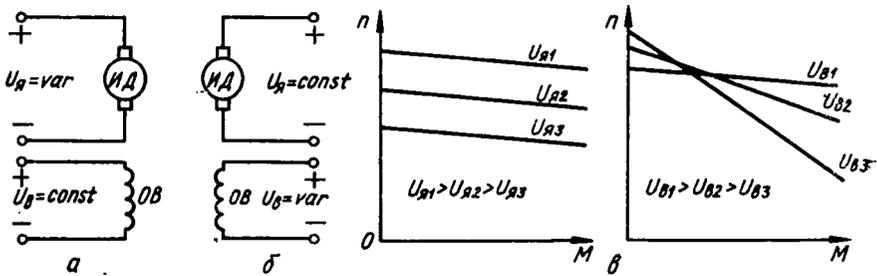


Рис. 4.11. Управляемые исполнительные электродвигатели постоянного тока: а — напряжением якоря; б — напряжением возбуждения; в — механические характеристики

Недостаток исполнительных двигателей постоянного тока — наличие коллектора и щеток, а также потребность в регулируемом источнике постоянного тока. Однако благодаря хорошим пусковым и регулировочным характеристикам они довольно широко применяются в схемах автоматики.

При управлении двигателя изменением напряжения якоря входной величиной является напряжение на якоре  $X_{\text{вх}}$ , а выходной — угловая скорость  $X_{\text{вых}}$  или угол поворота якоря  $X_{\text{гвых}}$ . Напряжение возбуждения в данном случае не изменяется. Соответственно этому передаточные функции двигателя имеют вид [19]

$$\langle\langle MP \rangle\rangle = -\xi \frac{X_{\text{явх}}}{T_{\text{э}} T_{\text{м}} p^* + T_{\text{м}} p + 1} \quad (4.15)$$

$$\zeta_3(p) = \Delta_{\text{вх}} = \frac{K_{\text{в}}}{X_{\text{н}} p (T_{\text{в}} T_{\text{м}} p^* - 1) - T_{\text{к}} p} \quad (4.16)$$

где  $K_{\text{в}}$ ,  $K_{\text{г}}$  — коэффициенты передачи;  $T_{\text{э}}$  — электромагнитная постоянная времени цепи якоря, с;  $T_{\text{м}}$  — электромеханическая постоянная времени, с.

Для исполнительных двигателей постоянного тока величина  $G_{\text{э}}$  на порядок меньше величины  $T_{\text{м}}$ . Поэтому с достаточной для практических расчетов точностью можно считать, что

$$\zeta_3(p) \approx \frac{K_{\text{в}}}{m_{\text{я}} p + 1} \frac{K_{\text{г}}}{T_{\text{в}} T_{\text{м}} p^* - 1} \quad (4.17)$$

Электромеханическая постоянная времени  $T_{\text{м}}$  в зависимости от типа двигателя и его мощности изменяется в пределах 0,02—0,15 с.

Если исполнительный двигатель управляется изменением напряжения возбуждения, то его динамические свойства определяются нелинейными дифференциальными уравнениями. Однако для практических расчетов можно пользоваться формулами (4.17).

В качестве исполнительных двигателей переменного тока применяются трехфазные и двухфазные асинхронные двигатели. **Трехфазные асинхронные двигатели** используются там, где нет необходимости в регулировании скорости (при управлении различными задвижками и клапанами). Управляются они подачей неизменного напряжения в трехфазную обмотку статора.

Рис. 4.12. Асинхронный исполнительный двигатель:  
а — схема; б — механические характеристики

**Двухфазные асинхронные двигатели** с тонкостенным ротором (рис. 4.12, а) имеют на статоре две обмотки, оси которых сдвинуты в пространстве одна относительно другой на  $90^\circ$ . При подключении к обмоткам напряжений, сдвинутых по фазе на  $90^\circ$ , намагничивающие силы этих обмоток создают магнитное поле, которое наводит в тонкостенном роторе ток. Взаимодействие тока ротора с вращающимся магнитным потоком статора приводит к возникновению вращающего момента двигателя. На практике обмотки статора обычно подключаются на одно и то же напряжение. При этом сдвиг фаз на  $90^\circ$  достигается включением в одну из обмоток конденсатора (рис. 4.12, а).

На рис. 4.12, б приведены механические характеристики двухфазного двигателя в результате изменения напряжения в одной из обмоток статора. При сравнении этих характеристик с характеристиками двигателя постоянного тока (рис. 4.11, в) видно, что регулировочные свойства асинхронного двигателя несколько хуже, так как его механические характеристики более мягкие. Это снижает качество процесса управления асинхронным двигателем при изменении нагрузки на его валу. Однако из-за простоты схемы управления во многих случаях отдается предпочтение асинхронному двигателю.

Выпускаемые двухфазные асинхронные двигатели имеют мощность от 0,6 до 1000 В и частоту вращения от 1 до  $1,45 \cdot 10^3$  об/мин. Такой большой диапазон номинальных скоростей вращения двухфазных двигателей обеспечивается применением редукторов с различным передаточным числом.

При расчете систем автоматического управления с двухфазными исполнительными двигателями для последних можно применять формулы (4.17). Следует помнить, что электромеханическая постоянная времени для этих двигателей зависит от величины сигнала управления и возрастает с уменьшением пускового момента двигателя. Для практических расчетов применяют

$$-i_p(\omega_0/M_0), \quad (4.18)$$

где  $\epsilon_p$  — момент инерции двигателя,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $\omega_0$  — угловая скорость вращения двигателя при холостом ходе и номинальном напряжении управления, об/мин;  $M_0$  — пусковой момент двигателя при номинальном напряжении на обмотке управления,  $\text{Я} \cdot \text{м}$ .

Для выпускаемых промышленностью двухфазных исполнительных асинхронных двигателей, питающихся напряжением промышленной частоты, величина  $T_{\text{м}}$  лежит в пределах 0,1—1,0 с.

Рис. 4.13. Гидравлические исполнительные элементы:  
*a* — двухсторонний; *б* — односторонний; *в* — поворотный

Гидравлические исполнительные элементы бывают с поступательно движущимся поршнем или гидродвигателями. Гидродвигатели представляют собой исполнительные устройства с вращательным и поворотным движением выходного вала. На рис. 4.13 представлены гидравлические исполнительные элементы с поступательно движущимся поршнем (рис. 4.13, *a* и *б*), а также поворотным (рис. 4.13, *в*) движением вала.

Исполнительный элемент, схематически представленный на рис. 4.13, *a*, работает следующим образом: к золотнику *1* по трубе *3* подводится рабочая жидкость. Подвижная часть золотника выполнена в виде двоянного поршня *2*. В среднем положении этот поршень одновременно закрывает оба окна *m* и *n* каналов *5*. При смещении поршня золотника вверх от этого положения верхняя полость рабочего цилиндра *6* соединяется с напорной трубой *3*, а нижняя — со сливной трубой *4*. При этом поршень *7* будет двигаться вниз. Если поршень золотника *2* смещается вниз от своего нейтрального положения, поршень *7* будет двигаться вверх.

Передаточная функция такого исполнительного элемента [19]

$$\Gamma(p) = x_{\text{вых}}/u_{\text{вх}} = cTp, \quad (4.19)$$

где *T* — постоянная времени, с.

Величину *T* можно определить из выражения

$$T = \frac{S}{b\mu} \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P}}, \quad (4.20)$$

где *S* — площадь поршня, м<sup>2</sup>; *b* — суммарная ширина золотниковых окон, м;  $\mu$  — коэффициент расхода;  $\rho$  — плотность рабочей жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta P$  — разность давлений нагнетания и слива, Н/м<sup>2</sup>.

В исполнительном элементе на рис. 4.13, *б* золотник *1* является проточным. Цилиндр *3* соединен с полостью золотника *5*, через которую протекает рабочая жидкость. Эта полость всегда сообщается с напорной *6* и сливной *7* трубами, за исключением крайних положений золотника, когда проход одной из труб закрывается. В зависимости от положения поршня *2* золотника в его полости *5* изменяется давление рабочей среды. Это давление передается под поршень *4* и заставляет его занять положение, при котором существует равновесие между силой упругости пружины *3* и силой давления на поршень рабочей среды.

Для этого элемента передаточная функция принимает вид [19]

$$\sqrt{P(p)} = X_{\text{вх}}/X_{\text{вк}} = KIP + I. \quad (4.21)$$

В качестве исполнительных элементов с вращательным движением вала применяются гидродвигатели. Однако широкого распространения в горной промышленности они не получили.

В исполнительном элементе с поворотным движением (рис. 4.13, в) рабочая жидкость под давлением  $P_0$  поступает к золотнику 1 и через трубопровод 2 — в полость 3 гидродвигателя. Лопасть 4 начинает поворачиваться совместно с выходным валом 5. Жидкость из полости 6 через трубопровод 7 будет вытекать в бак. Направление вращения гидродвигателя изменяется с изменением положения золотника. При нижнем его положении (как показано на рис. 4.13, в) вращение происходит по часовой стрелке, при верхнем — против часовой.

Динамические свойства такого элемента приближенно определяются передаточной функцией вида

$$V(P) \approx \frac{V_{\text{вых}}}{V_{\text{вх}}} = KIP(TP + I). \quad (4.22)$$

В этом случае

$$K = (0,5 - 3) 10^3 (1/\tau), \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{рад}; \\ T = \tau / \langle \tau \rangle EK_{MG},$$

где  $\langle \tau \rangle$  — удельная подача гидродвигателя,  $\text{м}^3/\text{рад}$ ;  $V$  — объем жидкости в нагревательном трубопроводе,  $\text{м}^3$ ;  $\tau$  — динамическая вязкость жидкости,  $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ ;  $E$  — объемный модуль упругости жидкости,  $\text{Н}/\text{м}^2$ ;  $\langle \tau \rangle$  — коэффициент момента гидродвигателя,  $\text{м}^3$ .

Пневматические исполнительные элементы устроены аналогично гидравлическим. Они получили широкое распространение в системах автоматизации благодаря высокой надежности, относительной простоте конструкции, а также возможности получения значительных усилий на выходе, хотя и меньших, чем у гидравлических элементов.

Пневматические исполнительные элементы бывают с поступательным перемещением рабочего органа и с вращательным. Значительная простота исполнительных элементов с поступательным перемещением обеспечила их широкое применение.

Передаточная функция этих элементов может быть определена выражением (4.21). Однако, если исполнительный элемент подсоединяется к источнику питания через длинный трубопровод, следует учитывать запаздывание, создаваемое трубопроводом. В этом случае передаточная функция элемента

$$\sqrt{P(p)} = \frac{X_{\text{вых}}}{X_{\text{вк}}} = \frac{K\tilde{e}}{I\tau + \tau} \quad \text{и-и} >$$

где  $\tau$  — время запаздывания, с.

Величина  $\tau$  зависит от длины трубопровода и может изменяться в пределах 0,1—3 с при изменении длины трубопровода от 100 до 1000 м [19].

В последнее время стали применяться исполнительные элементы с пневматическими двигателями, обладающими скоростью вращения до  $3 \cdot 10^3$  об/мин. Это привело к снижению габаритных размеров и

массы исполнительных элементов при одном и том же моменте вращения.

В различных отраслях промышленности, а также в шахтной автоматике рассмотренные исполнительные элементы применяются довольно широко. Причем в подавляющем большинстве это так называемые комбинированные исполнительные элементы — электромеханические, электрогидравлические и т. п. Они применяются для управления клапанами и задвижками (при автоматизации водоотливных котельных и компрессорных установок), стрелочными переводами, вентиляционными дверями, шиберами (при реверсировании воздушной струи), высоковольтными распределительными устройствами для проталкивания составов (при загрузке и разгрузке).

Дистанционное управление задвижками на нагнетательном трубопроводе насоса осуществляется с помощью электропривода типа ЭПЗ, который состоит из электродвигателя, редуктора, предохранительной фрикционной муфты и конечного выключателя. Для заливки насосов из нагнетательного трубопровода служит управляемый ventиль ВУ-1 с соленоидным приводом. Он состоит из гидравлического крана, гидроусилителя и соленоида. Ventиль электромагнитный ВЭМ-4 имеет аналогичное устройство, но более прочную и совершенную конструкцию, исключающую необходимость применения фильтра при загрязненной воде. Если необходимо заливать насос, подается питание на катушку соленоида. Якорь соленоида открывает гидравлический кран, и вода из нагнетательного трубопровода поступает в насос. Через определенное время, требуемое для заливки насоса, подается сигнал на его включение и на отключение соленоида. Гидравлический кран при этом закрывается.

Для управления аварийным тормозом подъемных машин и лебедок применяют тормозные электромагниты специальной конструкции типа КМТ.

Широко используются на шахтах электрогидротолкатели типа ТЭГ для дистанционного и автоматического управления шахтными механизмами с возвратно-поступательным движением (путевые и дозировочные стенды, бункерные затворы, ствольные двери, рабочие тормоза лебедок, толкатели составов). Вращение включенного электродвигателя толкателя передается через муфту и вертикальный вал турбинке, которая перекачивает рабочую жидкость из верхней полости цилиндра в подпоршневую полость. Благодаря этому поршень поднимается и перемещает исполнительный орган.

С этой же целью используют привод типа ПТВ, состоящий из электродвигателя и винтовой передачи, в которой гайка неподвижна, а перемещается шток с винтовой нарезкой.

Для управления стрелками на подземном транспорте с движущегося электровоза служит привод ПМС-4. Привод состоит из электродвигателя, редуктора и блока переключателей для остановки привода и контроля за положением стрелки.

Сравнительные характеристики исполнительных элементов. Исполнительные элементы сравниваются по основным показателям: энергии питания двигателя, максимальной угловой скорости его выходного вала, диапазонам регулирования скорости выходного вала,

Тип двигателя	Диапазон регулирования скорости	Максимальная скорость вращения вала, об/мин	Коэффициент полезного действия, %	Время безотказной работы, ч
Электрический	1 : 20	9 · 10*	10—80	3000
Гидравлический	1 : 500	20 * Ю <sup>3</sup>	10—80	20 000
Пневматический	1 : 500	30 - 10»	40—70	10 000

регулирования скорости, диапазону выходных мощностей исполнительного элемента и надежности действия.

Основные показатели исполнительных элементов приведены в табл. 4.1. Данные таблицы свидетельствуют, что все основные показатели более высокие у гидравлических и пневматических исполнительных элементов. К числу дополнительных сравниваемых характеристик следует отнести также коэффициент усиления по мощности. Наибольшее значение этого показателя у гидравлических исполнительных элементов. Однако применение таких элементов может быть ограничено тем, что в месте их работы необходим дополнительный источник энергии (гидравлической или пневматической). Необходимость такого источника связана с дополнительными затратами и снижением к. п. д. и надежности исполнительного элемента в целом. Поэтому в ряде систем автоматики отдается предпочтение электрическим исполнительным элементам.

#### 4.5. Источники питания

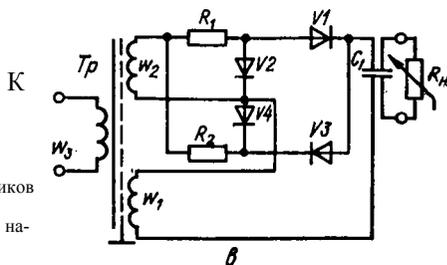
Устройства автоматизации технологических процессов на шахтах питаются, как и все остальное оборудование, электроэнергией. В связи со взрывоопасностью рудничной атмосферы из-за наличия метана и пыли использование электроэнергии требует дополнительных технических решений для обеспечения безопасности. Прежде всего электрооборудование должно быть взрывонепроницаемым и искробезопасным. Взрывонепроницаемость позволяет локализовать взрыв рудничной атмосферы во взрывобезопасной оболочке, в которой находится устройство, и предотвратить прорыв пламени и горячих газов наружу в рудничную атмосферу.

Искробезопасное исполнение наиболее эффективно для защиты от взрыва и заключается в таком ограничении параметров электрических цепей, при которых энергия коммутационных разрядов (искрение) в нормальном и аварийном режимах работы не может привести к воспламенению рудничной атмосферы.

Источники питания устройств автоматизации технологических процессов на шахтах должны быть искробезопасными. При активном характере цепей это достигается ограничением мощности источника питания, при реактивном — дополнительным шунтированием реактивных элементов искрогазящими шунтами или ограничительными резисторами.

$$\frac{Kp}{\text{низ } F^{\circ} \text{п нт}} = \Gamma \text{ Ш } n \text{ } \text{''} \text{л } \% = \Gamma$$

Рис. 4.14. Принципиальная схема источников питания:  
 а — постоянного тока; б — стабилизатор напряжения; переменного тока



Источники питания применяются постоянного и переменного тока. При мощности потребления, не превышающей 3 Вт, используется искробезопасный источник постоянного тока с ограничительным резистором (рис. 4.14, а). Если мощность потребления большая, то для цепей постоянного тока применяется искробезопасный параметрический стабилизатор напряжения на стабилитронах (рис. 4.14, б).

В схемах (рис. 4.14, а, б) резисторы ограничивают ток при коротком замыкании и коммутационных разрядах (искрении) до такой величины, что энергия искрения не в состоянии воспламенить рудничную атмосферу (метановоздушную смесь).

Для питания цепей переменного тока используется искробезопасный источник с диодным ограничителем тока короткого замыкания. Схема источника питания представлена на рис. 4.14, в. Она содержит трансформатор  $Tp$  с двумя вторичными обмотками №1 и Ц7. Обмотка основная, питающая нагрузку /?н, а обмотка ХР2 дополнительная, предназначенная для образования смещения на диодах У2 и У4. Эти обмотки соединены последовательно-согласно.

Рассмотрим работу схемы. Считаем, что в данный момент времени начала обмоток У?1 и И?2 имеют положительные потенциалы (положительный полупериод). Под действием напряжения обмотки Ф2 протекает ток смещения по цепи: начало обмотки Н?2 («+») — резистор — диод У2 — конец обмотки («—»). Вследствие этого диод У2 открыт для тока, протекающего под действием напряжения основной обмотки Ц7, по цепи: начало обмотки («+») — диод У2 \* — диод У1 — нагрузка /?н — конец обмотки У?1 («—»). В следующий отрицательный полупериод ток смещения под действием обмотки смещения Ц7 протекает по цепи: конец обмотки Ц7 («+») — диод У4 — резистор /?2 — начало обмотки №2 («—»). Диод У4 открыт для тока, протекающего под действием напряжения основной обмотки ] по цепи: конец обмотки («+») — нагрузка /?н — диод У3 — дисЖ, К4 — начало обмотки И?1 («—»). При этих условиях напряжение на нагрузке определяется напряжением выходной обмотки №1 и практически не зависит от тока нагрузки.

При увеличении тока нагрузки до тока короткого замыкания диоды У2 и У4 запираются, так как ток превышает токи смещения диодов У2 и У4, установленных в режиме холостого хода цепей смещения. При этом напряжение на нагрузке уменьшается до нуля.

\* При протекании тока смещения через диод У2 в прямом направлении (диод открыт) падение напряжения на нем незначительно и можно считать, что потенциалы начала обмотки И?1, и анода диода У2 сравнимы.

1. Что такое задающее устройство (ЗУ)?
2. Какие устройства применяются в качестве ЗУ?
3. Что такое датчик интенсивности?
4. Какие существуют схемы сравнения напряжений?
5. Что такое магнитный способ сравнения?
6. Что такое усилитель? Как классифицируются усилители?
7. Что такое гидравлический усилитель?
- 8 Как работает МУ?
9. Назовите схемы МУ.
10. Как осуществляется ОС в МУ?
11. Что такое электромашинный усилитель?
12. Назовите основные схемы транзисторных усилителей.
13. Как работает усилитель на двух транзисторах?
14. Что такое исполнительный элемент?
15. Как работает электромагнитная муфта? Какие существуют муфты?
16. Какие электродвигатели применяются в качестве исполнительных элементов?  
В чем заключаются их передаточные функции?
17. Какие существуют гидравлические и пневматические исполнительные элементы?  
В чем заключаются их передаточные функции?
18. Какие существуют электромеханические и электрогидравлические исполнительные элементы? В чем заключаются их передаточные функции?
19. Что такое искробезопасный источник питания?

## Глава 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ДОБЫЧИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПЛАСТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

### 5.1. Машины и механизмы очистного забоя как объекты автоматизации

В последнее время широко развернулись работы по созданию агрегатов для комплексной механизации основных технологических процессов добычи полезных ископаемых.

Добычной забой — начало общешахтного технологического процесса, от которого во многом зависят степень использования оборудования всех последующих технологических циклов, экономические и производственные показатели предприятия.

Добычные забои характеризуются значительным разнообразием горно-геологических условий залегания пластов, запыленностью, обводненностью и загазованностью. Изменения условий залегания и физико-механических свойств углей требуют практически непрерывного изменения режимов работы забойного оборудования. Часто возникает необходимость одновременно выполнять несколько операций (изменять скорость подачи и положение рабочих органов, управлять крепью и т. д.). Это требует интенсивной физической и умственной работы человека в условиях, вредных для его здоровья и опасных для жизни. Передача этих функций автоматическим устройствам позволяет значительно улучшить экономические показатели и создать благоприятные условия для решения важнейшей социальной задачи — вывода людей из очистного забоя.

Работы по созданию средств автоматики для забойных машин впервые в мире начали вестись в нашей стране с 30-х годов. Цель первых исследований и разработок в этом направлении — наиболее полное

использование мощности приводных двигателей, увеличение срока их службы и облегчение труда машиниста.

Отечественная промышленность выпускает более двадцати типов очистных комбайнов, около двадцати типов комплексов и десяти типов стругов, конвейеров-стругов, скрепер-стругов; разнообразные механизированные крепи и вспомогательное оборудование. Часть забойного оборудования импортируется из ПНР, ФРГ и других стран. Однако внедрение комплексов, агрегатов и струговых установок затруднено сложностью горно-геологических условий. По данным ИГД им. А. А. Скочинского, применение комплексов с механизированными крепями возможно лишь в 22 % забоев пологого падения шахт Донбасса, 45 % шахт Кузбасса, 33 % шахт Карагандинского бассейна и Укрзападугля.

Основное оборудование комплексно-механизированного забоя — это добычные комбайны и струги, гидравлическая крепь и забойный конвейер. Добычной комбайн отделяет уголь от массива, дробит его до транспортабельных кусков и погружает на забойный конвейер, имеет один или два исполнительных органа с приводом от одного-двух электродвигателей.

По типу исполнительного органа добычные комбайны подразделяются на барабанные (МК-67, А70, КА78), шнековые (2К52, 1КЮ1, 1ГШ68 и др.) и корончатые с горизонтальной или вертикальной осью вращения (БКТ, «Старт», КЦТГ).

Большинство современных комбайнов оснащается асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором и двойной беличьей клеткой, с воздушным (ЭДК, ЭДКО) или водяным (ЭКВ) охлаждением. Часто применяются встроенные гидравлические механизмы подачи, в которых скорость подачи регулируется изменением производительности гидронасоса подающей части, приводимого в движение главным двигателем. Для комбайнов крутого падения, а также комбайнов, предназначенных для работы на тонких пластах (К-103, БКТ, АКЗ, КА-72), предусматриваются вынесенные на штрек подающие части (ВСП), скорость подачи которых регулируется изменением скорости вращения двигателя подачи, питаемого через преобразователь частоты, или изменением подмагничивания электромагнитной муфты скольжения, передающей момент на ведущую звездочку подачи. Имеются разработки, в которых для осуществления подачи используются двигатели постоянного тока, питаемые от управляемых выпрямителей или генераторов. Все современные добычные комбайны имеют дистанционное управление положением рабочих органов по гипсометрии и мощности угольного пласта.

Механизированная крепь — наиболее дорогостоящая часть добычного комплекса. Стоимость и металлоемкость крепи в зависимости от длины лавы составляют 60—80 % стоимости и металлоемкости всего оборудования лавы. Примерно такое же соотношение трудозатрат по обслуживанию, управлению и монтажу. От четкости работы крзпи зависят не только технико-экономические показатели, но и безопасность обслуживающего персонала.

Наиболее распространена гидравлическая крепь, состоящая из однотипных двух-, четырех- или шестистоечных секций поддерживаю-

шего типа. Секции крепи связаны с забойным конвейером гидродомкратами передвижения, а между собой — механизмами устойчивости, что совокупно обеспечивает взаимное удержание крепи и конвейера от сползания, а также направленное движение в выработанном пространстве.

Секция крепи состоит из основания, гидравлических стоек двухстороннего действия двойной гидровинтовой или телескопической раздвижности, жесткого или рессорного перекрытия с боковыми ограждителями, гидродомкратов, передвигающих крепь и конвейер, и элементов управления.

На пластах с углами падения до  $35^\circ$  уголь транспортируется в очистном забое безразборными забойными скребковыми конвейерами. В отличие от обычных забойные конвейеры снабжаются желобом для механизированной укладки кабеля и рукава орошения и лемехом для погрузки угля при передвижке конвейера. Забойный конвейер обеспечивает перемещение комбайна, а в агрегатной крепи — также перемещение ее секций.

Передвижка забойного конвейера (фронтальная или поочередная при изгибающемся конвейере) происходит по заданной программе, обусловленной работой и положением добычной машины.

Автоматизация забойного конвейера предусматривает его взаимную блокировку со всем смежным оборудованием, контроль скорости, целостности цепей и времени набора скорости после пуска.

Разработаны основные требования к забойному оборудованию применительно к условиям его работы в режимах дистанционного и автоматического управления. Однако не все из применяемых на практике забойных машин отвечают предъявляемым требованиям. Поэтому на первом этапе автоматизируют отдельные процессы, входящие в технологический комплекс забоя.

## 5.2. Регуляторы нагрузки очистных комбайнов

Основные принципы автоматизации выемочных машин, сформулированные в 30-е годы коллективом специалистов под руководством академика А. Н. Терпигорева, отражали уровень техники того времени и предусматривали два варианта автоматизации режимов работы добычных машин — минимальный и максимальный. Минимальный вариант предусматривал поддержание потребляемой двигателем мощности на заданном уровне за счет регулирования скорости подачи при постоянной скорости резания. Максимальный вариант — поддержание потребляемой мощности на заданном уровне одновременным и независимым регулированием скоростей резания и подачи.

В последующие годы в результате разработки мощных электродвигателей для добычных машин возникли дополнительные варианты автоматизации [21].

Распространение получили САУ очистными комбайнами, реализующие минимальный вариант автоматизации, так как до сих пор не создан надежный вариатор для регулирования скорости резания.

Наиболее надежны и практичны из промышленных регуляторов, реализующих минимальный вариант, серия САДУ Ворошиловградско-

го филиала института Гипроуглеавтоматизация и серия ИПИР НПО Автоматгормаш. Современная реализация минимального варианта < автоматического регулирования нагрузки характеризуется органическим сочетанием двух режимов с автоматическим переходом из одного в другой:

стабилизация нагрузки за счет изменения скорости подачи с учетом ограничений по транспорту, интенсивности выделения метана, скорости возведения крепи и других факторов;

стабилизация скорости подачи при неизменной скорости резания с ограничением по перегрузочной способности  $u$  привода и названным выше факторам.

При эксплуатации комбайнов предпочтителен второй режим. Это, с одной стороны, обусловлено низкой производительностью средств доставки, а с другой — не всегда четкой организацией работ в лаве и на участке. Однако даже в этом случае блок регулятора, стабилизирующий нагрузку, должен обладать высокими динамическими свойствами, особенно для машин, оснащенных двигателями повышенной мощности.

Этот вариант автоматизации предполагает использование в качестве регулируемых параметров нагрузку (для систем регулирования по мощности) на валу двигателя резания или скорость подачи (для систем с постоянной производительностью).

Измерять нагрузку непосредственно на валу двигателя трудно, поэтому здесь используются косвенные методы, т. е. измеряются другие величины, характеризующие нагрузку. Контролируемая величина должна обеспечивать: однозначную связь с нагрузкой двигателя; постоянную перегрузочную способность двигателя при колебаниях напряжения в сети (давления в гидросистеме) и нагреве двигателя; возможность создания простого по конструкции, допустимого к применению в шахтах измерительного элемента; принципиальную возможность построения регуляторов высокой чувствительности и необходимого быстродействия; дистанционную передачу выходной величины.

При разработке регулятора необходимо учитывать, что в шахтной силовой сети наблюдаются большие колебания напряжения при пуске и изменении нагрузки двигателей работающего оборудования, поскольку мощность участковых трансформаторов соизмерима с мощностью работающих комбайновых двигателей, а длина кабелей велика.

В асинхронных электродвигателях с короткозамкнутым ротором в качестве управляемых величин для построения регуляторов нагрузки используют: момент на валу двигателя, потребляемую мощность, усилие в элементах режущей части, скольжение двигателя и ток статора.

В регуляторах, использующих момент на валу или потребляемую мощность, предусматривают довольно сложные корректировки по питающему напряжению, так как для участковой сети характерны значительные его снижения. В этом случае поддержание постоянного момента на валу с помощью регулятора приводит к уменьшению перегрузочной способности двигателя, так как  $M_{кр} \sim I^2$  и вероятность опрокидывания двигателя возрастает.

Если регулятор стабилизирует потребляемую мощность, то в силу зависимости

$$P = U_3 \cdot i_{\text{св}} \cdot \phi$$

уменьшение напряжения  $u$  приведет к возрастанию силы тока.

Нагрев обмоток, как известно, пропорционален  $i^2$ , и, следовательно, температура двигателя увеличивается обратно пропорционально  $U^2$ .

Регуляторы, основанные на использовании усилия в элементах режущей или подающей частей, практически не применяются, так как эти усилия включают в себя много составляющих, не связанных с нагрузкой двигателя (трение о почву, сопротивление погружаемой массы и т. д.).

Скольжение ротора двигателя, с информационной точки зрения, является вполне приемлемой управляемой величиной, потому что каждому значению момента нагрузки соответствует определенная скорость вращения ротора  $n_0$ , а следовательно, и скольжение

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

где  $n_0$  — обороты холостого хода.

Если регулятор поддерживает постоянное скольжение, то обеспечивается и постоянство момента нагрузки двигателя. При изменении питающего напряжения возможность перегрева и уменьшения перегрузочной способности двигателя исключается.

Несмотря на перечисленные достоинства этого метода, авторегуляторы, стабилизирующие скольжение, на современном уровне развития элементной базы оказываются громоздкими (в них трудно вводить коррекцию по ограничивающим факторам), что затрудняет их реализацию.

Ток статора — наиболее приемлемая управляемая величина, которая в автоматических системах стабилизации нагрузки достаточно точно соответствует потребляемой эффективной мощности и удовлетворяет большинству предъявляемых к ней требований. При снижении напряжения сети тепловой режим двигателя не изменяется, а перегрузочная способность его уменьшается пропорционально первой степени напряжения. К тому же, применяя корректировку по напряжению сети, можно сохранять перегрузочную способность двигателя в значительном диапазоне колебаний напряжения.

Чувствительными элементами в системах регулирования по току, как правило, являются трансформаторы тока.

Рассмотрим работу наиболее распространенных промышленных регуляторов.

Регулятор нагрузки ИПИ Р-3М предназначен для очистных комбайнов со встроенным гидрообъемным приводом подачи. Он обеспечивает: автоматическое регулирование нагрузки двигателя режущей части за счет изменения скорости подачи; стабилизацию скорости подачи от 0 до 6 м/мин при недогруженном двигателе режущей части; ограничение суммарного тока двух электродвигателей комбайна (при двухдвигательном приводе); уменьшение до нуля скорости подачи при пуске комбайна с последующим увеличением ее до заданного значения.

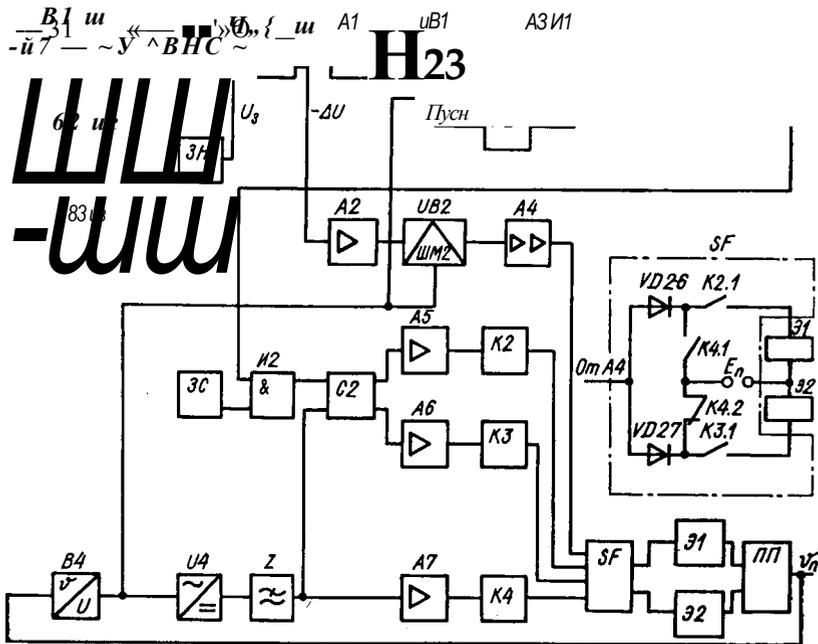


Таблица состояний входов элементов регулятора ИППИР-3М

Направление движения		Вперед					Назад			
Соотношение скоростей						%>т%				
Загрузка двигателя		Норма	Недогруз	Перегруз			Недогруз	Перегруз		
Состояния элементов	K4	1	1	1	1	1	0	0	0	
	K2	0	1	0	ЛЛ	0	0	1	ЛЛ	
	K3	0	0	1	0	ЛЛ	1	0	ла	
	A4	0	ЛЛ	ЛЛ	0	0	ЛЛ	ЛЛ	0	0
	31	0	1	0	ля	0	0	ЛЛ	0	0
	32	0	0	ЛЛ	0	0	1	0	ЛЛ	

Рис. 5.1. Функциональная схема регулятора ИППИР-3М

Принцип действия регулятора, структурная схема которого приведена на рис. 5.1, основан на сравнении действительного и заданного (для соответствующего режима) значений потребляемого электродвигателем тока. Возникающее рассогласование при отклонениях нагрузки подается в релейный усилитель для формирования управляющего воздействия на механизм изменения скорости подачи. Принцип формирования управляющего воздействия обусловлен характером зависимости потребляемой двигателем мощности от скорости подачи при различных крепостях разрушаемого массива (рис. 5.2). Эта зависимость описывается выражением

$$P = P_0 + Bv_n = K_{но}^2 (K_0 + 1)v_n^3,$$

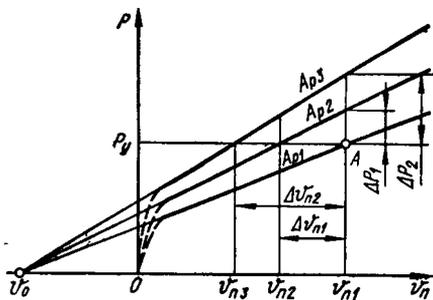


Рис. 5.2. Энергетические характеристики комбайна

где  $P_0$  — средняя мощность, расходуемая электродвигателем при отсутствии подачи комбайна на зобой;  $B$  — коэффициент наклона энергетической характеристики;  $K_{и.о}$  — коэффициент передач исполнительного органа по управляющему воздействию, численно равный тангенсу угла наклона энергетической характеристики;  $v_n$  — средняя скорость подачи комбайна;  $B_0$  — условная точка на оси, где пересекаются характеристики.

Величина  $K_{и.с}$  зависит от крепости угля, степени затупления резцов, скоростей резания и подачи. В связи с этим, а также с тем, что параметры других звеньев изменяются в широких пределах, угледобывающий комбайн рассматривают как нелинейный объект, содержащий звенья с запаздыванием, переменными коэффициентами и постоянными времени, которые зависят от внешних возмущений.

Для устойчивой работы системы автоматического регулирования нагрузки комбайна и заданного качества переходных процессов в условиях значительных изменений коэффициента усиления нужен регулятор с контурами самонастройки, обеспечивающими условие:

$$Яоб^{пер} = Kс = const,$$

где  $K_{об}$ ,  $1/пер. K_0$  — коэффициенты усиления соответственно объекта, регулятора и системы.

Величина  $K_{об}$  определяется энергетической характеристикой комбайна. Так как входной величиной является скорость подачи  $v_n$ , а выходной — мощность  $P$ , потребляемая электродвигателем, то

$$K_{об} = K^{AP} Do,$$

где  $K$  — коэффициент пропорциональности;  $Do$  — изменение скорости подачи.

Если регулятор поддерживает потребляемую мощность постоянной, то можно считать, что величина средней скорости подачи обратно пропорциональна коэффициенту усиления комбайна.

Коэффициент усиления регулятора определяется отношением скважности  $q$  выходного управляющего сигнала к отклонению мощности, т. е.

$$K_{рег} =$$

где  $K_a$  — коэффициент пропорциональности.

Тогда общий коэффициент усиления системы

$$K_{с} = \frac{K_a}{K_{об}}$$

$$K_{с} =$$

Таким образом, для выполнения условия  $K_{с} = const$  при изменяющемся  $K_{об}$  необходимо пропорционально изменять скважность управляющего воздействия  $q$ . Энергетические характеристики комбай-

на подтверждают сделанные выводы. Действительно, если установленному режиму машины (см. рис. 5.2) соответствует точка  $A$ , то заданное значение нагрузки  $P_y$  обеспечивается скоростью подачи  $v_{n,i}$ . При изменении крепости угля от  $A_{p1}$  до  $A_{p2}$  или  $A_{p3}$  потребуется тем большее уменьшение скорости подачи, чем большее приращение получит крепость угля. Значение  $A v_n$  определяется как величиной  $AP$ , так и абсолютной величиной скорости подачи ( $u_{,i}$ , и.,2. ^пз). при которой происходит рассогласование. Следовательно, скорость изменения регулирующего воздействия должна быть переменной, зависящей от рассогласования по нагрузке и скорости подачи. Эта задача решается с помощью широтно-импульсного модулятора, ширина импульсов которого при постоянном периоде является функцией  $AP$  и  $v_n$ .

Рассмотрим работу регулятора ИПИР-3М по функциональной схеме (см. рис. 5.1). Регулятор содержит два блока — регулирования нагрузки и скорости.

Блок регулирования нагрузки включает: трансформаторы тока двигателей  $B1$ ,  $B2$  и суммарного тока  $B3$ , схему выделения наибольшего сигнала  $BHC$ , схему сравнения  $C1$ , канал уменьшения нагрузки (сброса) с усилителями  $A1$  и  $A3$ , широтно-импульсный модулятор  $UB1$  и выходное реле  $/C/$ , канал увеличения (наброса) нагрузки с усилителем  $A2$ , широтно-импульсным модулятором и многокаскадным выходным усилителем  $A4$ . К нему подаются сигналы от датчика нагрузки  $3H$  и пропорциональный модулю фактической скорости подачи сигнал из блока регулирования скорости.

Основные элементы блока регулирования скорости и следующие: датчик скорости подачи  $B4$ , датчик скорости и направления подачи  $3C$ , схема сравнения  $C2$ , два канала усиления  $A5$  и  $A6$  с выходными реле  $K2$  и  $K3$ , канал контроля направления движения  $A7$  и  $K4$ , логическая контактная схема  $SF$ , выходные электромагниты и привод подающей части  $ПП$ .

Потребляемый двигателями ток измеряется датчиками  $B2$  и  $B1$ . Суммарный потребляемый ток измеряется датчиком  $B3$ . После приведения к соизмеримым величинам сигналов от датчиков  $B1$  —  $B3$  и их выпрямления они подаются через схему  $BHC$  в сравнивающее устройство  $C1$ . Кроме того, в  $C1$  от датчика нагрузки  $3H$  подается сигнал  $U_3$ , пропорциональный запланированному режиму загрузки двигателей резания. В схеме  $C1$ , таким образом, сравнивается сигнал наиболее загруженного двигателя (или суммарный) с заданным. При перегрузке двигателей на выходе  $C1$  появляется  $+AU$ , при недогрузке возникает  $-AU$ .

Сигнал о перегрузке подается в канал сброса нагрузки, где усиливается и преобразуется в импульсы, воздействующие на блок регулирования скорости подачи через выходное реле  $K1$ . Усилители  $A1$ ,  $A3$  и модулятор  $UB1$  формируют управляющие сигналы постоянной амплитуды, ширина которых определяется величиной отклонения нагрузки от задания и модулем скорости подачи, сигнал о которой вводится в модулятор.

Релейный усилитель  $И$  обесточивает выходное реле  $K.1$  на время длительности управляющего импульса, так как последний подается

через инвертирующий выход усилителя  $A3$  и неинвертирующий вход  $И1$  на  $K1$  ■ Таким образом, перегруз двигателей приводит к тому, что реле  $K1$  начинает импульсно отключать задатчик скорости подачи  $ЗС$  от схемы сравнения  $С2$  в блоке регулирования скорости.

Сигналы  $A$  и, свидетельствующие о недогрузке двигателей, через канал увеличения (наброса) нагрузки  $A2$ ,  $ИВ2$  и  $A4$  воздействуют на канал регулирования скорости по логической контактной схеме  $ЭР$ . Процесс формирования управляющих импульсов аналогичен рассмотренному в канале сброса нагрузки.

В блоке регулирования скорости подачи амплитуда сигнала датчика скорости  $B4$  до выпрямления характеризует модуль скорости подачи без учета направления. Этот сигнал подается в блок регулирования нагрузки для формирования ширины управляющих сигналов. После выпрямления и фильтрации в блоках  $04$  к  $I$  сигнал характеризует величину и направление подачи комбайна. Этот сигнал вводится в схему сравнения  $С2$ . Сигнал  $И_3$  в  $С2$  подается через схему совпадения  $И2$  только в те моменты времени, когда на втором входе  $И2$  имеется сигнал от  $K1$ , что свидетельствует об отсутствии перегруза. После схемы сравнения  $С2$  сигналы означают отклонение фактической скорости подачи от заданной. Для определения направления движения комбайна предусмотрен канал—  $A7$ ,  $K4$ . Скорость и направление подачи регулируются включением электромагнитов  $Э1$  или  $Э2$ , которые изменяют эксцентриситет гидронасоса подающей части. Включение электромагнита  $Э1$ , например, при движении вперед приводит к уменьшению скорости подачи, а при движении назад — к ее увеличению.

Реакция выходных элементов на появление рассогласований по скорости и нагрузке показана в таблице состояний (см. рис. 5.1). Так, при движении вперед реле направления  $K4$  постоянно включено (состояние 1) и его контакт  $K4.1$  включен, а контакт  $K4.2$  выключен. Если скорость подачи комбайна соответствует заданию ( $y_\phi = v_3$ ), то реле  $K2$  и  $K3$  обесточены, их контакты  $K2$  и  $K3$  разомкнуты и электромагниты  $Э1$  и  $Э2$  обесточены (состояние 0).

Вторая колонка таблицы отражает положение элементов, когда двигатель недогружен, а скорость подачи больше заданного значения ( $y_\phi > v_3$ ). При этом положительный сигнал рассогласования по скорости через усилитель  $A5$  включит  $K2$ , которое контактом  $K2.1$  подключит электромагнит  $Э1$  к источнику  $E_n$  на снижение скорости. Несмотря на то что из канала наброса нагрузки  $A4$  на вход логической схемы  $5^{*1}$  подаются импульсы на увеличение нагрузки, к электромагнитам они не проходят, так как диод  $\backslash ZD26$  заперт напряжением  $E_n$ .

Третья колонка таблицы показывает, что если при недогруженном двигателе скорость окажется меньше заданной ( $y_\phi < v_3$ ), то реле  $K2$  отключится, а  $K3$  включится. При этом электромагниты отключаются от источника  $E_n$ , но создается цепь для импульсов, поступающих с канала увеличения нагрузки через  $\backslash fD27$  на электромагнит  $ЭМ2$ , который импульсами начнет увеличивать скорость подачи и соответственно нагрузку до появления ограничений (по нагрузке или скорости). Далее процессы протекают аналогично.

При каждом пуске комбайна реле времени  $P_6$  начинает отсчет времени, на которое реле  $K1$  отключает уставку скорости подачи. За время задержки канал стабилизации скорости независимо от положения датчиков  $ЗС$  и  $ЗН$  через электромагниты  $Э1$  или  $Э2$  устанавливает статор гидронасоса в нейтральное положение. Скорость подачи начинает возрастать от нуля.

Более подробно работу регулятора ИПИР-ЗМ рассмотрим по принципиальной схеме (рис. 5.3).

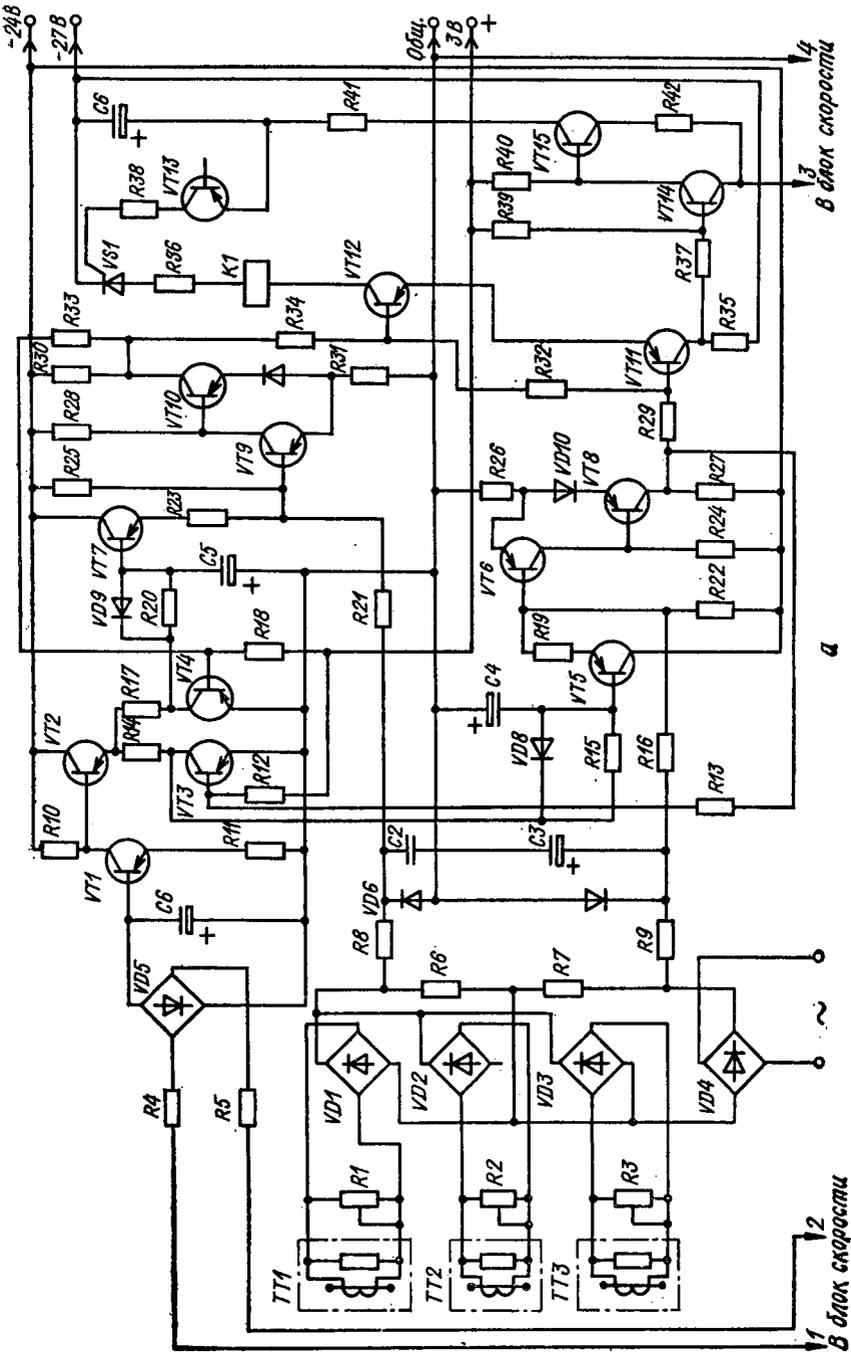
Напряжения, пропорциональные токам двигателей привода режущей части с трансформаторов тока  $ТТ1$  и  $ТТ2$  и суммарному току двигателей с трансформатора  $ТТ3$  после выпрямления на  $УВ1$  —  $УВ3$ , поступают на один из входов схемы сравнения  $С1$  (резистор  $R6$ ), на другой вход которой (резистор  $R7$ ) с обмотки сетевого трансформатора поступает выпрямленное на  $УЭ4$  напряжение, пропорциональное заданному. Сигнал рассогласования сглаживается фильтром ( $R8$ ,  $C2$ ,  $C3$ ) и подается на входы каналов сброса ( $УТ9$ ) и увеличения ( $УТ6$ ) нагрузки.

При превышении одним из двигателей тока уставки положительный сигнал рассогласования закрывает транзистор  $УТ9$ , при этом откроется  $УТЮ$ , закроется  $УТ12$  и обесточится реле  $K1$ , которое своим контактом  $K1.1$  разомкнет цепь питания датчика скорости подачи.

Для блока регулирования скорости это равносильно заданию нулевой скорости подачи. В зависимости от направления движения комбайна, что определяется по состоянию реле  $K4$ , при отключенной уставке работает реле  $K2$  или  $K3$ , которое своими контактами включает электромагнит  $ЭМ1$  или  $ЭМ2$  трехпозиционного распределителя на сброс скорости подачи и нагрузки.

Одновременно с закрыванием транзистора  $УТ12$  закроется транзистор  $УТ4$  и начнет заряжаться емкость  $C5$  по цепи: «общ.»,  $C5$ , диод  $Уй9$ , резистор  $Я17$ , эмиттер-коллектор транзистора  $УТ2$ , —24 В. Нарастающее напряжение на конденсаторе  $C5$  является сигналом обратной связи, так как через эмиттерный повторитель  $УТ7$  подается на вход канала сброса (база  $УТ9$ ) и компенсирует сигнал рассогласования. Когда сигнал на входе  $УТ9$  станет меньше порогового, триггер  $УТ7$ ,  $УТЮ$ ,  $УТ12$  опрокинется, а реле  $K1$  включится, что обозначает конец первого управляющего импульса. Начинает формироваться пауза. Конденсатор  $C5$  разряжается через открытый ключ  $УТ4$  и резистор  $Я20$ . Из рассмотренного следует, что длительность управляющего импульса определяется временем, в течение которого конденсатор  $C5$  заряжается до величины, когда на базе  $УТ9$  сигнал рассогласования  $AV$  будет скомпенсирован. Время заряда  $C5$  также зависит от величины сопротивления эмиттер-коллекторного перехода  $УТ2$ , определяющего степень открытости  $УТ1$ , которым управляет сигнал, пропорциональный модулю скорости подачи, через выпрямитель  $Уй5$ .

Таким образом, чем больше сигнал рассогласования по нагрузке, тем большей длительности будет управляющий сигнал при одной и той же постоянной времени заряда (одинаковые модули скорости подачи). При одинаковых рассогласованиях управляющий сигнал тем 1 длительнее, чем больше модуль скорости подачи, так как будет больше постоянная времени заряда  $C5$ .



а

В блок скорости

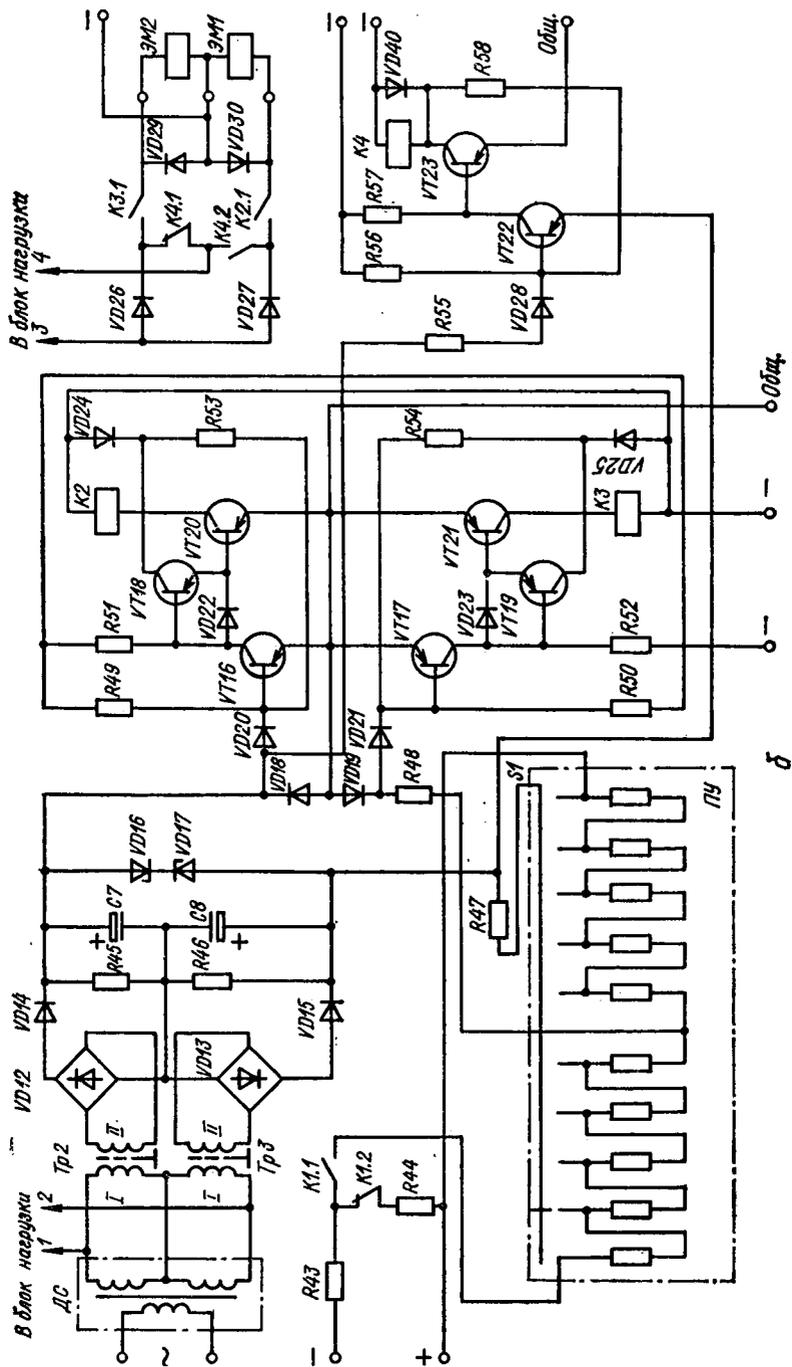


Рис. 5.3. Принципиальная схема регулятора ИПИР-3М:  
 а — канал регулирования нагрузки; б — канал регулирования скорости

Если за время паузы между управляющими импульсами сигнал рассогласования уменьшится, но будет оставаться выше порога срабатывания, то повторится процесс отключения *К1*-

При недогрузке обоих двигателей и скорости подачи меньше заданной сигнал рассогласования меняет полярность и при определенной его величине закрывает *УТ6*, открывает *УТ8*, *УТ11*, *УТ14*. В зависимости от направления движения комбайна через контакты реле *К2* или *К3* включается электромагнит *ЭМ1* или *ЭМ2* на увеличение скорости подачи и нагрузки. При этом процесс формирования управляющих сигналов будет определяться параметрами цепи заряда конденсатора *С4* аналогично рассмотренному выше. Такой способ обработки сигналов рассогласования обеспечивает пропорционально-импульсный закон регулирования, что при высоком быстродействии гидросистемы практически исключает перерегулирование при малых рассогласованиях нагрузки и опрокидывание двигателей при больших.

Работа следящей системы по скорости подачи основана на сравнении сигналов, полученных с датчика скорости подачи *ДС*, с заданным, подающимся от пульта управления *ПУ*. Когда статор гидронасоса находится в среднем (нулевом) положении, то его эксцентриситет и производительность равны нулю. Якорь дифференциального трансформаторного датчика *ДС*, связанный со статором гидронасоса, в данном случае также будет находиться в среднем положении, поэтому из-за встречного включения вторичных обмоток его выходной сигнал будет равен нулю, что соответствует отсутствию подачи, т. е.  $V_{п} = 0$ .

Смещение статора гидронасоса от нейтрали приводит к появлению рабочей жидкости на соответствующем его выходе, что обеспечивает включение гидромотора, подачу машины и возникновение сигналов с *ДС*. При этом сигнал переменного тока сразу после выхода с *ДС* отображает только модуль скорости подачи, а сигнал после выпрямителей *УИ12* и *УВ13* — направление движения и скорость.

Сигнал, соответствующий уставке скорости подачи, подается от переключателя направления и скорости *51* пульта управления *ПУ*, представляющего собой ступенчатый потенциометр и выполняющего функцию задатчика скорости. Питание потенциометра осуществляется через замыкающий контакт *К 1.1* выходного реле *К1* канала сброса нагрузки.

Выход задатчика *ПУ* включен последовательно с выпрямленным выходом датчика скорости *ДС*. Полярность сигнала уставки скорости подачи зависит от положения движка переключателя *Б1* относительно его среднего (нулевого) положения, что позволяет задавать направление подачи и ее величину. Сравнение сигналов *ДС* и *ПУ* происходит на резисторах *К47*, *Я48*, образующих схему сравнения.

С выхода схемы сравнения сигналы рассогласования поступают на входы релейных усилителей, собранных на трех транзисторах каждый, *УТ16*, *УТ18*, *УТ20* и *УТ17*, *УТ19*, *УТ21*.

Нагрузкой усилителей являются реле *К2* и *К3*, контакты которых коммутируют управляющие электромагниты *ЭМ1* и *ЭМ2*.

Для одного направления движения комбайна при скорости подачи меньше заданной сигналы рассогласования включают релейный усилитель *УТ16*, *УТ18*, *УТ20* и реле *К2*, которое срабатывает и своим кон-

тактом *К2.1* через диод развязки *УБ27* и выходной каскад наброса нагрузки *УТИ, УТ15* импульсами будет включать *ЭМ1* на увеличенные скорости подачи.

Для противоположного направления подачи полярность сигнала уставки скорости имеет противоположную полярность, и при скорости меньше заданной сигнал рассогласования включит усилитель *УТ17, УТ19, УТ21* с выходным реле *К3*, которое своим контактом *К3.1* через диод развязки *УБ26* и канал наброса нагрузки *УТ14, УТ15* импульсно включит *ЭМ2* на увеличение скорости подачи.

При скорости больше заданной электромагниты управляются через контакты реле *К4* релейного усилителя направления подачи, выполненного на транзисторах *УТ22, УТ23*. Так, для одного направления движения (при скорости больше заданной или отключения уставки скорости каналом сброса нагрузки) сигнал рассогласования скорости включит релейные усилители *УТ16, УТ18, УТ20, К2* и *УТ22, УТ23, К4*. При этом замкнувшиеся контакты *К4.2* и *К2.1* создадут цепь питания для электромагнита *ЭМ1*, который уменьшит скорость подачи. Для другого направления движения превышение скорости подачи приводит к отключению релейного усилителя *УТ22, УТ23, К4* и включению *К3*. Цепь питания электромагнита *ЭМ2* создается через замкнутый размыкающийся контакт *К4.1* и замыкающийся *К3.1*.

Узел отключения задатчика скорости подачи при пусках состоит из дифференцирующей цепи *С6, Я41*, динистора *УТ13* и тиристора *У81*. При каждом включении питающего напряжения импульсом с *С6, Я41* через *УТ13* и *У81* отключается реле *К1* сброса нагрузки, которое своим контактом отключает пульт уставок скорости подачи *ПУ*. Реле *К1* будет обесточено до тех пор, пока потенциал на *С6* не достигнет величины отпирания *У81*. За это время канал регулирования скорости успевает снизить скорость подачи до нуля, а затем без рывка повышает ее до значения, заданного на *ПУ*.

Применение регулятора нагрузки ИПИР-3М для автоматизации добычных комбайнов 2К-52, 1ГШ-68, КШ-3М позволило более эффективно использовать энергетические возможности привода, повысить среднюю скорость движения комбайна, а следовательно и производительность, увеличить срок службы машины за счет снижения числа опрокидываний электродвигателя и связанных с этим перегрузок трансмиссии, освободить машиниста от необходимости непрерывного управления скоростью подачи.

Регулятор нагрузки и скорости подачи УРАН. Для добычных комбайнов (например, К-101, КШ-1КГ) со встроенной гидравлической подающей частью типа 1 Г-405 освоено производство более совершенного регулятора УРАН [16], который имеет блочное построение и выполнен на интегральных микросхемах.

Регулятор имеет повышенную точность регулирования нагрузки и большее быстродействие, которое обеспечивается непрерывной отработкой рассогласования по скорости и сочетанием непрерывного и импульсного способов отработки по нагрузке.

Функциональная схема регулятора УРАН приведена на рис. 5.4. В блоке регулирования скорости управляющие сигналы формируются соотношением фактической и заданной скоростей с учетом степени

А1 Г—.

■ ЖГЕл

82

III M2 - вне - :

Z1

DA1 22

по

34

10.1

83

III M3 J

	Нагрев кВт %	Литовит Хислатт					
		цветь	Т°	A6	A7	A8	
V	Нагрев	>25	+	+	0	0	1
	ЭГР	25,5	ЛП	+	0	0	ля
	Нагрев	≤5	-	+	0	0	0
с	Нагрев	5-25	-	штг	ли	0	0
	ЭГР	>25	-	-	1	0	0
	Нагрев	>25	-	-	1	0	0
S <sup>+</sup> Л	Нагрев	>25	-	-	1	0	0
	ЭГР	25,5	-	штг	штг	0	о
	Нагрев	≤5	-	+	0	0	0
ЛИЙ2?	Нагрев	5-25	ля	+	0	ж	0
	ЭГР	>25	+	+	0	1	0
	Нагрев	>25	+	+	0	1	0

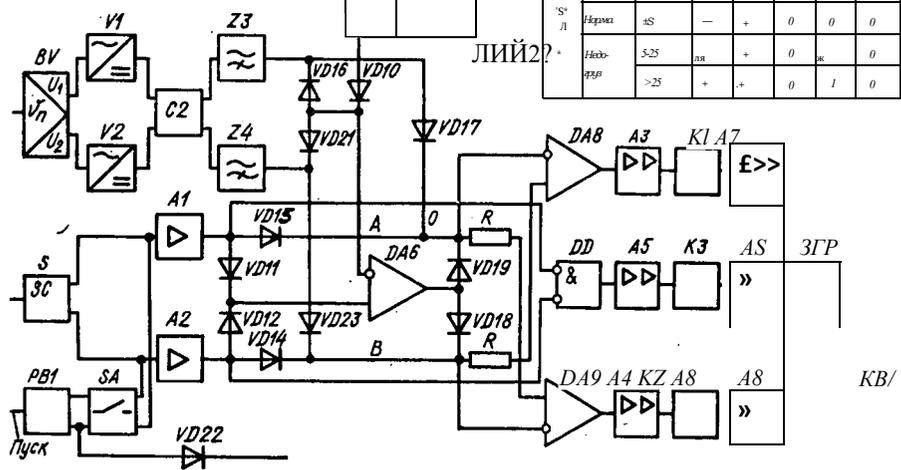


Рис. В.4. Функциональная схема регулятора УРАН

загрузки двигателя резания. Необходимая величина и направление подачи задаются реверсивным задатчиком скорости 3С. В зависимости от заданного направления подачи сигнал с 3С подается на усилители А1 или А2. После усилителей сигналы подаются на диоды VD15 или VD14 трехвходовой схемы выделения наибольшего сигнала.

Фактическая скорость подачи измеряется реверсивным датчиком скорости BV с обособленными выходами для каждого направления движения. После выпрямления сигналов выпрямителями V1 и V2 они подаются на резистивную схему сравнения C2. Выходной сигнал, отображающий величину и направление фактической скорости подачи, после фильтров Z3 и Z2 поступает на диоды VD17 или VD23.

Выходной сигнал трехвходовой схемы выделения наибольшего сигнала подается на каналы увеличения и уменьшения скорости подачи через усилители DA8, A3, K1, A7 к электрогидрораспределителю ЭГР или по каналу DA9, A4, K2, A8 на второй вход ЭГР. В этих каналах реле K1 и K2 осуществляют гальваническую развязку искроопасных цепей регулятора и искробезопасных цепей ЭГР.

На диоды VD18 и VD19 поступает выходной сигнал реле контроля превышения фактической скорости подачи над заданной. Реле выполнено на операционном усилителе DA6. Выходной сигнал DA6 формируется за счет подачи на его инвертирующий вход сигнала о модуле фактической скорости подачи (через VD16, VD21), а на неинвертиру-

ющий вход — сигнала о модуле заданной скорости подачи (через  $VD11, VD12$ ).

Выходные сигналы трехвыходовых схем выделения из них наибольшего по цепям  $A$  и  $B$  подаются на трехпозиционный релейный элемент  $DA8, DA9$  блока выходных усилителей, где сравниваются фактическая и заданная скорости подачи. Выходные сигналы с усилителей  $DA8, DA9$  через усилители мощности  $A3, A4$  включают реле  $K1$  или  $K2$ . Контакты реле через усилители  $A7, A8$  включают электрогидрораспределитель  $ЭГР$ , регулирующий скорость подачи.

Обнуление скорости подачи при пусках комбайна осуществляется следующим образом. При подаче напряжения питания включается реле времени  $PB1$  и на 2—3 с электронный ключ  $S^4$  шунтирует выходы задатчика  $ЗС$ , что равносильно заданию нулевой скорости. Этого времени достаточно для установки статора гидронасоса подачи в нейтральное положение и обеспечения плавного набора скорости независимо от положения переключателя  $S$  задатчика  $ЗС$ .

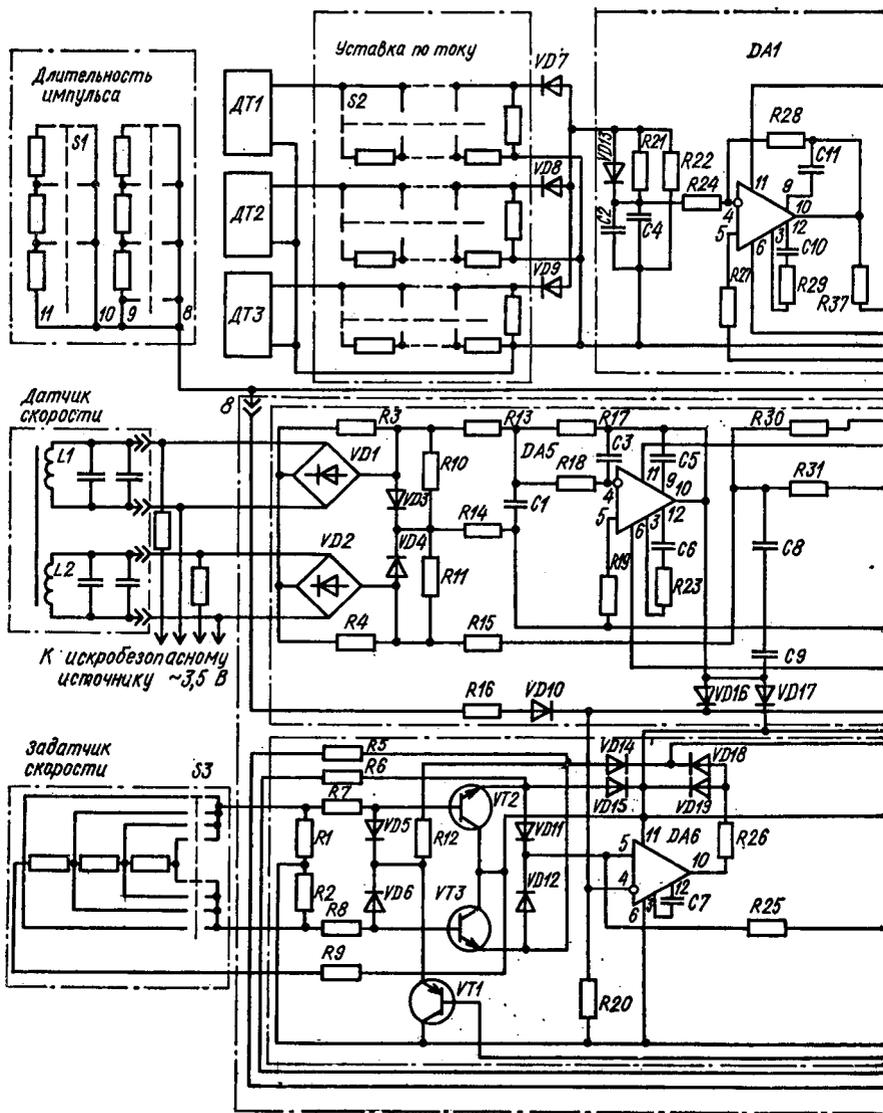
Для включения реле управления предохранительной лебедкой предусмотрен усилитель  $A5$ , сигнал для которого формирует схема совпадения  $DD$ . На выходе  $DD$  сигнал появляется только при нейтральном положении задатчика  $ЗС$  или при шунтировании его ключом  $S/4$  при пусках. В этом случае на обоих выходах задатчика отсутствуют сигналы, а на выходе элемента  $DD$  возникает максимальное напряжение.

Канал регулирования нагрузки  $БКН$  воздействует на канал регулирования скорости через выходные цепи  $8$  и  $11$ . Сигналы датчиков тока в масштабирующих устройствах приводятся к одинаковым величинам при одинаковых нагрузках через схему выделения наибольшего из них  $ВНС$  и фильтр  $Z1$ , поступают в схему сравнения, выполненную на операционном усилителе  $DA1$ . В  $DA1$  на второй вход подается опорный сигнал с задатчика нагрузки  $ЗН$ . При номинальной нагрузке всех двигателей сигналы на обоих входах  $DA1$  одинаковы и его выходной сигнал отсутствует.

Рассмотрим взаимодействия  $БКН$  и  $БКС$  при различных сочетаниях нагрузки двигателей и скоростей подачи. Если скорость подачи меньше заданной ( $i^* < i_a$ ) и двигатели недогружены более чем на 25 %, на выходе  $DA1$  формируется сигнал, вызывающий появление высоких постоянных напряжений на обоих выходах формирователя  $F$ . Сигнал с выхода  $11$  через  $VD22$  пройти не может и не влияет на работу  $БКС$ . Сигнал с выхода  $8$  через  $VD10$  подается на инвертирующий вход  $DA6$  и вызывает отрицательное напряжение на его выходе, что подзапирает диоды  $VD18$  и  $VD19$ , но не влияет на работу  $БКС$ . Следовательно, при недогрузках более 25 % блок канала скорости формирует управляющие сигналы без учета  $БКН$ .

Так как  $u_{\phi} < v_B$ , то с выхода  $L$  / от  $ЗС$  через  $VD15$  на сборную шину  $A$  выдается большее напряжение, чем от датчика скорости  $ВУ$  через диод  $VD23$  на шину  $B$ .

Такое соотношение на сборных шинах приводит к появлению отрицательного потенциала на выходе  $DA8$  и положительного на выходе —  $DA9$ . Цепочка  $A3, K1, A7$  отключится;  $A4, K2, A8$  — включит<sup>\*</sup>ся, что переведет  $ЭГР$  в положение увеличения скорости подачи



в непрерывном режиме (табл. на рис. 5.4, первая строка). При уменьшении недогруза до зоны 5—25 % соотношение сигналов на выходе *DA1* таково, что на выходе 8 формирователя *F* положительное напряжение сменяется импульсным. В блоке канала скорости это также переведет усилитель *A8* из постоянно включенного состояния в импульсно включаемое. Интенсивность увеличения скорости и нагрузки уменьшаются (табл. на рис. 5.4, вторая строка).

При номинальной нагрузке (с точностью  $\pm 5\%$ ) положительные импульсы с выхода 8 исчезают и на нем появляется отрицательное напряжение, которое из-за встречного включения *VD10* в *БКС* не про-

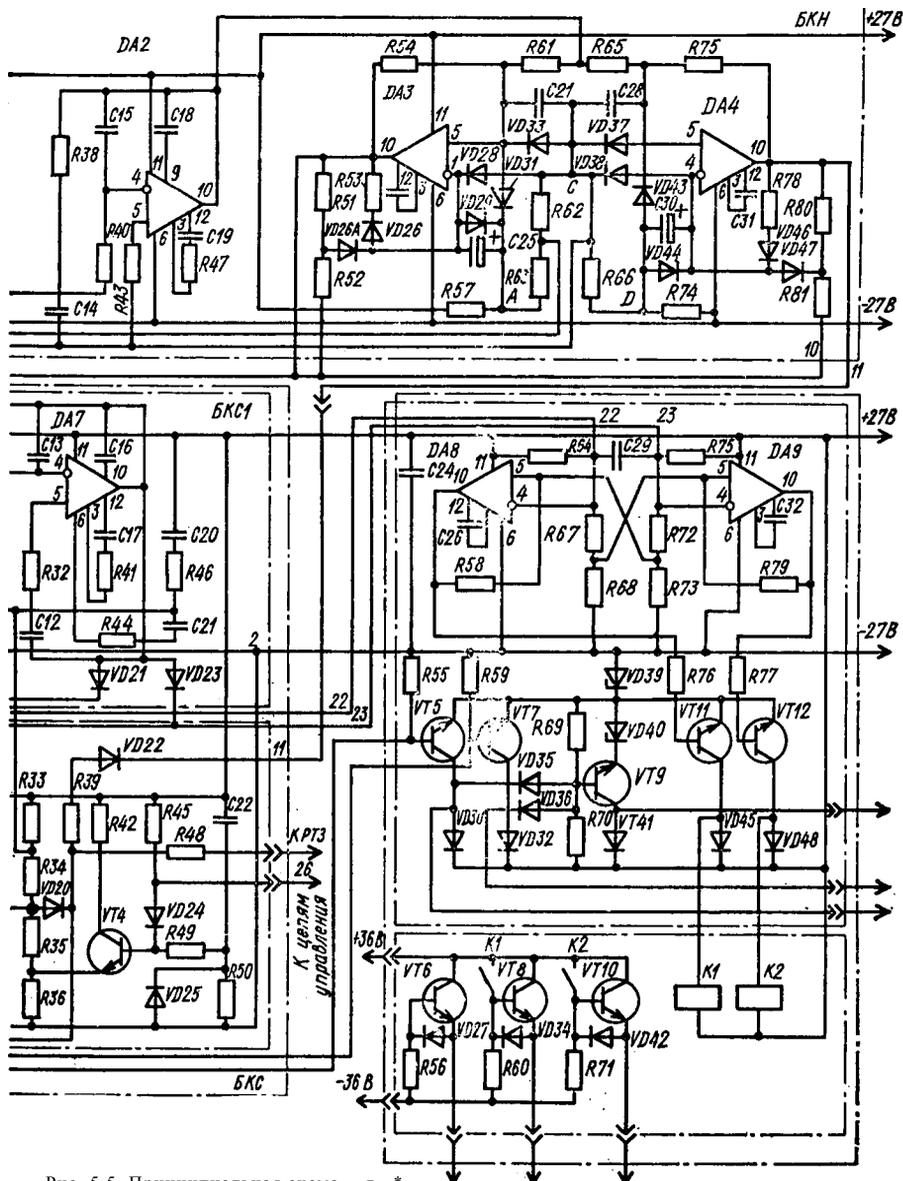


Рис. 5.5. Принципиальная схема регулятора уран  
*Рт о нуления V тор Кмчателворода работ*

ходит. Усилитель **DA6** оказывается под воздействием положительного сигнала, подаваемого на неинвертирующий вход. После усиления такой сигнал через диоды **VD18** и **VD19** переводит усилители **DA8** и **DA9** в отключенное состояние. Воздействие на ЭГР прекращается. Таким образом, при номинальной нагрузке двигателей скорость увеличиваться не может, даже если она меньше заданного значения.

При перегрузке в пределах 5—25 % состояние сигнала на выходе 8 формирователя **Б** не меняется, остаются включенными **К1**, **А7** и **К2**, **А8**. На выходе **И1** появляются импульсы отрицательной полярности, которые через диод **УВ22** и электронный ключ **5А** импульсно закорачивают выходы датчика скорости, что приводит к импульсному включению реле обнуления подачи **К3**, **А6** и переводу **ЭГР** в режим уменьшения скорости подачи.

Если перегруз не уменьшится, а возрастет за пределы 25 %, то **К3**, **А6** включатся постоянно на снижение скорости подачи до нуля.

При другом соотношении скоростей ( $i_{\phi} > i_3$ ) процессы протекают аналогично, а состояние элементов показано в таблице (рис. 5.4).

Принципиальная схема регулятора УРАН приведена на рис. 5.5. Питание регулятора напряжением 27 В постоянного тока осуществляется от источника с пульсацией не более 20 мВ, а датчиков скорости подачи — от двух гальванически несвязанных обмоток искробезопасным напряжением 3,5 В.

Канал регулирования скорости подачи и блок выходных устройств работают следующим образом. Необходимые величины и направление скорости подачи устанавливаются переключателем **33**. Задатчик скорости представляет собой переключатель с последовательно включенными резисторами, которые совместно с резисторами **Я1** и **Я2** в блоке **Б КС** образуют делитель напряжений. Сигнал, величина которого пропорциональна задаваемой скорости, в зависимости от выбранного направления движения подается через резистор **Р7** блока **БКС** и переход «база — эмиттер» транзистора **УТ2** на анод диода **У015** или через резистор **И8** и переход «база — эмиттер» транзистора **УТ3** на анод диода **УИМ**. На диодах **УБ15**, **У017**, **УВ19** и **УИ14**, **УЭ18**, **У023** выполнены трехходовые схемы выделения наибольшего сигнала, выходы которых подключены ко входам трехпозиционного элемента (цепи **22**, **23**), расположенного в блоке **БВУ**. Так как входы трехпозиционного элемента достаточно низкоомны для лучшей защиты от помех, то сигналы с задатчика снимаются через эмиттерные повторители, выполненные на транзисторах **УТ2**, **УТ3**. Последние служат также для того, чтобы исключить влияние на сигналы, поступающие на входы трехпозиционного элемента при шунтировании уставки в режимах ограничения скорости подачи.

Скорость подачи комбайна измеряется датчиком, представляющим собой дифференциальный индуктивный датчик, реагирующий на перемещение статора гидронасоса. Датчик скорости содержит две катушки индуктивности — **Ы1** и **Ы2**, внутри которых перемещается сердечник, механически связанный со статором гидронасоса комбайна.

В зависимости от величины и направления перемещения сердечника изменяются индуктивные сопротивления катушек, а следовательно, и протекающие в них токи. Последовательно с обмотками включены сопротивления (они же являются ограничительными элементами для обеспечения искробезопасности источников), величина которых соизмерима с индуктивными сопротивлениями катушек **И** и **Б2**. При перемещении сердечника датчика изменяются напряжения на катушках, которые поступают на выпрямительные мосты **УШ**, **У02** с нагрузочными резисторами **Р3**, **И4**.

Так как упомянутые выше мосты включены встречно, то на их катодах выделяется разность падений напряжений, которая пропорциональна перемещению сердечника *ДС* и в зависимости от направления движения прикладывается к резисторам *R10* или *R11*.

Сигналы с резисторов *R10* и *R11* поступают на входы активных фильтров нижних частот с величиной среза  $f_0 = 10$  Гц, выполненных на операционных усилителях *DA5* и *DA7*. Частотные характеристики фильтров определяются элементами *C1*, *C3*, *R13*, *R17*, *R18* и *C8*, *C13*, *R15*, *R30*, *R31*, коэффициент усиления по напряжению — резисторами *R13*, *R17* и *R15*, *R30*. Здесь активные фильтры применены для получения достаточно высокой фильтрации сигналов с датчика скорости подачи.

Сигналы с выходов активных фильтров поступают на диоды *VD17* и *VD23*. Через схемы выделения наибольших сигналов *VD14*, *VD18*, *VD23* и *VD15*, *VD17*, *VD19* сигналы с датчика скорости и ее задатчика поступают по цепям *22*, *23* на входы релейного трехпозиционного элемента блока *БВУ*, выполненного на операционных усилителях *DA8*, *DA9*, охваченных положительными обратными связями (резисторами *R58*, *R79*). Входы усилителей подключены к резисторному мосту *R67*, *R68*, *R72*, *R73*, сравнивающему величины фактической и заданной скоростей. Зона нечувствительности определяется величиной сопротивления резисторов *R67*, *R72*. Резисторы *R64*, *R75* при отключенном блоке *БКС* служат для защиты входов операционных усилителей по синфазному сигналу. Выходной сигнал операционных усилителей *DA8*, *DA9* через ключи на транзисторах *VT11*, *VT12* включает реле *K1* или *K2*. Контакты реле, в свою очередь, через эмиттерные повторители *VT8*, *VT10* подключают электрогидрораспределители управления скоростью подачи комбайном. Реле *K1*, *K2* служат для гальванической развязки искроопасных цепей регулятора и искробезопасных цепей электрогидрораспределителей.

Для включения реле обнуления и управления предохранительной лебедкой в блоке *БВУ* имеются ключи, выполненные на транзисторах *VT5*, *VT7*, *VT9* входы ключей *VT5*, *VT7* соединены с эмиттерным повторителем задатчика скорости подачи. При нейтральном положении переключателя задатчика скорости открыт ключ *VT9*, а *VT5*, *VT7* закрыты. Во всех других положениях этого переключателя ключ *VT9* закрыт, а в зависимости от заданного направления движения комбайна открыт ключ *VT5* либо *VT7*.

Реле контроля превышения фактической скорости подачи над заданной выполнено на операционном усилителе *DA6* в блоке *БКС*. На его неинвертирующий вход через схему выделения наибольшего сигнала (диоды *VD11*, *VD12*) подается модуль заданного значения скорости подачи, а на инвертирующий вход через схему выделения наибольшего сигнала (диоды *VD16*, *VD21*) — модуль фактического значения скорости подачи.

Выход реле контроля *DA6* через схему выделения наибольшего сигнала подключен ко входам релейного трехпозиционного элемента. Для защиты входов операционного усилителя *DA6* по синфазному и дифференциальному сигналам на неинвертирующий вход подан постоянный потенциал через резистор *R25* от делителя напряжения *R33* — *R36*

Обнуление скорости подачи при пуске комбайна происходит следующим образом. Так как в начальный момент после пуска комбайна конденсатор  $C22$  блока  $Б КС$  разряжен, то транзистор  $VT4$  открыт, вследствие чего открыт диод  $VD20$  и к базе эмиттерного повторителя  $VT1$  приложен потенциал, соответствующий нулевой уставке скорости подачи. Это приводит к отпираанию диодов  $VD5, VD6$  и шунтированию сигнала с датчика скорости. Время обнуления скорости подачи при пуске определяется параметрами элементов  $C22$  и  $R50$  и составляет 2—3 с.

Канал регулирования по току состоит из датчиков тока, датчика тока, масштабирующего устройства (уставка потока), уставки длительности импульса и блока канала нагрузки.

Канал регулирования по току работает следующим образом. Сигнал, пропорциональный максимальному току двигателей или суммарному их току, через схему выделения наибольшего сигнала (диоды  $VD7, VD8$  и  $VD9$ ) поступает на  $R/C$ -фильтр, выполненный на резисторах  $R21, R22$  и конденсаторе  $C4$  в блоке  $БКН$ . Через резистор  $R21$  происходит заряд конденсатора  $C4$ , а через  $R22$  — его разряд.

С выхода фильтра сигнал, пропорциональный наибольшему току, и опорное напряжение с резистора  $R62$  подаются на входы вычитающего устройства, выполненного на операционном усилителе  $DA1$ . С выхода усилителя разность токов, усиленная в 20—22 раза, для обеспечения статической зоны нечувствительности по току  $\pm 5\%$  подается на вход активного фильтра нижних частот второго порядка  $DA2$  с величиной среза  $f_0 = 10$  Гц. Параметры фильтра нижних частот определяются элементами  $R38, R40, C14, C15$ . С выхода активного фильтра сигнал поступает на вход релейно-импульсного элемента, выполненного на операционных усилителях  $DA3, DA4$  в блоке  $БКН$ , воздействующего на скорость подачи. Релейно-импульсный элемент имеет пять режимов работы в зависимости от соотношения величины опорного напряжения  $U_{он}$ , выделяемого на резисторе  $R62$  и напряжения, снимаемого с конденсатора  $C4$ . Рассмотрим каждый из этих режимов.

Недогруз двигателя более 25 %, т. е.

В этом режиме потенциал на входе релейно-импульсного элемента (точка соединения резисторов  $R65$ ) выше потенциала точки  $A$ , На выходе операционного усилителя. И  $A3$  потенциал положительный относительно точки  $C$ , так как на неинвертирующем входе потенциал равен  $u_a + u_{пр.к} \{u_a$  — потенциал в точке  $A$  относительно точки  $C$ ;  $u_{пр.к}$  — падение напряжения на кремниевом диоде  $Y031$  в прямом направлении), а на инвертирующем входе —  $u_a + u_{пр.г}$  ( $u_{пр.г}$  — падение на германиевом диоде  $YH29$  в прямом направлении).

Потенциал выходного напряжения операционного усилителя  $OA4$  также положительный, потому что потенциал на неинвертирующем входе относительно точки  $C$  равен  $u_{пр.к}$  диода  $ZD37$ , а на инвертирующем входе —  $u_{пр.г}$  диода  $fD44$ .

Так как на выходах операционных усилителей *DA3* и *DA4* высокие положительные потенциалы (выше сигнала с задатчика скорости), канал тока не влияет на работу канала скорости.

Недогруз от 5 до 25 %, т. е.

$$-0,05 > \frac{U_{нб} - U_{нз}}{U_{оп}} > -0,25.$$

В этом режиме состояние операционного усилителя *DA4* остается без изменения, а усилитель *DA3* будет генерировать прямоугольные импульсы, так как потенциал на входе релейно-импульсного элемента меньше потенциала точки *A*. В данном случае потенциал на инвертирующем входе операционного усилителя *DA3* будет больше, чем на неинвертирующем (конденсатор *C25* разряжен). Усилитель *DA3* опрокидывается и конденсатор *C25* заряжается по цепи: точка *A*, конденсатор *C25*, диод *VD26*, резистор *R53*, выходное сопротивление усилителя *DA3*, «минус» источника питания, пока потенциал на инвертирующем входе не станет ниже потенциала на неинвертирующем входе и усилитель не опрокинется в первоначальное состояние (на выходе появится положительный потенциал относительно точки *C*). После этого последует разряд конденсатора *C25* по цепи: точка *A*, резисторный делитель, выходное сопротивление операционного усилителя *DA3*, резисторы *R51*, *R52*, резисторы в задатчике длительности, диод *VD26A*, «минус» конденсатора *C25*. Длительность паузы (0,8—1,2 с) определяется величиной сопротивления резистора *R53*, а импульса (0,1—0,35 с) — величинами сопротивлений резисторов *R51*, *R52* и положением переключателя *S1* задатчика длительности.

В данном режиме релейно-импульсный элемент воздействует на канал скорости. При условии  $V\phi < v_y$  скорость подачи увеличивается импульсно, так как потенциал на инвертирующем входе операционного усилителя *DA6* (блока *БКC*) во время паузы будет ниже, чем на неинвертирующем входе. Вследствие этого большим положительным сигналом с выхода *DA6* через диоды *VD18*, *VD19* и трехпозиционный элемент в блоке *БВУ* периодически отключаются электрогидрораспределители управления скоростью подачи.

Номинальная загрузка двигателя, т. е.

$$+0,05 > \frac{U_{нб} - U_{оп}}{U_{оп}} > -0,05.$$

В этом режиме состояние операционного усилителя *DA4* остается без изменения, а потенциал выходного напряжения усилителя *DA3* в блоке *БКН* по отношению к точке *C* будет отрицательным. Величина статической зоны нечувствительности по току определяется соотношением резисторов *R54*, *R61*, *R65*, *R75* в блоке *БКН*. В этом случае релейно-импульсный элемент воздействует на работу каналов скорости. При  $K\phi < v_y$  потенциал инвертирующего входа операционного усилителя *DA6* будет ниже потенциала неинвертирующего входа, который большим положительным сигналом выключит *DA8*, *DA9* в блоке *БВУ*.

Перегруз двигателя от 5 до 25 %, т. е.

$$0,25 > \frac{U_{\text{в.с.}}}{U_{\text{ном}}} > 0,05.$$

^ОП

В этом режиме состояние усилителя **DA3** в блоке **БКН** останется без изменения, а усилитель **DA4** начнет генерировать прямоугольные импульсы, так как потенциал на неинвертирующем его входе, обусловленный сигналом на входе релейно-импульсного элемента, станет ниже потенциала на инвертирующем его входе и усилитель опрокинется. Конденсатор **C30** начнет разряжаться по цепи: «плюс» конденсатора **C30**, диод **VD47**, резисторы **R80**, **R81** и резисторы задатчика длительности, выходное сопротивление усилителя **DA4**, резистор **R74**, «минус» конденсатора **C30**.

Разряд конденсатора **C30** продолжается до тех пор, пока потенциал на инвертирующем входе усилителя **DA4** не станет ниже потенциала на неинвертирующем, что приведет к первоначальному состоянию усилителя **DA4**, и конденсатор **C30** начнет заряжаться по цепи: выход усилителя **DA4**, резистор **R78**, диод **VD46**, конденсатор **C30**, резистор **R74**, «минус» источника питания.

Длительность паузы (0,8—1,2 с) определяется величиной сопротивления резистора **R78**, а импульса (0,1—0,35 с) — величинами сопротивлений резисторов **R80**, **R81** и положением переключателя в задатчике длительности.

В данном режиме релейно-импульсный элемент воздействует на канал скорости. Так как во время импульса с выхода усилителя **DA4** блока **БКН** поступает сигнал в блок **БКС** малой величины, то диод **VD20** открыт и транзистор **VT1** уменьшает уставку скорости подачи до нулевого значения, что повлечет импульсное снижение скорости подачи.

Перегруз двигателя более чем на 25 %, т. е.

В этом режиме состояние операционного усилителя **BA3** в блоке **БКН** останется без изменения, а усилитель **IA4** перестанет генерировать прямоугольные импульсы и сигнал на его выходе установится отрицательный по отношению к точке **C**, что приведет к непрерывному уменьшению скорости подачи.

Регулятор нагрузки и скорости для очистных комбайнов с вынесенной системой подачи и. Комбайны с вынесенной системой подачи (ВСП), как правило, являются составной частью добычного комплекса. В комплекс КМ-103 входят: комбайн К-103, изгибающийся скребковый конвейер и механизированная крепь М-103. Комбайн К-103 оборудован двумя шнеками, расположенными по концам корпуса на поворотных редукторах, что позволяет производить выемку по Челноковой схеме с самозарубкой в пласт способом «косых заездов». Вдоль забоя комбайн перемещается с помощью двух приводов, расположенных на концевых рамах забойного конвейера, т. е. вынесенных на штреки. Каждый привод состоит из асинхронного электродвигателя мощностью 37 кВт, редуктора, электромагнитной муфты и тянущих цепей. При постоянной ско-

рости вращения якоря электродвигателя электромагнитная муфта позволяет изменять скорость подачи за счет изменения тока в ее обмотках управления.

Если движется комбайн в любую сторону, то передний по ходу привод является тянущим, а задний — подтягивающим холостую ветвь цепи. При реверсе функции приводов меняются. Такие особенности конструкции комбайна не позволяют использовать для его автоматизации рассмотренные ранее регуляторы ИПИР-ЗМ и УРАН.

Регулятор нагрузки и скорости подачи (РНС), предназначенный для комбайнов К-103 и КА-80, входит в комплекс устройств управления механизмами очистного забоя и вынесенной системой подачи К-ЮЗА. Функционально и конструктивно аппаратура разделяется на комплекс устройств управления вынесенной системой подачи (КУВП) и комплекс устройств управления механизмами очистного забоя (КУМОЗ).

Комплекс устройств управления механизмами очистного забоя обеспечивает: телемеханическое управление пускателями комбайна, конвейера, вынесенного механизма подачи, предохранительной лебедки и лебедки для вытяжки траковой цепи (для КА-80) с пульта машиниста комбайна по вспомогательным жилам силового комбайнового кабеля; дистанционное управление этими пускателями (фидерами СУВ) с использованием дополнительного кабеля; аварийное отключение автоматического выключателя с ПМК, с абонентских постов связи по лаве и непосредственное дистанционное отключение его с АУ; дистанционное управление пускателями конвейера с постов управления на приводах конвейера и отключение с абонентских постов связи по лаве; дистанционное управление пускателями насосных станций; реверс конвейера; выбор пункта управления конвейером (ПМК, ближний привод, дальний привод); отдельное или совместное (с выдержкой времени) включение приводов конвейера; выбор режима управления пускателями лебедок — автоматический, местный; автоматическую подачу предупредительного сигнала на комбайне перед включением пускателя комбайна; автоматическую подачу сигнала по лаве перед натяжением тяговой цепи, началом перемещения комбайна и движения конвейера; блокировку сигнала при остановках механизмов менее чем на 5 с; блокировку, возвращающую схему управления в отключенное состояние при любом отключении или невключении механизмов, а также при отсутствии сигнала; нулевую защиту и защиту от потери управляемости при повреждениях в цепях управления; контроль допустимого сопротивления цепи заземления корпуса комбайна; контроль цепей управления; световую индикацию работы механизмов, аварийного отключения автоматического выключателя, исправности элементов, блоков и цепей управления; возможность совместной работы с различными типами аппаратуры радиуправления, сигнализации и громкоговорящей связи.

Комплекс устройств управления с вынесенной подачей обеспечивает: автоматизированный режим работы со стабилизацией нагрузки и скорости подачи; дистанционный режим работы со стабилизацией скорости подачи на заданном уровне, устанавливаемом на пульте машиниста комбайна и отсечкой по току



Блок выходных устройств включает: коммутатор двухполупериодный выпрямитель  $V$ , нуль-орган  $ИА1$ , генератор пилообразного напряжения  $04$ , компаратор  $ЭА2$ , формирователь управляющих импульсов блок силовых тиристоров и электромагнитные муфты  $УС$ .

Задатчиками режима работы служат переключатели и  $Э4$ . В цепи защиты двигателей от перегрузки при дистанционном управлении предусмотрен формирователь сигнала отсечки.

С помощью регулятора обеспечиваются разнообразные режимы работы.

**Ручной режим управления из лавы.** Переключатель  $Б1$  устанавливается в положение «Р», а  $5^в$  в положение «лава». Каналы стабилизации скорости и нагрузки отключены. Управляющий сигнал с выхода цепи задания через переключатели  $Э4$ ,  $Э1$ , коммутатор поступает в схему формирования фазы сигналов для силовых тиристоров. По мере изменения подмагничивания электромагнитных муфт  $УС$  изменяется скорость подачи.

**Ручной режим, управления со штрека.** Переключатель  $Б4$  переводится в положение «штрек»,  $Э1$  остается в положении «Р». На вход блока выходных устройств проходит только сигнал задатчика штрекового ( $ЗШ$ ), все остальные цепи отключены.

**Дистанционный режим управления.** Переключатель  $Б1$  при этом переводится в положение «Д», канал регулирования нагрузки отключен, а сигнал на вход БВУ подается с выхода канала стабилизации скорости  $А4$ . Управляющие сигналы для  $БВУ$  формируются в  $С2$  и  $А4$  с учетом фактической и заданной скоростей подачи. Так как в этом режиме возможны перегрузки двигателей подачи, то выходной сигнал с  $А4$  поступает только, если отсутствует сигнал на выходе порогового элемента  $ИА3$ , контролирующего предельно допустимые сигналы схемы выделения наибольшего сигнала УТ).

**Автоматический режим управления.** Переключатель в данном случае находится в положении «А», положение переключателя  $Б4$  не имеет значения. При этом управляющие сигналы для блока выходных усилителей  $БВУ$  формируются как каналом стабилизации скорости, так и каналом стабилизации нагрузки. На вход схемы  $С2$  подаются три сигнала: датчика скорости  $\{U_{\phi}\}$  задатчика скорости  $u_a$  и канала нагрузки  $I/n$ . Сигнал стабилизации тока нагрузки формируется следующим образом. Сигналы с датчиков тока всех двигателей через масштабирующие устройства  $М1$ ,  $М2$ ,  $М3$  поступают на схему выделения наибольшего из них. Последний, сравниваясь с установкой  $I!уст.$  образует сигнал рассогласования, который через квантователь  $ив$ , периодически замыкаемый генератором  $Б1$ , поступает на интегратор  $А1$ , на выходе которого формируется выходной сигнал канала нагрузки.

Далее описание работы схемы не отличается от дистанционного режима. В качестве элементной базы для реализации принципиальной схемы регулятора приняты, как и для регулятора УРАН, операционные усилители  $ОУ$ , транзисторы и полупроводниковые диоды. Обработка сигналов здесь усложнена, так как тахогенераторные датчики скорости вращения электромагнитных муфт находятся на значительных расстоя-

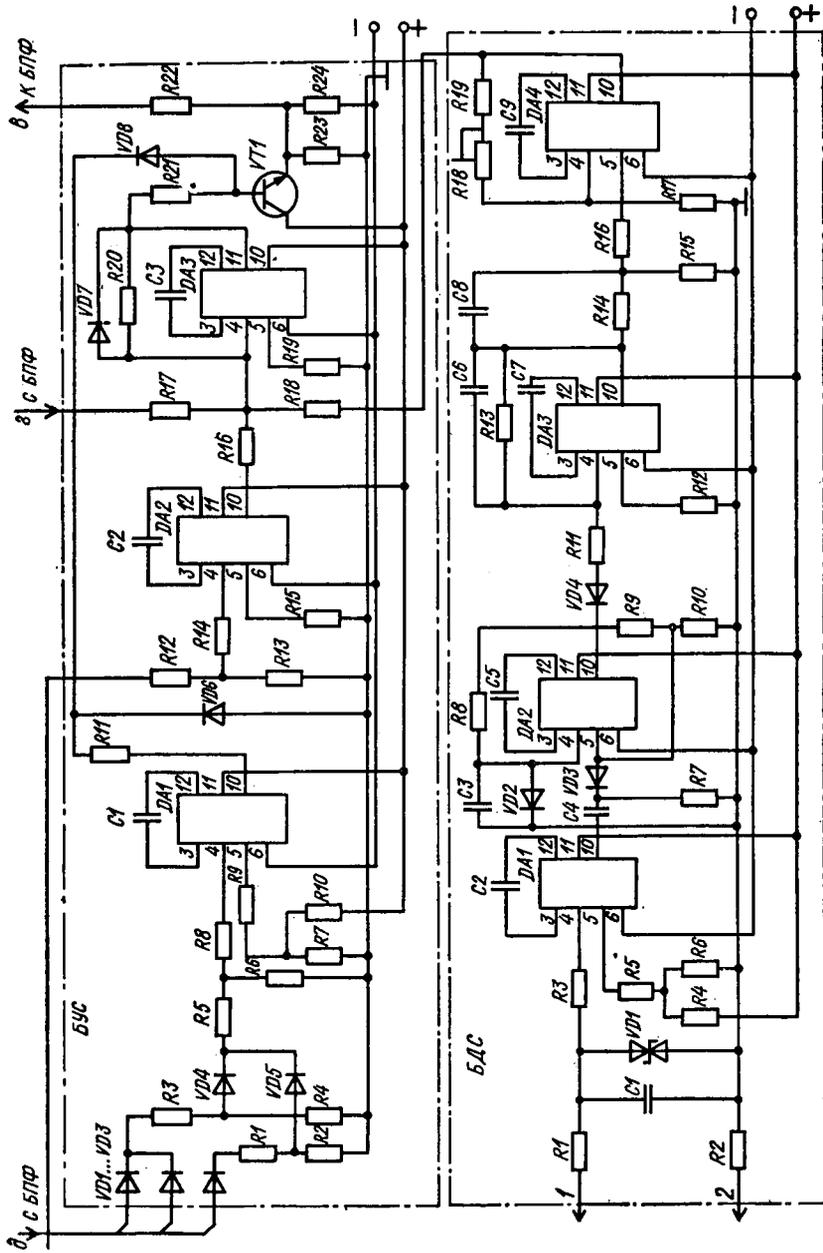


Рис. 5.7. Принципиальная схема канала регулирования скорости

яниях от блока управления. Кроме того, для повышения точности измерения в качестве выходной величины принята частота сигналов переменного тока.

Принципиальные схемы основных узлов имеют ряд других особенностей и значительно отличаются от приведенных выше. Рассмотрим принципиальные схемы основных узлов регулятора РНС.

**Канал стабилизации скорости подачи**, принципиальная схема которого приведена на рис. 5.7, включает датчики скорости, блоки обработки сигналов датчика скорости **БДС**, блок задатчика скорости **БЗС** и блок управления скорости **БУС**.

Сигнал задатчика скорости подачи через инвертор на операционном усилителе **DA2** и **R16** БУС подается на вход сумматора **DA3**, где сравнивается с выходным сигналом **БДС**, если переключатель **S1** (см. рис. 5.6) находится в положении **Д**, или с суммой выходных сигналов **БДС** и **БРН**, если переключатель **Si** пребывает в положении **А**.

Сигнал датчика скорости, частота которого пропорциональна скорости подачи по цепям **1** и **2** поступает в блок датчика скорости **БДС**. Через фильтр нижних частот **R1**, **C1** они поступают на вход компаратора на **ОУ DA1**, который формирует прямоугольные импульсы длительностью, пропорциональной входному сигналу. Прямоугольные импульсы дифференцируются цепочкой **C4**, **R7** и запускают ждущий мультивибратор на **ОУ OA2**, который формирует прямоугольные импульсы с постоянной длительностью и частотой, равной частоте входного сигнала. Далее отрицательные полупериоды этих импульсов усредняются инерционным звеном на **ОУ D A3** и дифференцируются дифзвеном **C8**, **R14**, **R15**. После дифзвена сигнал поступает на масштабный усилитель, выполненный на **ОУ DA4**. Для настройки необходимого коэффициента передачи блока **БДС** служит резистор **R18**.

С выхода **БДС** сигнал, отображающий фактическую скорость комбайна, поступает на вход сумматора **DA3** блока **БУС**. Разностный сигнал с выхода **ОУ DA3** через эмиттерный повторитель на транзисторе **VT1** и резистор **R22** передается на фазосдвигающее устройство блока **БПФ**. На входы блока **БУС** из блока **БПФ** поступают сигналы, пропорциональные текущим значениям токов двигателей подачи. Диоды **VD1**, **VD2** предназначены для выбора большего из входящих сигналов. На вход **3** поступает сигнал, пропорциональный суммарному току двигателей комбайна. Пропорциональные токам сигналы с делителей **R3**, **R4** и **R1**, **R2** подаются на диоды **VD4**, **VD5**, где из них выбирается больший. При достижении наибольшим из сигналов порога срабатывания компаратора на **ОУ DA1** последний опрокидывается. Отрицательное напряжение на выходе **DA1** открывает диоды **VD6**, **VD8**, что приводит к обнулению выходного сигнала блока **БУС**. Скорость подачи снижается до величины, при которой сигнал на входе **БУС** становится меньше порога срабатывания компаратора на **ОУ DA1** в **БУС**.

**Канал стабилизации нагрузки** двигателей режущей и подающей частей включает: датчики токов всех двигателей комбайна; блок переключателей и фильтров (**БПФ**) и блок регулятора нагрузки (**БРН**) (рис. 5.8).

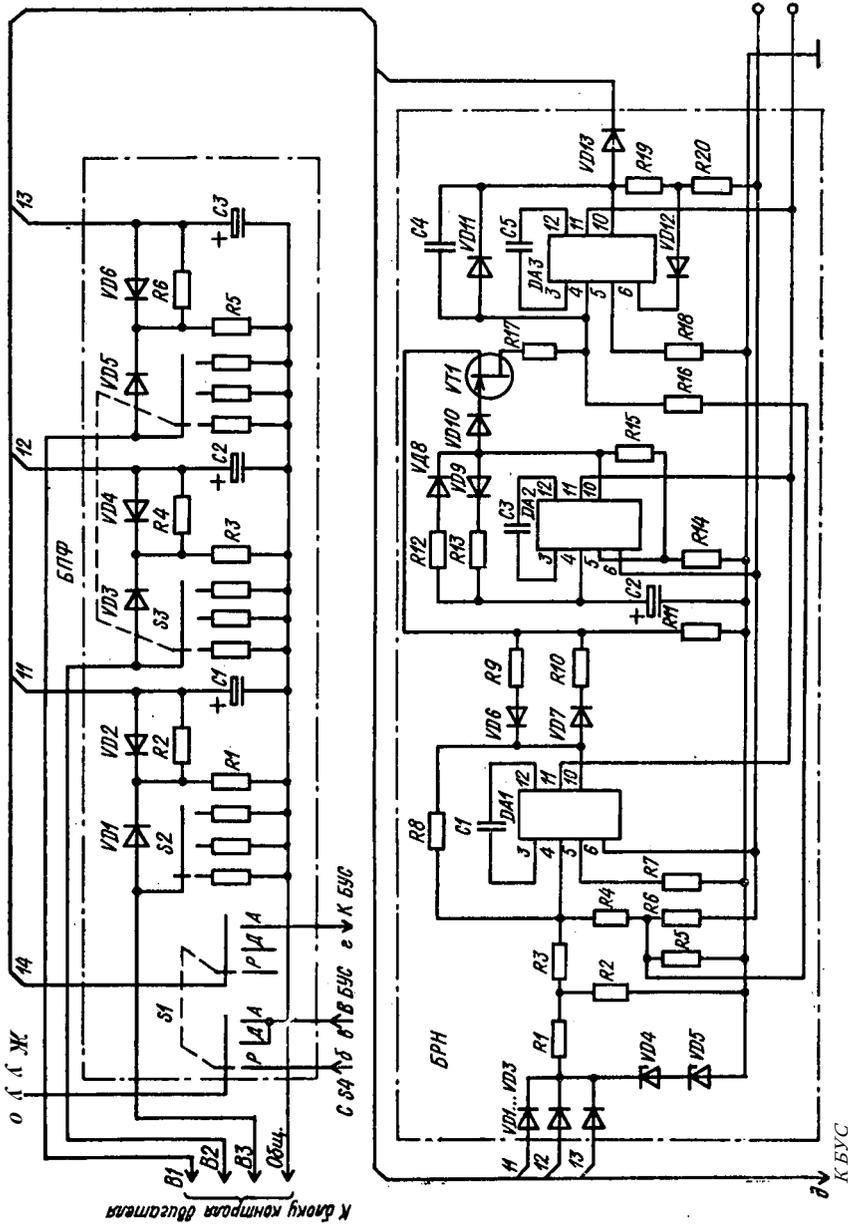


Рис. 5.8. Принципиальная схема канала регулирования нагрузки

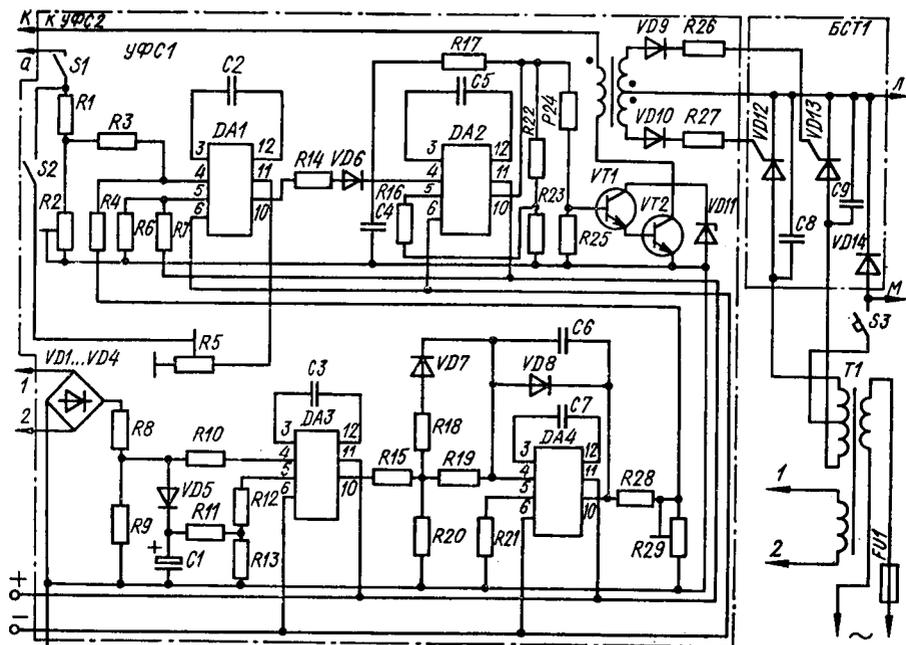


Рис. 5.9. Принципиальная схема блока управления электромагнитными муфтами

В блоке **БПФ** расположены переключатели с резисторными магнзинами, изменяющими уставки на загрузку двигателей. Это позволяет приводить сигналы с датчиков, измеряющих токи двигателей, сильно отличающихся по мощности, к соизмеримым величинам. Там же с помощью  $\wedge$ -фильтров фильтруются высокочастотные помехи. Из блока **БПФ** сигналы пропорциональные, потребляемому двигателями току, по цепям 11, 12, 13 поступают в блок **БРН**, где благодаря согласному включению диодов **VD1**, **VD2**, **VD3** выделяется наибольший сигнал. С амплитудного селектора через делитель **R1**, **R2** сигнал поступает на сравнивающее устройство, выполненное на **ОУ DA1**, где сравнивается с напряжением уставки, подаваемым с делителя **R5**, **R6**. На выходе сравнивающего устройства образуется сигнал рассогласования, который (в зависимости от знака) выделяется на делителе **R9**, **R11** или **R10**, **R11**. Далее сигнал рассогласования через ключ на транзисторе **VT1** поступает на вход интегратора на **ОУ DA3**. Ключ **VT1** управляется сигналом от мультивибратора на **ОУ DA2**. С выхода интегратора сигнал через переключатель **S1** (**БПФ**) поступает в **БВС**, где суммируется с сигналом датчика скорости. При перегрузке двигателей подмагничивание электромагнитной муфты тянущего двигателя уменьшается и снижается скорость подачи, а при недогрузке скорость увеличивается до заданного значения.

**Блок выходных усилителей (БВУ)** (рис. 5.9). Прежде всего рассмотрим устройство фазосдвигающее **УФС**, предназначенное для регулирования тока в обмотке возбуждения электромагнитной муфты скольжения. Оно состоит из нуля-органа, генератора пилообразного

напряжения, сравнивающего устройства, формирователя импульсов управления, усилителя импульсов управления.

Нуль-орган выполнен на микросхеме *DA2*, представляющей собой операционный усилитель. На его вход подается синхронизирующее напряжение, выпрямленное диодным мостом *VD1 — VD2*. При переходе синхронизирующего напряжения через нуль на выходе нуль-органа вырабатывается синхроимпульс, который подается на генератор пилообразного напряжения, выполненный на микросхеме *DA4*. Этот генератор является интегратором с периодическим сбросом, осуществляющимся синхронизирующими импульсами с частотой выпрямленного напряжения. Сравнивающее устройство выполнено на микросхеме *DA1* и представляет собой компаратор напряжений. На неинвертирующий вход компаратора подано опорное напряжение с помощью делителя напряжения *R6, R7*. На инвертирующий вход компаратора подан сигнал, равный сумме двух напряжений — пилообразного и напряжения управления. Величина опорного напряжения выбрана такой, чтобы при отсутствии напряжения управления амплитуда пилообразного напряжения была недостаточной для изменения состояния компаратора. На выходе компаратора существует напряжение, запирающее формирователь импульсов управления, выполненный по микросхеме *DA3*.

На выходе компаратора появляются прямоугольные импульсы, фаза которых зависит от напряжения управления. При этом формирователь импульсов управления вырабатывает импульсы напряжения, фаза которых повторяет фазу импульсов на выходе сравнивающего устройства. Импульсы управления подаются на усилитель на транзисторах *VT1, VT2* и на трансформатор *T*. С выхода усилителя сигнал поступает на управляющие электроды тиристоров, угол отпирания которых зависит от фазы импульсов управления. Максимальному напряжению управления соответствуют максимальные угол отпирания тиристоров и ток в обмотке возбуждения электромагнитной муфты скольжения.

Эксплуатация регуляторов УРАН, ИПИР-3М и КЮЗ-А убеждает, что, несмотря на их высокие показатели, они могут защитить двигатель режущей части от опрокидывания только при относительно медленном увеличении нагрузки до критических значений. Если же увеличение нагрузки ступенчатое, например при заземлении рабочего органа, защитить двигатель от опрокидывания практически невозможно.

Защита двигателей от перегрева в заторможенных режимах осуществляется аппаратурой «Зонд» или «Корд». Эти аппараты применимы для защиты электродвигателей мощностью от 3 до 120 кВт (напряжение 380 В) и от 5 до 210 кВт (напряжение 660 В). Основные узлы аппаратов — датчики тока (ДТ), пороговые элементы с широким диапазоном уставок срабатывания (ПЭ), реле времени (РВ) и исполнительное (выходное) устройство.

Сигналы с ДТ двигателя, пропорциональные потребляемому току, через согласующий элемент подаются на вход ПЭ. Если их величина превышает допустимую токовую нагрузку в течение времени настройки РВ ( $\Delta^* 2$  с), включается усилитель и исполнительный элемент открывает пускатель комбайна.

Особенность аппаратов: питание их измерительных и исполнительных цепей от встроенных трансформаторов тока ДТ1 и ДТ2, используемых как воспринимающие элементы нагрузки. Ток контролируется одновременно в двух из трех фаз, питающих электродвигатель. Чувствительность аппарата регулируется изменением числа витков линейного провода, проходящих через ДТ, и переклещением порога срабатывания ПЭ, что позволяет обеспечить 14 заданных уставок для аппарата «Зонд-1» и 10 уставок для аппарата «Зонд-2».

Все выпускающиеся добычные комбайны комплектуются регуляторами нагрузки и аппаратами защиты «Зонд» или «Корд».

### 5.3. Автоматическое управление рабочими органами по гипсометрии и мощности угольного пласта

Изменение мощности и гипсометрии угольного пласта, заштыбовка конвейера, значительное перемещение комбайна относительно конвейера в профильной плоскости пласта и другие причины приводят к периодическому врезанию рабочих органов в боковые породы.

Ручное управление рабочими органами даже по открытому контакту уголь — порода сопряжено с большими трудностями. Оставление предохранительной пачки определенной толщины без специальных устройств вообще невозможно. Ручное управление приводит к сверхнормативным потерям угля или ухудшению его качества за счет разубоживания присекаемыми породами. Кроме того, при прочных боковых породах смещение рабочего органа за пределы пласта резко сокращает срок службы резов.

Автоматические системы, обеспечивающие заданное положение рабочих органов относительно вмещающих пород, предусматривают применение средств: слежения за старой машинной дорогой; хранения памяти о гипсометрии пласта в функции пути; датчиков открытой или скрытой границы породы — уголь (ДПУ).

Применение первых двух систем сложно, так как гипсометрия может меняться как по длине лавы, так и в направлении подвигания забоя, что требует постоянной корректировки памяти, в противном случае не исключается присечка породы. Системы с использованием ДПУ предполагают наличие высокоинформативных, надежных и способных работать в условиях добычного оборудования датчиков.

Предприняты попытки создания ДПУ на основе различий всех известных науке физико-механических свойств угля и породы. Доказана принципиальная возможность создания ДПУ, основанных на различии их по сопротивлению резания, плотности, упругим свойствам, коэффициенту трения, электропроводности, способности отражать и поглощать электромагнитную энергию и некоторым другим.

При разработке большинства способов ориентировались на какой-либо единичный признак, характерный для определенных условий. Практика однако показывает, что колебания свойств углей и пород в пределах одного пласта могут быть весьма значительными, поэтому диапазон работоспособности большинства известных ДПУ оказывается ограниченным. Датчики, основанные на различии угля и породы по коэффициенту трения-скольжения, упругим свойствам, электро-

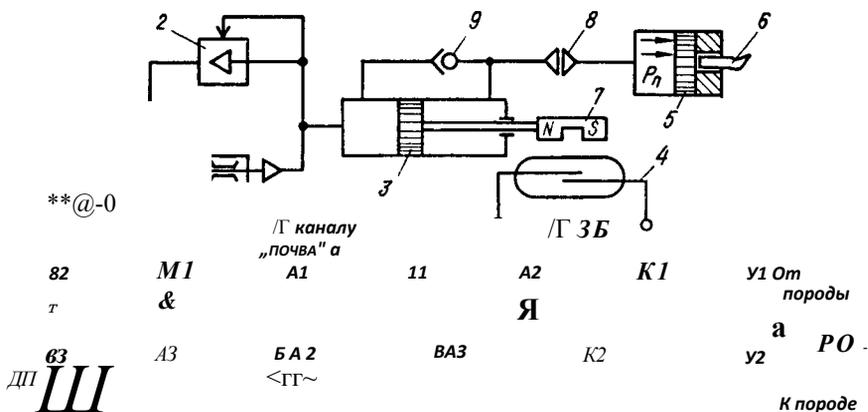


Рис. 5.10. Регулятор положения рабочих органов РУБИН:  
а — гидравлическая часть; б — электронная часть

проводимости на постоянном и переменном токе, электрическому импедансу, плотности, химическому составу, оптическим свойствам и другим, по разным причинам не вышли за пределы опытных и опытно-промышленных производств.

Очевидно, большим диапазоном работоспособности будут обладать измерительные системы, основанные на использовании интегральных оценок свойств, определяющих материал, или системы, позволяющие подключать к ним различные по принципу, но унифицированные по выходу ДПУ. В стадии доводки до серийного производства находятся только датчик открытой границы породы — уголь механического типа системы РУБИН, разработанный НПО Автоматгормаш, и радиоизотопный датчик скрытой границы системы КВАНТ, разработанный ИГД им. А. А. Скочинского и НПО Автоматгормаш.

Система РУБИН содержит воспринимающий элемент — измерительный резец, устанавливаемый непосредственно на исполнительном органе комбайна. Специальная геометрия режущей части резца, мало меняющаяся при износе, обеспечивает воздействие на него осевого усилия  $P_0$ , пропорционально контактной прочности горной массы,

$$P_0 = 0,246P_k/r,$$

где — величина проекции площади затупления резца по задней грани на плоскость резания;  $P_k$  — контактная прочность горной породы.

Для исключения присечек породы рабочими резцами измерительный резец устанавливается в рабочем органе так, что его режущая кромка выступает над рабочими резцами, а для улучшения стабильности и уменьшения износа измерительный резец ставится на одной линии резания за специальным защитным резцом. Дальнейшую обработку превращения осевого усилия в сигнал, удобный для использования в системе управления, можно выполнять с помощью электрогидравлического, тензометрического, магнитоупругого, индуктивного и других преобразователей.

В электрогидравлическом варианте регулятора РУБИН (рис. 5.10,а) измерительный резец 6 опирается на поршень 5, под который по гид-

гидравлическому каналу подается жидкость с давлением, определяемым настройкой переливного клапана 2. Таким образом, в процессе работы на поршень 5 действуют два противоположно направленных усилия — осевое измерительного резца 6, пропорциональное контактной прочности, и поджимающее  $P_n$ , зависящее от настройки переливного клапана 2.

При резании угля усилия равны, и система резец 6 — поршень 5 неподвижна. При резании породы осевое усилие больше поджимающего ( $P_y > P_n$ ), и резец с поршнем 3 следящего золотника электрогидропереключателя, на штоке которого располагается постоянный магнит, перемещается, воздействуя на магнитоуправляемый контакт 4. Если резец отходит от породы, то осевое усилие уменьшается и поджимающим усилием резец — поршень и поршень золотника возвращаются в исходное состояние. Контакты геркона 4 размыкаются. Для электронной части (рис. 5.10, б) системы РУБИН замкнутое состояние контакта 4 отождествляется с породой, а разомкнутое — с углем.

Имеющийся в системе датчик-синхронизатор (ДС) выдает разрешающие сигналы за каждый оборот рабочего органа во время прохождения ДПУ зоны возможной встречи с породой. Это увеличивает помехоустойчивость системы при наличии прослоек породы в угле. При совпадении на входе схемы БА1 двух сигналов (от ДПУ и синхронизатора ДС) на выходе У1 релейного устройства К1 канала ДПУ формируется команда «от породы». Для исключения формирования ложных команд (например, при встрече резца в зоне контроля с породными включениями) предусмотрен фильтр высоких частот Z1.

Если после отработки команды «от породы» сигнал с ДПУ исчезает, то исполнительный элемент У1 фиксирует рабочий орган РО в данном положении. После прохождения добычной машиной очередного отрезка пути I, на который настраивается датчик пути ДП, исполнительный элемент У2 формирует команду «к породе». Так как релейный блок К2 в этом канале самоблокируется, то рабочий орган будет приближаться к породе до тех пор, пока ДПУ не выдает сигнал «порода». Это приведет к появлению сигнала на выходе К.1. Триггер ДАЗ «опрокидывается» (отключится), К2 и У2 отключатся, У1 выключится и отведет РО от породы на один шаг отработки. Далее процессы повторяются.

Корпусная часть электрогидравлической системы РУБИН выполнена на полупроводниковых элементах, работающих в облегченных ключевых режимах. В системе предусмотрен пульт дистанционного управления, позволяющий при визуальном контроле управлять работой системы и в случае необходимости вводить коррекцию.

Система КВАНТ предназначена для управления рабочими органами добычного комбайна по скрытой границе уголь — порода с оставлением угольной пачки толщиной от 0 до 50 мм.

Система КВАНТ [16] состоит из шнекового и корпусного блоков. Шнековый блок устанавливается непосредственно на вращающемся рабочем органе комбайна. Основные его узлы — источник  $\gamma$ -излучения I; приемник вторичного излучения В1, батарея автономного электропитания  $\epsilon В$ , коммутатор К1 и устройство передачи А1

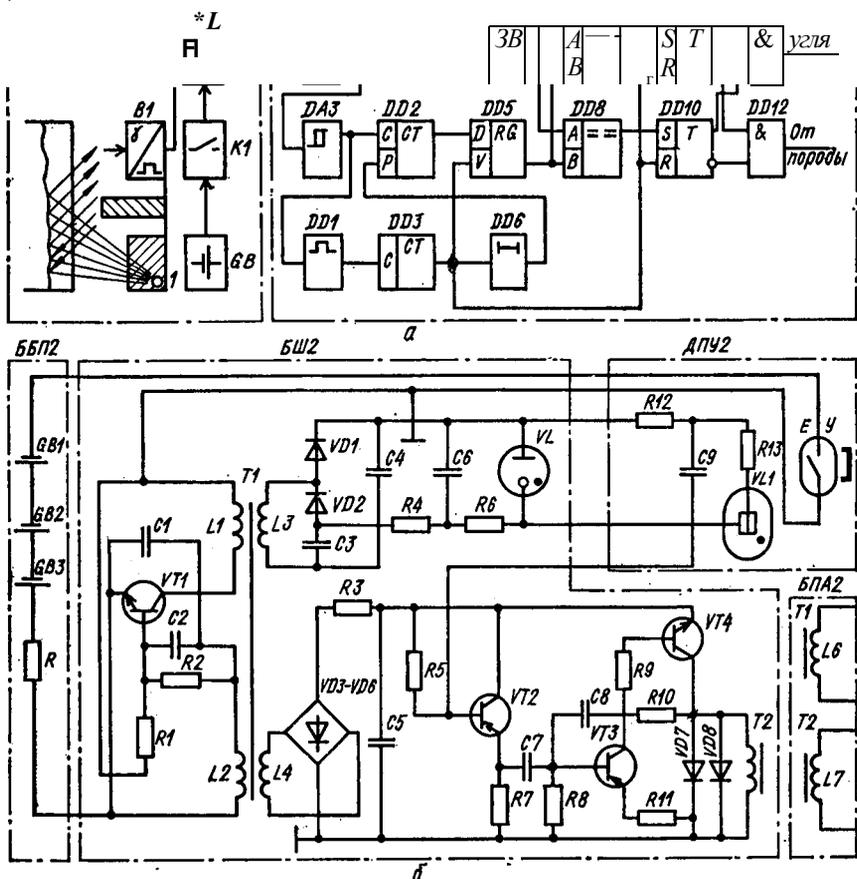


Рис. 5.11. Регулятор положения рабочих органов КВАНТ:

а — функциональная схема; б — принципиальная схема шнекового блока

(рис. 5.11, а). В качестве  $\gamma$ -излучающего устройства используется ампула с радиоактивным Америцием 241. Вторичное излучение фиксируется низковольтными счетчиками СБМ-21.

Контейнер с ампулой изотопа и система счетчиков конструктивно размещаются на одной плате и в одной плоскости, что уменьшает погрешность измерения до 10 % при колебаниях воздушного зазора в пределах 30—100 мм.

В основе первичного преобразователя лежит зависимость количества регистрируемых счетчиков в единицу времени частиц от толщины контролируемой пачки угля.

Как видно из структурной схемы, первичный преобразователь питается от автономной искробезопасной батареи **GB**. Коммутатор **K1** в цепи питания обеспечивает работу в измерительном режиме лишь при прохождении датчиком зоны наименьшего расстояния до породы, что значительно увеличивает время работы батареи и всех остальных

элементов и синхронизируя во времени процессы обработки сигналов. Для питания счетчиков предусмотрены умножители напряжения. Чтобы обеспечить передачу в излучающую систему, сигналы счетчиков формируются и усиливаются.

За каждый оборот рабочего органа коммутатор *К1* включает шнековую аппаратуру один раз во время прохождения датчиком зоны контроля ( $\sim 30^\circ$ ) на время  $t = * 0,1—0,15$  с. За это время в передающую антенну (катушку) поступает серия импульсов в количестве, пропорциональном толщине угольной пачки. Эти сигналы передающей антенны принимаются приемной антенной корпусного блока и после восстановления формы импульсов в *ДАЗ* подаются в счетчик-накопитель *ДД2* и одновибратор *ДД1*.

Для исключения влияния случайных факторов (включения породы, импульсные помехи) исполнительная команда формируется после анализа сигналов, принятых в течение шести сеансов связи, т. е. после шести оборотов рабочего органа. С этой целью одновибратор *ДД1*, запускающийся первым же импульсом, настроен на выдержку времени, перекрывающую весь сеанс связи, т. е. на его выходе количество импульсов равно числу оборотов рабочего органа. Счетчик *ДД3* после каждых шести оборотов рабочего органа выдает сигнал на запись информации счетчика *ДД2* регистра *ДД5* и установку триггеров *ДД9*, *ДД10* в нулевое состояние. Этот же сигнал после блока задержки *ДД6* сбрасывает показания счетчика *ДД2* и подготавливает его к следующему циклу.

С выхода регистра *ДД5* информация об общем количестве накопленных импульсов подается на схемы сравнения *ДД7*, *ДД8*, куда предварительно вводятся уставки по числу импульсов, соответствующих пачке меньше нормы «порода» и пачке больше нормы «уголь». Задания формируются в управляющем блоке *ДД4* на основании экспериментальных или табличных данных.

Если в течение шести оборотов рабочего органа от датчика в регистр поступит количество импульсов меньше, чем заданное значение «порода», то триггеры *ДД9* и *ДД10* не изменят своего состояния и схема совпадения *ДД12* формирует команду от «породы». Если же за это время число импульсов в регистре *ДД7* окажется равным или больше, чем уставка «порода», но меньше, чем уставка «уголь», триггер *ДД9* изменит свое состояние с 0 на 1, а в триггере *ДД10* сохранится нулевое состояние. При такой комбинации состояния триггеров *ДД9*, *ДД10* на выходах схем *ДД11*, *ДД12* управляющая команда отсутствует. Когда в регистрах *ДД7*, *ДД8* за шесть оборотов шнека окажется импульсов больше или число их будет равным уставке «уголь», оба триггера *ДД9* и *ДД10* будут переведены в состояние 1, при этом на выходе схемы совпадения *ДД11* сформируется команда «от угля».

Принципиальная схема шнекового блока системы КВАНТ приведена на рис. 5.11, б. При включении геркона питание от батареи подается на схему автогенератора, собранного на транзисторе *УТ1*. Автогенератор совместно с обмотками трансформатора 77 выполняет роль преобразователя постоянного напряжения в переменное. К выходной обмотке *Б3* трансформатора подключены схема умножения напряжения (*С3*, КО 1, *У02*, *С4*) и стабилизатор напряжения *ИБ*. Таким

образом, низковольтное (4, 5 В) напряжение источника *GB* преобразуется в стабилизированное величиной 390 В для питания счетчиков *VL1, VL2, ..., VL21* типа СБМ-21.

Преобразующая и излучающая часть схемы питается от обмотки *L4* трансформатора *T1* через выпрямитель *VD3—VD6* и фильтр *R3—C5*.

Отраженное от забоя гамма-излучение, воспринимаемое счетчиком *VL1*, вызывает импульсное падение напряжения на резисторе *RI2*. Через емкость *C9* импульсы подаются на базу эмиттерного повторителя *VT2* и через двухкаскадный усилитель на транзисторах *VT3, VT4* в передающую катушку *L5*.

Цепочка *C8, RIO* служит для формирования требуемой длительности импульсов в катушке *L5*. Принятые катушкой *L7* или *L6* сигналы подаются на вход корпусного блока, где обрабатываются в соответствии со структурной схемой.

Диапазон работоспособности аппаратуры КВАНТ ограничен сочетанием уголь — порода, когда абсолютная разность между минимальной зольностью породы и максимальной зольностью угля в зоне контроля составляет не менее 30 %. При этом среднеквадратичная погрешность регулирования составляет  $\pm 20$  мм от величины уставки регулятора.

#### 5.4. Автоматизация управления механизированными крепями

Основные операции по управлению механизированной крепью следующие: разгрузка секции крепи, подтягивание ее к конвейеру, распор стоек и передвижка забойного конвейера. Для разгрузки секции необходимо рабочую жидкость под давлением подать в штоковую полость стойки, а поршневую соединить со сливной магистралью. Рабочая жидкость под давлением подается в гидродомкраты передвижки для подтягивания секции к конвейеру. Распор стоек производится после окончания передвижки подачи рабочей жидкости в поршневую полость. Передвигается конвейер при распертых стойках подачей рабочей жидкости в гидродомкраты передвижки. Подтягиваться секции могут одновременно с разгрузкой стоек или при определенном давлении рабочей жидкости в поршневой полости стоек, когда усилия в домкрате достаточно для перемещения секции крепи и в то же время сохраняется контакт верхняка с кровлей. Передвигаться забойный конвейер может фронтально одновременно по всей длине или волнообразно благодаря подаче жидкости в гидродомкраты по мере перемещения добычной машины.

Таким образом, в конкретных условиях управление крепью сводится к определенной последовательности операций по разгрузке или нагрузке гидроцилиндров. Переход на автоматическое или дистанционное управление не представляет особых трудностей. Однако здесь имеются свои сложности: большое число команд и сигналов, которые должны циркулировать между пультом управления и секциями крепи;

изменяющиеся горно-геологические условия; заштыбовка секций крепи и конвейера; запыленность и т. д.

Перечисленные особенности указывают на то, что крепь из всего забойного оборудования является наиболее сложным звеном автоматизации. В мировой и отечественной практике накоплен значительный опыт по созданию систем контроля и управления механизированными крепями. Это свидетельствует о возможностях проектирования таких систем, но, к сожалению, выбор основных принципов их построения недостаточно обосновывается. В результате практически каждый механизированный комплекс и новая крепь оснащаются индивидуальными системами управления.

Структуры известных и наиболее отработанных систем управления могут быть разделены на несколько крупных характерных групп.

К первой, наиболее простой, группе относятся системы дистанционного управления, при которых выполнение всех операций контролируется визуально. В этом случае все секции крепи делятся на несколько групп, снабженных групповым пультом управления. Секции в группе могут перемещаться индивидуально, все одновременно или в определенной последовательности.

Ко второй группе относятся системы дистанционного управления с централизованным контролем выполнения операций. Поток информации управления в этих системах замыкается через центральный пульт управления (ЦПУ). Управляющие воздействия могут вырабатываться как оператором (комплекс КМ-87А, МКА и др.), так и специальными устройствами.

Управляющие сигналы в таких системах могут передаваться с ЦПУ на каждую секцию или с использованием иерархического принципа.

В последнем случае групповой блок управляется и контролируется с ЦПУ, а все операции внутри группы выполняются по программе группового блока.

В третьей группе систем управления на каждой секции крепи имеется блок управления и контроля. Команды управления здесь формируются на месте (например, в зависимости от местонахождения выемочной машины). На пульте комплекса отображается лишь ограниченное количество известительных сигналов с секций крепи, а все необходимые блокировки осуществляются на месте.

Комбинированные системы предполагают управление крепью с ЦПУ при нормальных горно-геологических и технических условиях, а если нарушаются эти условия — с постов, расположенных в лаве и действующих в автоматическом или дистанционном режимах.

По сложности технической реализации комбинированные системы немногим отличаются от централизованных, но значительно превосходят последние по диапазону работоспособности. Структурная схема комбинированной системы управления представлена на рис. 5.12.

Система содержит реверсивный переключатель с ячейками выбора **1**, которые подключают клапаны управления **2** и блоки датчиков **3** к линиям связи; узлы запуска **4** для управления из лавы; ЦПУ, состоящий из узла приема информации **6**, программного блока **7**, блока индикации и управления **8**, трехтактного генератора хода **9**, счетчика с цифровой индикацией **10**, счетчика числа передвинутых секций

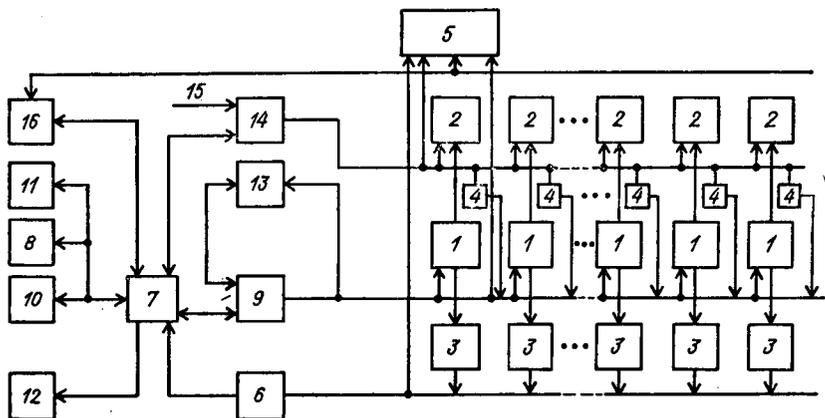


Рис. 5.12. Структурная схема системы управления забойной крепью

11, узла звуковой сигнализации 12, узла ориентации тактовых шин 13, узла контроля обнаженного пространства 14 и переключателя места управления 16. В систему также входит переносной (лавный) пульт управления, позволяющий останавливать работы, выбирать объекты управления, реверсировать и управлять клапанами.

До начала работы блоком 16 оператор выбирает место управления — со штрека или лавы, режим работы — автоматический или дистанционный и направление движения крепи.

При работе с ЦПУ блок управления и индикации 8 подает команду в блок ориентации 13 и в первую или последнюю ячейку выбора направления. Включение ячейки выбора фиксируется трехтактным генератором хода, который готовит цепь питания, программный узел 7, блок 8, счетчики 10 и 11. В блоке 8 предусмотрена индикация номера выбранной для передвигки секции, состояния датчиков и клапанов управления, сигнализация о неподвижке, нераспоре и остановке секции.

Перед началом передвигки блок 12 вырабатывает предупредительный звуковой сигнал, после чего включается клапан 2 выбранной секции, обеспечивающий ее разгрузку и подтягивание к конвейеру. По сигналу датчика 3, поступающему в узел 14 через блок 6, об окончании передвигки вырабатываются сигналы на отключение клапана управления 2, индикацию передвигки в блоки 8 и 11 к программному узлу 7, где готовится цепь передвигки следующей секции.

Отключение клапана 2 является сигналом для включения распора секции, по окончании которого датчик подает сигнал в блок 8 и программный узел 7, выдающий сигнал в счетчик 10 и трехтактный генератор хода 9, формирующих команды на передвигку следующей по ходу секции. При неподвижке или нераспоре крепи цепь для включения секции собрана не будет и автоматический режим передвигки прекратится, а на блоке появится сигнал «неподвижка» или «нераспор».

При работе в режиме дистанционного управления информация от датчиков и узла контроля обнаженного пространства поступает только в блок индикации 8. Все средства управления на ЦПУ при этом от-

ключены с тем, чтобы избежать одновременного управления с двух мест. Запуск системы при работе из лавы в дистанционном режиме производится кнопкой «пуск» на секционной коробке соседней секции.

Прекращение передвижения из-за недораспора или неподвижки крепи требует включения кнопки «обход» остановившейся секции, что блокирует ее датчики. При этом неисправная секция «обходится» и начинается цикл передвижки последующей. При переводе переключателя выносного пульта в режим автоматического управления блокируются все остальные органы его управления. Для управления с ЦПУ необходимо переключатель **16** выбора места управления перевести в соответствующее положение.

Электрогидравлическая аппаратура совершенствуется в направлении расширения ее функциональных возможностей, унификации, повышения надежности. Разработанные в Донавтоматгормаше автоматы на основе микропроцессоров заменят аппаратуру, выполненную на обычных полупроводниковых приборах.

### 5.5. Автоматизация струговых установок

Струговые установки — наиболее эффективное средство подземной добычи угля, обеспечивающее высокую нагрузку на забой, относительно низкую себестоимость и значительно лучшую сортность угля.

При автоматизации струговых установок учитываются их конструктивные особенности (с направляющей или без нее), тип гидрофицированной крепи (индивидуальная, комплектная, агрегатная), угол падения пласта, количество приводных головок, тип привода (электрогидравлический или гидравлический, регулируемый или нет), вид управления крепью и др.

Для эффективной автоматизации струговая установка должна быть оборудована: регулируемым приводом; средствами управления в вертикальной плоскости и регулирования натяжения тягового органа; секционным орошением; устройствами изменения усилия прижатия конвейера к забюю, обеспечивающими выемку угля по всей мощности пласта

Конструктивные особенности стругов позволяют большинство средств автоматики располагать в пульте управления, размещаемом на свежей струе штрека, что значительно улучшает условия работы, но требует большого количества информации о работе автоматических устройств на пульте машиниста.

Существующие комплекты аппаратуры УМС-2, КРОС и АРУС в различной степени отвечают перечисленным требованиям. Наибольшими возможностями обладает аппаратура управления и регулирования стругов (АРУС), которая обеспечивает выполнение следующих основных функций: автоматическое реверсирование приводов струга на заданном участке лавы, в том числе и в ее конечных точках; программное управление давлением в магистрали питания линейных гидродомкратов; автоматическое управление секционным орошением; непрерывную цифровую индикацию местонахождения струга в лаве, направления его перемещения; контроль тока, потребляемого привод-

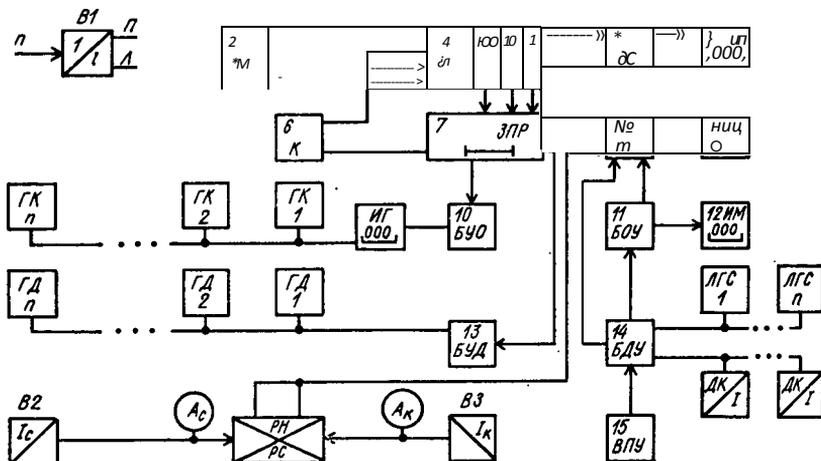


Рис. 5.13. Структурная схема системы управления струговой установкой

ными двигателями, и стабилизацию его нагрузки; индикацию состояния основных и вспомогательных объектов управления; индикацию исправности внешних цепей управления.

В основе функционирования аппаратуры АРУС, блок-схема которой приведена на рис. 5.13, лежит непрерывный контроль местоположения рабочего органа струга. По сигналам указателя нахождения струга **В1** синхронизируются все основные процессы при дистанционном и автоматическом режимах работы.

Местоположение струга непрерывно контролируется магнитогерконовыми датчиками, определяющими направление вращения и число оборотов приводной звездочки. Принятый способ контроля требует автономного питания (аккумулятора), так как исчезновение питающего напряжения может привести к потере информации и отказу.

АРУС работает следующим образом. Сигналы с датчика перемещения **В1** через входное устройство **2** в зависимости от направления движения подаются на шины сложения или вычитания трехразрядного реверсивного счетчика **3**. После дешифровки информация о положении струга высвечивается на цифровом индикаторе положения **5**. При достижении стругом установленной точки в лаве (конец ее или место реверсирования) показания в разрядах счетчика **3** и задатчика пределов реверсирования **7** совпадают, на блок управления **8** подается команда на останов или реверсирование привода.

В связи с тем что в периоды длительного отсутствия питающего напряжения возможны сбои счетчиков, в системе предусмотрен корректор **6**. Корректируются показания подачи сигналов на суммирующий или вычитающий входы счетчика.

Блок оперативного управления **И** и выносной пульт **15** позволяют управлять приводами струга, конвейера и вспомогательными механизмами дистанционно. Взаимная блокировка исключает одновременное управление с двух мест. Команды управления блока **11** отображаются на специальном блоке индикации **12**. Блок управления приводами

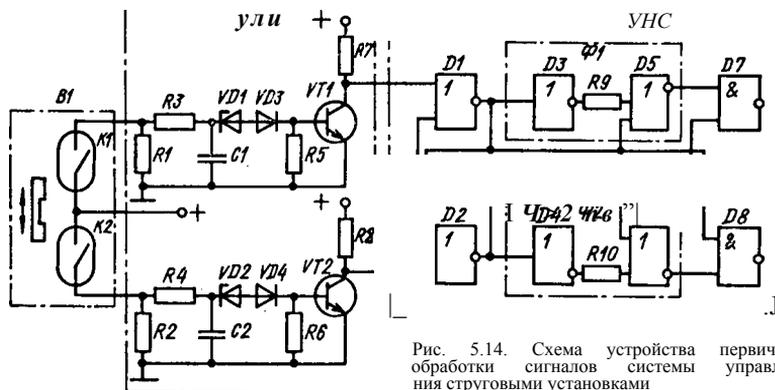


Рис. 5.14. Схема устройства первичной обработки сигналов системы управления струговыми установками

связан с блоком 9 — индикации направления и состояния аварийных и оперативных кнопок.

Орошение включается секционными электрогидроклапанами по мере продвижения струга по лаве. Команды на включение клапанов формируются по сигналам счетчика блоком управления орошением 10 и передаются к исполнению через индикатор включения гидроклапанов (ИГ).

Блок программного управления давлением 13 обеспечивает изменение давления в гидродомкратах (ГД), прижимающих струг к забою, по заданной программе в функции пути, что позволяет поддерживать линейность забоя или исправлять неровности. Для гарантированного отключения привода струга, когда он достигает приводных головок, в системе предусмотрены концевые датчики (ДК).

Степень загрузки приводных двигателей контролируется датчиками тока **B2**, **B3** и отображается приборами, вынесенными на пульт управления оператора. Предусмотрена возможность подключения регулятора нагрузки. Схема устройства первичной обработки сигналов **B1**, входящая в систему АРУС, показана на рис. 5.14.

Реверсивный дискретный датчик пути **B1** состоит из постоянного магнита, установленного на приводном барабане, и двух неподвижных магнитоуправляемых герконов **K1** и **K2**. Сигналы герконов формируются ключами **УТ1** и **УТ2**, пороги срабатывания которых задаются стабилитронами **Уй1**, ..., **У04**.

Схема работает следующим образом. Когда струг движется вперед, сначала замыкается геркон **K1**, затем **K2**, далее размыкаются в той же последовательности. При движении струга назад первым замыкается **K2**, затем **K1**. Выходные сигналы ключей **УТ1** и **УТ2** — исходные для устройства направленного счета (УНС), которое может быть обособленным или являться составной частью масштабного преобразователя. На выходе УНС при движении струга вперед последовательно во времени формируются сигналы **11**, **01**, **00**, **10**, **11**, **01**...; при движении назад — ... **11**, **10**, **00**, **11**, **10**... Выходы триггера **B1**, **B2** при движении вперед одновременно переходят из состояния **10** в состояние **01**, при движении назад — из состояния **01** в состояние **10**. Эти различия позволяют схеме констатировать наличие движения струга и

его направление. При движении вперед изменение состояния выхода триггера из  $1$  в  $0$  фиксирует формирователь  $\Phi 1$ , при движении назад —  $\langle P2$ . Фиксация отображается появлением положительного импульса на выходе двухходового элемента ИЛИ—НЕ —  $05$  (*йб*). Присутствие этого импульса на одном входе схемы совпадения  $07$  создает условия для формирования импульса на выходе сложения при поступлении на второй вход  $1$  с другого выхода триггера  $\xi >$ ,  $\xi > 2$ .

При движении струга назад отрицательные импульсы формируются на выходе «вычитание». Если струг не движется, оба выхода имеют высокие потенциалы.

### ***Контрольные вопросы***

1. В чем заключаются «минимальный» и «максимальный» варианты автоматизации нагрузки двигателя?
2. По каким факторам можно судить о перегрузке двигателя?
3. Как измеряется скорость подачи комбайнов со встроенной подающей частью?
4. В функции каких величин формируются управляющие воздействия в регуляторе ИПИР?
5. От каких факторов зависит ширина управляющих импульсов в регуляторах ИПИР-ЗМ и УРАН?
6. Какими элементами вводится задание по скорости и направлению движения комбайнов в регуляторах ИПИР и УРАН?
7. Как задается нагрузка двигателя резания в регуляторах?
8. Как контролируется скорость движения комбайна с вынесенной подающей частью?
- 9. На каком принципе основана работа датчика «порода — уголь» системы РУБИН?
10. В чем принцип работы датчиков «порода — уголь» системы РУБИН и КВАНТ?
11. Что собой представляет датчик пути системы АРУС?
12. На основании какой информации формируются команды для управления орошением?

## **Г л а в а 6. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ**

### **6.1. Процессы проведения горных выработок и проходческие машины как объекты автоматизации**

Строительство и эксплуатация шахт предусматривает проведение различных горных выработок: вертикальных, горизонтальных и наклонных. Вертикальные выработки проводятся обычно комплексом механизмов с разрушением горного массива буровзрывным способом. Цикл работ при проходке включает бурение шпуров, зарядание их и взрывание, проветривание забоя, погрузку породы в подъемный сосуд и выдачу ее на поверхность, возведение временной и постоянной крепи, разборку временной крепи и армировки. Все эти работы в высокой степени механизированы, но автоматизации пока не поддаются.

В процессе проведения горизонтальных и наклонных выработок возможно разрушение горного массива буровзрывным, гидравлическим или механическим способами.

При буровзрывном способе в забое электрическими, пневматическими сверлами или пневматическими бурильными молотками бурятся шпуры, заряжаются взрывчатым веществом и взрываются. Возводится временная крепь, и отбитая порода грузится погрузочной машиной

в шахтные вагонетки или конвейер. После уборки породы возводится постоянная крепь, в случае необходимости настилагся рельсовый путь, и цикл повторяется снова. Управление всеми механизмами ручное, автоматизация не применяется. Большое количество работ выполняется вручную (заряжание шпуров, зачистка выработки, проходка канавки, настилка пути и др.).

При гидравлическом способе горный массив разрушается струей воды, формируемой гидромонитором, в который вода подается под давлением до 10 000 кПа (100 кг/см<sup>2</sup>). Отбитая порода транспортируется уходящей из забоя водой. Чтобы вывести человека из неблагоприятных условий, разработаны автоматические системы программного управления гидромонитором.

Гидравлический способ проведения горных выработок применяется очень редко при сравнительно мягких породах и поэтому в дальнейшем в этой книге не рассматривается.

Механический способ разрушения горного массива по всему сечению горной выработки и погрузка отбитой породы в шахтные транспортные средства предусматривает использование проходческих комбайнов. Наибольшее распространение получили комбайны избирательного действия со стреловым исполнительным органом и буровые.

Стреловой исполнительный орган выполнен в виде подвижной консольной рукоятки с отбойной коронкой на конце. Разрушается горный массив в процессе перемещения отбойной коронки в пределах забоя выработки по определенной программе. Возможна раздельная выемка угля и породы

Исполнительный орган бурового комбайна состоит из одной или нескольких планшайб, оснащенных режущим или скальвающим инструментом, которые при вращении разрушают сразу всю площадь забоя, выбуривают все сечение выработки.

Комбайны избирательного действия применяются преимущественно в угольной промышленности, буровые — в калийной.

Существующие проходческие комбайны механизацию проходческих работ полностью не решают. Они могут применяться для проходки в сравнительно мягких породах, коэффициент крепости которых не превышает 4 по шкале профессора М. М. Протодяконова, и при угле наклона выработок не более 10 градусов. Их применению препятствуют повышенное горное давление, слабые кровли, дующие почвы, большая обводненность, газовыделение и некоторые другие факторы. Кроме того, при комбайновой проходке остаются десятки операций, выполняемых вручную, и среди них — требующие тяжелого физического труда: крепление выработки, настилка рельсового пути и др.

Ручное управление комбайном избирательного действия делает его производительность, точность выполнения заданной формы сечения выработки, режимы нагрузки зависящими от машиниста, который даже при достаточно высокой квалификации допускает отклонение выработки от заданного направления, искажение ее формы, переборы по сечению, перегрузки приводного электродвигателя стрелового исполнительного органа, что приводит к повышенному изнашиванию отдельных узлов комбайна. Исключить все эти недостатки, облегчить условия труда машиниста может только автоматизация.

Для перевода комбайна избирательного действия на автоматическое управление его необходимо снабдить тремя независимыми автоматическими системами: программного управления перемещением стрелового исполнительного органа, обеспечивающего обработку забоя выработки, и перемещением стола погрузочного устройства; автоматического регулирования нагрузки приводного электродвигателя стрелового исполнительного органа при нормальном режиме работы и защиты его от опрокидывания при резких возрастаниях нагрузки, вызванных твердыми включениями; автоматического управления направлением движения комбайна.

Для автоматизации бурового комбайна, который сразу выбуривает все сечение выработки, необходимо иметь только вторую и третью автоматические системы.

Каждая автоматическая система включает определенную группу агрегатов комбайна, представляющую собою объект автоматизации, обладающий своими особенностями, которые обуславливают требования, предъявляемые к автоматической системе.

## 6.2. Автоматическое программное управление движением исполнительного органа проходческого комбайна

Известны различные способы задания программы движения исполнительного органа проходческого комбайна. Один из них состоит в том, что сечение выработки разбивается условной координатной сеткой на равные части по горизонтали и вертикали. С помощью переключателей, расположенных на панели программного наборного устройства, можно набирать любую траекторию перемещения исполнительного органа с точностью до шага координатной сетки.

При другом способе программа перемещений исполнительного органа в горизонтальной и вертикальной плоскостях задается двумя профилированными дисками, которые приводятся в движение регулируемым электродвигателем и воздействуют на сельсины-датчики, выходные напряжения которых передаются на сельсины-приемники, обеспечивающие соответственно горизонтальное и вертикальное перемещения исполнительного органа. Скорость перемещения задается скоростью вращения дисков в зависимости от нагрузки приводного двигателя исполнительного органа.

Описанные способы применения не получили, так как не могли обеспечить достаточной гибкости и точности задания траектории движения и оперативную корректировку программы в забое.

На проходческих комбайнах ПК-9рА и 4ПП-2 Ясиноватского машиностроительного завода применяется система, разработанная Донецким научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом по автоматизации горных машин Автоматгормаш. Программа перемещения исполнительного органа и стола погрузочного устройства записывается на магнитном барабане при выполнении машинистом образцового (обучающего) цикла управления, который затем воспроизводится в режиме автоматического управления до тех пор, пока не потребуется изменение программы. После этого старая программа стира-

$\Delta Y^{BPP}$

$m \wedge u$  **СПН**  $3u$   
 $n_2,$   $32K - r \text{ Ч}$  НдаН $\wedge$

Рис. 6.1. Функциональная схема системы программного управления

ется, машинист выполняет вручную новый цикл, а в магнитную память записывается новая программа автоматического управления.

На рис. 6.1 приведена функциональная схема системы программного управления перемещением исполнительного органа и стола погрузочного устройства. Полная электрическая схема приводится в книге [18], в техническом описании и инструкции по эксплуатации, прилагаемой к каждому комбайну. Система допускает три режима работы: дистанционное управление, автоматическую запись программы при дистанционном управлении и автоматическое программное управление.

При дистанционном управлении переключатель выбора режима работы (**BPP**) ставится в положение **ДУ**, переключатель запись—воспроизведение (**ПЗВ**) занимает среднее положение, все цепи, в которых он находится, разомкнуты. Управление осуществляется по разомкнутой схеме вручную: с пульта дистанционного управления **ПДУ** команды поступают на блок электрогидроклапанов (**ЭГК**), которые управляют силовыми гидроцилиндрами (**ГЦ**), перемещающими исполнительный орган (**ИО**) и стол погрузочного устройства (**СПУ**) (на схеме не показаны). Сигналы с датчиков положения (**ДП**), контролируемых положение **ИО** и **СПУ**, никуда не поступают, так как соответствующие цепи разомкнуты переключателем **ПЗВ**.

В режиме записи программы переключатель **BPP** ставится в положение **A У**, переключатель **ПЗВ** — в положение **3**. Перед записью новой программы стирается старая. Для этого переключатель стирания (**ПС**) ставится в положение **С**, узел стирания (**УС**) включает электродвигатель, вращающий магнитный барабан и стирающий дроссель. После стирания **ПС** ставится в рабочее положение **P**, магнитный барабан устанавливается в исходном положении. В исходное положение переводится и отбойная коронка **ИО**.

Записывается программа автоматически при управлении **ИО** и **СПУ** с **ПДУ** по разомкнутой схеме. Сначала на **ПДУ** кратковременно нажимается кнопка «пуск». При этом магнитный барабан, расположенный в блоке программного управления (**ПУ**), поворачивается на один шаг и занимает первое положение. С **ПДУ** подается команда на первое перемещение **ИО**, который может двигаться последовательно (например, только вправо-влево и вверх-вниз), как это показано на рис. 6.2. По окончании первого перемещения с **ПДУ** подается команда на

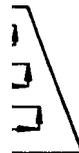


Рис. 6.2 программа остановки **ИО**. На датчиках **Д** формируется двоич- перемещения отбой- кой коронки исполни- ный КОД, соответствующий положению отбойной тельного органа

коронки **ИО** в конце первого перемещения. Через блок записи (£3) этот код записывается на магнитном барабане, после чего он поворачивается на один шаг и система готова для дальнейшей работы. С **ПДУ** подается команда на следующее перемещение **ИО**. После его остановки на магнитном барабане записывается код датчиков положения **ДП**, соответствующий этому положению отбойной коронки **ИО**. Таким образом записываются коды датчиков, соответствующие всем положениям отбойной коронки **ИО** в моменты остановок при обработке всего сечения выработки. В конце программы записывается метка «конец цикла».

Для перевода комбайна на автоматическое управление по записанной программе отбойная коронка **ИО** устанавливается в исходное положение **АУ**, переключатель **ПЗВ** — в положение воспроизведения **В**, переключатель **ПС** остается в положении **Р**. Система приводится в действие кратковременным нажатием кнопки «пуск». Магнитный барабан в **ПУ** поворачивается на один шаг и останавливается в первом положении. Датчики (**ДП**) выдают код, соответствующий исходному положению отбойной коронки **ИО**, с магнитного барабана снимается код, соответствующий положению отбойной коронки в конце первого перемещения. Эти коды подаются на узел сравнения и преобразования кодов и напряжений **СПКИ**.

На основании сравнения кодов выбираются силовые гидроцилиндры и электрогидроклапаны, которые необходимо включить, чтобы обеспечить заданное первое перемещение **ИО**. Коды преобразуются в напряжения, разность которых свидетельствует о наличии разности действительного и заданного программой положений отбойной коронки **ИО** в конце первого перемещения. Включаются выбранные электрогидроклапаны, подающие масло в соответствующие гидроцилиндры, **И О** с вращающейся отбойной коронкой движется в заданном направлении и останавливается в тот момент, когда достигает заданного программой положения, так как разность напряжений, соответствующих кодам датчиков и магнитного барабана, становится равной нулю. Это вызывает поворот магнитного барабана на один шаг, он занимает второе положение, тогда как **ИО** с отбойной коронкой находится в первом. Снова происходит сравнение кодов, появляется разность напряжений, и **ИО** перемещается по следующему, заданному программой направлению. Аналогично обрабатывается весь забой. Если программой предусмотрено перемещение **СПУ**, то на соответствующих участках программы включаются коды датчиков положения **СПУ** и сравниваются с кодами, записанными на магнитном барабане, включаются электрогидроклапаны, питающие силовые цилиндры **СПУ**.

Программное управление **ИО** и **СПУ** осуществляется замкнутой автоматической системой с воздействием по отклонению. Однако режим работы данной системы существенно отличается от классического режима подобных систем, поэтому такие вопросы, как устойчивость системы, качество переходных процессов, выбор соответствующих параметров в системе не возникают. Управляемой величиной является положение отбойной коронки **ИО**. Отклонение действительного положения от заданного преобразуется в напряжение, которое определяет перемещение отбойной коронки в направлении к заданному положению.

Скорость перемещения, или иначе скорость подачи коронки, незначительна, не превышает 10 м/мин, сопротивление перемещению составляет тысячи ньютонов (сотни кг · с), и поэтому влиянием динамической составляющей при перемещении можно пренебречь, переходный процесс отсутствует. Когда напряжение, соответствующее отклонению, становится равным нулю, коронка останавливается с точностью, обусловленной точностью и временем срабатывания отключающих устройств (30—50 мм). Перерегулирования исключены. На этом заканчивается управление перемещением отбойной коронки на один шаг и осуществляется переход к следующему шагу.

### 6.3. Автоматическое регулирование нагрузки приводного электродвигателя исполнительного органа и защита его от опрокидывания при перегрузках

Нагрузка приводного электродвигателя (*ПЭ*) исполнительного органа (*ИО*) (рис. 6.3), вращающего отбойную коронку, зависит от скорости подачи, т. е. от скорости углового перемещения *ИО*. Скорость подачи определяется количеством масла, подаваемого через электрогидроклапан (*ЭГК*) в силовой гидроцилиндр (*ГЦ*), поворачивающий *ИО*. Для полного использования технических возможностей комбайна скорость подачи следует устанавливать такой, чтобы приводной электродвигатель нес полную нагрузку, определяемую максимально допустимой температурой его обмоток. При встрече отбойной коронкой твердых включений, когда нагрузка электродвигателя достигает значения выше критического, для предотвращения его опрокидывания подача мгновенно должна быть уменьшена до нуля. После снижения нагрузки подача должна быть снова включена. При ручном управлении машинист не в состоянии выполнять все эти операции. Комбайн обычно работает либо с недогруженным, либо с перегруженным электродвигателем *ПЭ*, а при встрече твердых включений электродвигатель, как правило, опрокидывается. Это приводит к потере производительности, повышенному износу отдельных узлов, к преждевременному выходу комбайна из строя.

Комбайны ПК-9рА и 4ПП-2 снабжаются автоматическим регулятором нагрузки приводного электродвигателя и защитой его от опрокидываний при более чем двукратных перегрузках.

На рис. 6.3 приведена функциональная схема импульсного релейного пропорционально-интегрального регулятора (*ПИ-регулятора*), разработанного научно-производственным объединением Автоматгормаш. Измерение нагрузки приводного электродвигателя исполнительного органа производится измерительным элементом (*ИЭ*), в качестве которого применен трансформатор тока, включенный в одну



Рис. 6.3. Функциональная схема регулятора нагрузки приводного электродвигателя исполнительного органа

фазу статора *ПЭ*. Переменное напряжение, снимаемое с потенциометра, включенного на зажимы трансформатора, выпрямляется и подается в схему сравнения (*СС*), сравнивается с выпрямленным напряжением, снимаемым с задающего потенциометра (3/7). Величина отклонения нагрузки (*Я*) приводного электродвигателя от заданного значения определяется величиной разности напряжений на выходе схемы сравнения, знак отклонения — полярностью разности напряжений. Через импульсное устройство (*ИУ*) разность напряжений подается на релейный усилитель (*РУ*), который в зависимости от ее полярности включает электрический микродвигатель дросселя-регулятора (*ДР*) либо в направлении уменьшения скорости подачи, либо в направлении ее увеличения. При повороте вала дросселя-регулятора в одну сторону проходное сечение сливного отверстия увеличивается, уменьшается количество масла, поступающего через электрогидроклапан в силовой гидроцилиндр, уменьшается скорость поворота исполнительного органа (другими словами, скорость подачи) и, следовательно, уменьшается нагрузка приводного электродвигателя. При повороте вала дросселя-регулятора в противоположном направлении проходное сечение сливного отверстия уменьшается, увеличивается скорость подачи и нагрузка приводного электродвигателя. Процесс изменения нагрузки протекает достаточно медленно, и, чтобы уменьшить возможность перерегулирования, в цепь передачи воздействий включено импульсное устройство, представляющее собой мультивибратор, собранный на двух транзисторах и последовательно включающий и выключающий релейный усилитель (*РУ*). При выключении *РУ* отключается микродвигатель дросселя-регулятора, цепь управления размыкается, а в это время изменяется скорость подачи. Затем *РУ* снова включается, и, если действительная нагрузка не достигла заданного значения, происходит поворот вала дросселя в том же направлении. Когда действительная нагрузка достигает заданного значения, разность напряжений на выходе схемы сравнения становится равной нулю, релейный усилитель отключает микродвигатель *ДР* и изменение скорости подачи прекращается.

Несмотря на наличие импульсного устройства, вал *ДР* иногда проворачивается в какую-либо сторону в крайнее положение, микродвигатель стопорится и в таком состоянии включается в сеть, что может повлечь выход его из строя. Для защиты микродвигателя от длительной работы в режиме стопорения в регулятор введено специальное электронное реле времени (*РВ*), которое отключает микродвигатель от сети, если время включения его в одном направлении превышает 10—12 с. Это происходит тогда, когда дроссель занял крайнее положение, а скорость подачи и нагрузка приводного электродвигателя исполнительного органа снижаются слишком медленно. Цепь управления в данном случае не прерывается, но, так как дроссель дошел до упора, микродвигатель не вращается независимо от того, включен он в сеть или нет. Когда действительная нагрузка *ПЭ* достигнет заданного значения, релейный усилитель тоже разрывает свой контакт в цепи микродвигателя и одновременно подает команду на возврат реле времени, которое с небольшой выдержкой времени замыкает свой контакт в цепи микродвигателя, но тот остается отключенным контактом релейного устрой-

ства. Теперь при появлении разности между действительным и заданным значениями нагрузки электродвигателя, обычно противоположного знака, релейное устройство снова включает микродвигатель дросселя-регулятора, но уже на противоположное направление вращения, и из крайнего положения он поворачивает дроссель в направлении к другому крайнему положению. Такая работа автоматической системы свидетельствует о неправильном выборе ее параметров. Здесь принято недостаточно большое передаточное отношение от вала микродвигателя к валу дросселя, и дроссель слишком быстро достигает крайнего положения. Исправить положение можно было бы, увеличивая переход и уменьшая скважность импульсов, но вместо этого введен дополнительный элемент — реле времени, без которого можно было бы обойтись.

При двукратных и более перегрузках приводного электродвигателя, например когда отбойная коронка встречается с твердыми включениями, срабатывает защита от опрокидывания, состоящая из реле защиты от опрокидывания (*РЗО*), собранного на транзисторах, которое срабатывает, если напряжение на выходе измерительного элемента (*ИЭ*) превысит удвоенное значение напряжения, соответствующему заданному значению нагрузки приводного электродвигателя. Реле воздействует на электрогидроклапан, который соединяет напорную магистраль со сливом. Давление масла в гидроцилиндре резко сбрасывается, *ИО* под действием сил реакции на отбойную коронку отходит от забоя. Когда нагрузка приводного электродвигателя снижается, защита от опрокидывания восстанавливает прежнее состояние своих контактов, восстанавливая тем самым цепи управления *ИО*, который продолжает рабочее движение с установленной регулятором скоростью подачи.

#### 6.4. Автоматическое управление направлением движения комбайна

Каждая горная выработка должна иметь строго установленное направление. От точности выдерживания направления зависят точность вскрытия пластов полезного ископаемого, сток воды по выработкам, работа внутришахтного транспорта и, таким образом, работа выемочного участка в целом. Точность направления выработок традиционно контролируется маркшейдерским надзором путем периодических замеров, выполняемых вручную. Такой контроль не исключает ошибок при проходке и связан с затратами большого количества труда и средств на исправление выработок. Если проводятся выработки буровзрывным способом или гидравлическим, иного способа контроля направления выработки применить невозможно. При проведении выработок с помощью проходческих комбайнов, обеспечивающих высокие скорости проходки, маркшейдерский контроль, требующий относительно много времени и остановки комбайна на время проведения замеров, существенно сдерживает его производительность. Необходимость повышения производительности комбайнов делает актуальной задачу автоматизации управления направлением его движения. Эта задача важна и для других типов проходческих машин: буросбоечных, для бурения скважин и для проходки туннелей.

Автоматизация управления направлением движения проходческого комбайна усложняется тем, что он, объект автоматизации, при движении в пространстве не обладает самовыравниванием. Как любое свободное твердое тело, комбайн имеет шесть степеней подвижности: прямолинейные движения по трем перпендикулярным направлениям и вращение вокруг трех перпендикулярных осей. В горной выработке под действием внутренних и внешних сил комбайн может неограниченно двигаться в направлении равнодействующей этих сил.

Управление должно стабилизировать направление движения комбайна в вертикальной и горизонтальной плоскостях и крен (поворот вокруг продольной горизонтальной оси). Изменение направления движения в вертикальной плоскости производится перемещением исполнительного органа вверх или вниз, в горизонтальной — гусеничным ходом и распорными домкратами, ликвидация крена — исполнительным органом и домкратами.

Система автоматического управления должна контролировать направление движения проходческого комбайна и в случае отклонения его от заданного воздействовать на органы управления так, чтобы они не превышали допустимых пределов.

Выполнение указанных функций может обеспечить замкнутая система автоматического управления, которая должна включать: устройство, контролирующее направление движения комбайна и формирующее сигнал, пропорциональный отклонению действительного направления движения от заданного; устройство, вырабатывающее команды на органы управления комбайном с целью уменьшения отклонения.

Контроль направления движения комбайна в горизонтальной и вертикальной плоскостях может осуществляться различными способами, и поэтому целесообразно применять независимые системы автоматического управления движением в указанных плоскостях.

Способов автоматического контроля направлением движения проходческих комбайнов два: с привязкой комбайна к неподвижной системе координат с помощью натянутой гибкой нити, механической связи с опорной точкой в выработке, лазерного луча; без привязки к неподвижной системе координат. В последнем случае применяются датчики, использующие маятники, компасы магнитные и гироскопические, определяющие открытую или закрытую границу породы — уголь, или вычисляется траектория образующей точки комбайна интегрированием угла отклонения направления движения по скорости или пройденному пути.

При проведении прямолинейных выработок наиболее перспективным является контроль направления движения проходческого комбайна с помощью лазерного луча. Всесоюзным научно-исследовательским маркшейдерским институтом разработаны взрывобезопасные лазерные

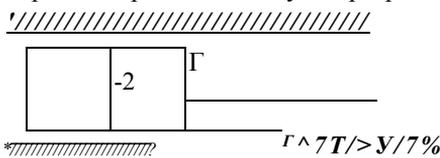


Рис. в.4. Лазерный контроль направления движения комбайна

устройства для контроля направления горных выработок на расстоянии до 1000 м, если содержание пыли в атмосфере меньше 50 мг/м<sup>3</sup> и относительная влажность 98—100%.

Лазерный излучатель 1 (рис. 6.4) неподвижно закрепляется в выра-

ботке позади комбайна в точке, координаты которой известны, а направление луча выставляется по заданному направлению выработки. На комбайне устанавливается приемник лазерного излучения 2 с фотосопротивлением 3. Если комбайн движется по заданному направлению, лазерный луч находится в центре приемника и не засвечивает фотосопротивления, а если комбайн отклоняется от заданного направления, луч лазера засвечивает одно из фотосопротивлений и в зависимости от того, какое именно, формируется команда на органы управления комбайном, которые должны вернуть его к заданному направлению.

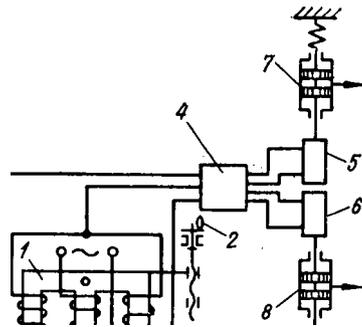


Рис. в.5. Маятниковый уклономер

Попытки установить механическую связь комбайна с неподвижной системой координат натянутой нитью или другими устройствами показали их практическую бесперспективность.

На рис. 6.5 приведена одна из возможных схем автоматической системы стабилизации уклона комбайна с применением маятникового уклономера при прохождении выработки с заданным уклоном в вертикальной плоскости (6).

Сердечник 1 уклономера с помощью рукоятки 2 устанавливается в горизонтальное положение в то время, когда комбайн расположен под заданным уклоном в вертикальной плоскости. Под действием маятника 3 соединенный с ним якорь занимает горизонтальное положение, при котором между якорем и крайними стержнями сердечника устанавливаются одинаковые зазоры. На среднем стержне расположена обмотка возбуждения переменного тока, а на крайних стержнях — вторичные обмотки, э. д. с. которых включены встречно и при одинаковых зазорах между стержнями и якорем взаимно компенсируются.

Если комбайн отклоняется от заданного уклона, сердечник уклономера отклоняется от горизонтали, а якорь под действием маятника остается в горизонтальном положении, зазоры между ним и крайними стержнями сердечника становятся неодинаковыми. На выходе обмоток появляется нескомпенсированная э. д. с., величина которой пропорциональна величине отклонения уклона от заданного значения, а фаза указывает знак отклонения. Эта э. д. с. усиливается и преобразовывается в аппарате управления 4, который вырабатывает сигналы, включающие электромагниты 5 или 6 в зависимости от знака отклонения. Электромагниты через золотники 7 или 8 могут воздействовать на органы управления, вызывающие поворот комбайна в вертикальной плоскости.

Институтом Автоматуглерудпром разработан автоматический стабилизатор уклона АСУ-2, чувствительным элементом которого является электролитический уровень, преобразующий угловые перемещения в изменение активных сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  (рис. 6.6) [6].

Сопротивления  $R_1$  и  $R_2$  образуют с сопротивлениями  $R_3$  и  $R_4$  фазочувствительный мост. При заданном уклоне комбайна и горизонтальном положении электролитического уровня сопротивления его

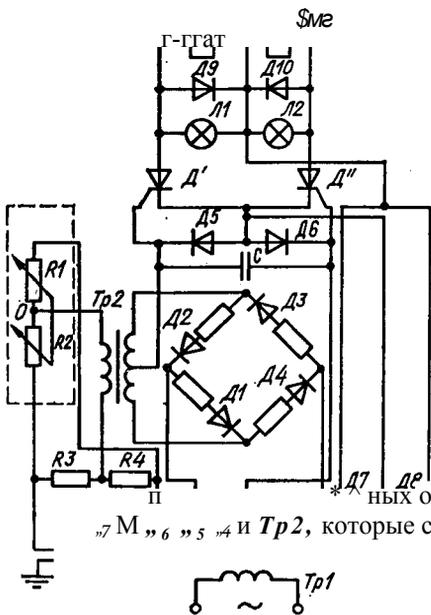


Рис. 6.в. Автоматический стабилизатор уклоня

плеч *М* и *Я2* одинаковы, точки *О'* и *О''* диагонали моста имеют одинаковый потенциал, в обмотках трансформатора *Тр2* ток отсутствует. Концы вторичной обмотки этого трансформатора подключены к двум противоположным точкам кольцевого фазового детектора. На две другие точки фазового детектора с обмоток 5 и №6 трансформатора *Тр1* подается опорное напряжение, величина которого в 10—20 раз превышает максимальное напряжение вторичных обмоток *W1* к *УР2* трансформатора *Тр2*.

Выход кольцевого фазового детектора — средние точки вторичных обмоток трансформаторов *Тр1* и *Тр2*, которые соединены с управляющими электродами тиристоров (управляемых диодов) *Д'* и *Д''*. Под действием опорного напряжения в зависимости от мгновенной полярности переменного тока открываются

диоды *Д1* и *Д4*, а диоды *Д2* и *Д3* закрываются. При перемене полярности открываются диоды *Д2* и *Д3*, а диоды *Д1* и *Д4* закрываются.

Если напряжение отсутствует на обмотках трансформатора *Тр2*, под действием напряжений обмоток №5 и №6 протекают токи. Однако в выходной цепи, идущей к управляющим электродам тиристоров *Д'* и *Д''*, они направлены в противоположные стороны, взаимно компенсируются, и, таким образом, выходной сигнал отсутствует.

При отклонении угла наклона комбайна от заданного значения через первичную обмотку трансформатора *Тр2* проходит ток, фаза которого определяется знаком отклонения. На вторичной обмотке возникает напряжение, фаза которого в зависимости от знака отклонения либо совпадает с фазой опорного напряжения, либо пребывает с ним в противофазе. В работе находится только та половина вторичной обмотки трансформатора *Тр2*, которая соединена с открытыми диодами фазового детектора. Под действием напряжения включенной половины вторичной обмотки *W1* или №2 в выходной цепи протекает ток, который открывает тиристор, в управляющий электрод которого он входит. Когда полярность опорного напряжения меняется, в работу включается другая половина вторичной обмотки трансформатора *Тр2*, но так как в ней полярность меняется одновременно с полярностью опорного напряжения, то направление тока в выходной цепи не изменится и будет открыт тот же тиристор. Через открытый тиристор соединенные с ним электромагниты *ЭМ1* или *ЭМ2* получают питание от двухполупериодного выпрямителя, собранного на диодах *Д7* и *Д8*. Включаясь, электромагнит может воздействовать на органы управле-

ния комбайном, которые сводят к нулю отклонение угла наклона от заданного значения.

Лампы *Л1* и *Л2* предназначены для сигнализации о работе стабилизатора уклона и первоначальной установки уровня в горизонтальное положение. Диоды *Д5* и *Д6* разделяют цепи управления тиристоров, диоды *Д9* и *Д10* защищают катушки электромагнитов от перенапряжений при отключениях, конденсатор *С* уменьшает пульсацию тока в цепях управления, сопротивление *Я5* обеспечивает искробезопасность цепи питания электролитического датчика.

Если штреки проходят по простиранию угольного пласта при постоянном уклоне в вертикальной плоскости, выработка не должна выходить за пределы пласта. В этом случае выработку проходят так, чтобы сохранялось неизменное расстояние от границы уголь — порода, например, до подошвы выработки (проходка по проводнику). Для реализации такой системы нужен датчик открытой или скрытой границы уголь — порода. Однако существующие датчики не доведены до промышленного производства и для контроля направления движения проходческих машин не применялись.

Разработано несколько систем автоматического управления движением проходческого комбайна с применением различных способов автоматического контроля его направления. Однако пока еще ни одна из них не доведена до промышленного внедрения из-за несовершенства органов управления движением комбайна. Работы по устранению этого недостатка продолжаются.

Экономический эффект при полной автоматизации проходческих работ может быть достигнут за счет сокращения численности обслуживающего персонала, более качественного прохождения выработок (исключение лишних присечек породы), повышения темпов проходки и роста производительности труда.

Кроме того, автоматизация проходческих работ позволит вывести рабочих из призабойной зоны с чрезвычайно неблагоприятными условиями труда.

### ***Контрольные вопросы***

1. Какие способы проходки выработок поддаются автоматизации?
2. Какими автоматическими системами необходимо снабдить комбайн избирательного действия, а какими Суровой?
3. Объясните программное управление перемещением исполнительного органа стрелового комбайна?
4. Как осуществляется автоматическое регулирование нагрузки приводного электродвигателя исполнительного органа и защита электродвигателя от опрокидывания?
5. Укажите способы автоматизации управления направлением движения комбайна?
6. Что обуславливает экономическую эффективность автоматизации проходческих комбайнов?

### 7.1. Конвейерный транспорт как объект автоматизации и требования к аппаратуре автоматизации

— Конвейерный транспорт включает эксплуатируемые на шахтах конвейеры — скребковые (одно- и двухцепные) и ленточные, оборудованные асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором. Промышленность выпускает ряд моделей ленточных магистральных конвейеров типового ряда с повышенной производительностью и длиной става 2—4 км, оснащенных асинхронными двигателями с фазным ротором.

^ ■ Если горная масса транспортируется на большие расстояния, отдельные конвейеры объединяют в единую систему транспортировки, называемую конвейерной линией. По своей структуре конвейерные линии делятся на разветвленные и неразветвленные. **Н е р а з в е т в л е н н а я л и н и я** состоит из одного маршрута, в котором на каждый конвейер груз поступает только с одного предыдущего конвейера. **Р а з в е т в л е н н а я** включает конвейеры главного направления и конвейеры, расположенные на его ответвлениях и транспортирующие груз на конвейеры главного направления. Разветвленная линия может включать два маршрута и более, которые образуются конвейерами ответвления и теми конвейерами главного направления, по которым груз доставляется от ответвления до погрузочного пункта.

По технологическому назначению конвейерные линии подразделяются на стационарные, полустационарные и передвижные.

Стационарные конвейерные линии расположены в капитальных горных выработках, срок службы которых определяется временем отработки всего шахтного поля или его крыла. Эти линии отличаются производительностью, протяженностью и часто бывают разветвленными, с несколькими маршрутами.

Полустационарные конвейерные линии состоят из конвейеров, расположенных в участковых выработках, срок службы которых соответствует времени отработки участка.

Передвижные конвейерные линии расположены в очистном забое, просеке и печи, передвижку и перенос их делают после каждого цикла работы добычного агрегата. Эти конвейерные линии имеют один маршрут. Срок службы их небольшой.

Управление конвейерными установками связано с пуском и остановкой электродвигателей, приводящих в действие рабочие органы конвейеров, иногда с изменением направления их движения, скорости движения и торможения.

При автоматизации конвейерного транспорта применяются: местное и централизованное автоматизированное управление одиночным конвейером; централизованное автоматизированное управление конвейерной линией и автоматическое. Каждый из видов управления обеспечивает автоматическое выполнение заданной последовательности операции пуска и останова, а также регулирование режимов работы (в случае необходимости) механизмов конвейера или конвейерной линии с соблюдением требуемых защитных отключений и блокировок. При этом могут устанавливаться следующие режимы пуска и останова:

пуск конвейерной линии (части линии) — процесс пуска механизмов линии (части линии) по командам оператора или технологических датчиков в последовательности, исключаящей завал мест перегрузок (в направлении, обратном грузопотоку); оперативный останов механизма — процесс останова механизма при его нормальной работе, осуществляемый по управляющим командам от оператора (диспетчера) обслуживающим персоналом на месте или автоматически от технологических датчиков;

аварийный останов механизма — процесс, осуществляемый в случае нарушения нормальных пусковых и рабочих режимов работы механизма;

экстренный останов конвейера — останов конвейера, осуществляемый с наложением тормозов одновременно с подачей команды на отключение привода конвейера;

защитное отключение — снятие напряжения питания с двигателя привода конвейера с целью аварийного или экстренного останова.

Для ленточных конвейеров, оборудованных тормозами, кроме бремсберговых, оперативный и аварийный останов осуществляется с наложением тормозов при скорости ленты меньше 0,5 м/с. Конструкция бремсберговых конвейеров предусматривает торможение одновременно с подачей команды на отключение привода конвейера.

Оперативный и аварийный остановки ленточных конвейеров, на которых не установлены тормоза, выполняются на свободном выбеге. Экстренный останов невозможен.

При автоматизации конвейерного транспорта предусматривается несколько видов сигнализации.

**Предупредительная сигнализация** — звуковой предупредительный сигнал длительностью не менее 5 с, автоматически подаваемый перед пуском каждого механизма (для конвейера — слышимый по всей длине).

**Оперативная сигнализация** — световая сигнализация о состоянии механизмов в линии типа «включен» или «отключен» механизм, а также сигнализация по ориентации органов управления.

**Аварийная сигнализация** — звуковая и световая сигнализация о нарушении нормальной работы линии и механизмов.

**Вызывная (кодовая) сигнализация** — звуковая сигнализация, подаваемая для вызова обслуживающего персонала.

Неисправности в работе конвейеров, вызываемые механическими неполадками или нарушениями в электрической части, снижают скорость движения или приводят к остановке рабочего органа конвейера. Поэтому контроль скорости движения последнего является основным. Исследования режимов работы ленточных конвейеров показали, что в пусковой период скорость ленты меняется от 150 до 80 % номинальной, кроме того, работа конвейера в шахтных условиях не исключает кратковременных пробуксовок ленты относительно ведущих барабанов, что может приводить к срабатыванию аппаратов контроля скорости тягового органа. Поэтому данная особенность ленточного конвейера требует от аппаратов контроля скорости создания выдержки времени на отключение конвейера при разгоне ленты и кратковременных пробуксовках.

В процессе эксплуатации ленточных конвейеров в сложных горно-геологических условиях шахты часто возникают нарушения и неисправности, которые не контролируются с помощью аппаратов контроля скорости. Например, сход ленты в сторону с поддерживающих роликов, заштыбовка перегрузочных точек, обрыв тросов в резиновых лентах, нагрев ведущих барабанов и т. п. В этих случаях необходимо предусматривать специальные мероприятия и устройства, которые прежде всего исключали бы возможность появления таких нарушений или отключали конвейеры при их появлении.

Для конвейеров типажного ряда характерны значительные изменения натяжения ленты в период пуска, что требует применения специальных автоматических натяжных устройств с целью исключения пробуксовок и порыва лент

Исследования работы цепных конвейеров показали, что движение цепи носит колебательный характер, причем колеблется скорость от максимальной до нуля даже в период нормальной работы. Остановки цепи по времени могут достигать 0,5—0,9 с. В связи с этим аппарат контроля скорости цепи должен иметь чувствительные элементы, непосредственно реагирующие на движение элементов цепи, и обеспечивать соответствующие выдержки на отключение конвейера (1—1,5 с) во избежание ложных отключений из-за неравномерного хода цепи.

Особые сложности возникают при контроле скорости тяговых органов двухцепных конвейеров, так как при обрыве одной из цепей конвейер продолжает работать, поскольку другая цепь, связанная с ней скребками, продолжает ее перемещать. Возникающий перекося цепей при обрыве одной из них из-за неправильной сборки или неравномерного износа вызывает аварию при переходе поврежденного участка цепи через приводную звездочку. Поэтому датчики контроля положения скребков, целостности и скорости движения цепи приходится устанавливать на грузовой ветви перед приводной звездочкой, где они подвергаются интенсивному износу.

Автоматизированные конвейерные линии предъявляют определенные технические требования к аппаратуре автоматизации и предполагают: управление неразветвленными и разветвленными конвейерными линиями; местное автоматизированное и централизованное автоматизированное управление отдельным конвейером; централизованное автоматизированное, автоматическое управление конвейерной линией; пуск конвейеров в направлении, обратном грузопотоку; оперативный, аварийный и экстренный остановки; защитное отключение.

Защитное отключение предусматривается при: непрерывной подаче сигнала в течение 1,5—4 с о наличии завала материала в местах перегрузки; подаче человеком команды на отключение конвейера с помощью кабель-тросового выключателя: превышении скорости приводного барабана на 8 % над его номинальной скоростью для грузоподъемных уклонных и грузовых бремсберговых конвейеров; снижении скорости приводного барабана в период нормальной работы более чем на 15 % от его номинальной скорости в случае непрерывной подачи сигнала снижения скорости в течение 1,5—4 с; пробуксовке ленты относительно приводного барабана более чем на 10 % от номинальной его скорости в случае непрерывной подачи сигнала о наличии пробуксов-

ки в течение 1,5—4 с; затянувшемся (более 60 с) пуске конвейера; заклинивании (обрыве) тяговой цепи в случае непрерывной подачи сигнала о наличии заклинивания (обрыва) тяговой цепи в течение 1,5—4 с; снижении скорости вала приводной звездочки механизмов с цепным тяговым органом более чем на 15 % от номинальной в случае непрерывной подачи сигнала снижения скорости в течение 1,5—4 с; сходе ленты в сторону на величину, составляющую 10 % от ее ширины, в случае непрерывной подачи сигнала схода ленты в течение 1,5—4 с; открытом состоянии ограждений приводных, натяжных и концевых станций; самопроизвольном наложении тормозов в процессе работы конвейера; проезде человеком места схода с ленты в режиме работы «люди»; поступлении команды на отключение конвейера от автоматических средств обнаружения, сигнализации и тушения пожаров; срабатывании ловителей ленты.

Защитное отключение необходимо также для конвейера, на который транспортирует груз аварийно остановившийся скребковый конвейер.

Блокировки должны запрещать включение двигателя конвейера: без подачи предупредительного сигнала установленной длительности (не менее 5 с); с центрального пункта управления при местном автоматизированном управлении при наложенных тормозах; при превышении допустимого уровня материала в местах перегрузки; повторное включение до момента ручной (местной) деблокировки при всех видах защитного отключения.

Должна обеспечиваться сигнализация: предупредительная, оперативная, аварийная, вызывная.

Кроме этих основных требований к аппаратуре автоматизации конвейеров и конвейерных линий предъявляются конкретные специальные требования к реализации видов управления (местное, централизованное автоматическое), функций блокировки, видов сигнализации, а также к конструкции конвейеров, работающих в автоматизированном режиме. Разные условия работы, конструктивные решения и принцип действия скребковых и ленточных конвейеров определяют в целом различный подход к вопросам их автоматизации, в связи с чем применяются и различные средства автоматизации конвейерных линий. Сам же принцип автоматизации скребковых и ленточных конвейеров одинаков.

## 7.2. Автоматизированные системы управления конвейерной линией

В автоматизированном способе управления конвейерными установками оператор включает только первый двигатель, остальные включаются автоматически в заданной последовательности.

Определенные интервалы времени между последовательно включаемыми конвейерами можно устанавливать следующими способами??

Пуск по времени. Способ основан на применении в схеме управления реле, обеспечивающего достаточную выдержку времени между включением отдельных электродвигателей, с целью избежать завалов в местах перегрузки материала и уменьшить силу пускового тока.

Реле времени настраивают, исходя из самых неблагоприятных условий пуска по предельному падению напряжения в линии и максимальной нагрузке на конвейеры. В обычных условиях это удлиняет время запуска всей конвейерной линии.

Пуск по току. Этот способ основан на применении реле тока, включающего каждый последующий пускатель после того, как вызванный включением предыдущего электродвигателя пусковой ток в линии спадает до определенного значения.

Достоинство пуска по току в сравнении с пуском по времени — меньшее время запуска конвейерной линии, так как выдержка времени автоматически приспособляется к нагрузке конвейеров. Кроме того, при сильной нагрузке какого-либо привода его токовое реле разрывает цепь управления предыдущего привода, тем самым прекращает подачу груза на перегруженный конвейер. После снижения нагрузки на двигатель до нормы автоматически восстанавливается нормальный режим работы конвейерной линии.

Пуск по падению напряжения в линии электроснабжения, при всей его простоте, обладает низкой надежностью, так как требует постоянства расчетных условий (нагрузки на конвейеры, стабильности напряжения сети и т. п.).

Пуск с помощью реле скорости. Этот способ основан на включении каждого последующего конвейера только после того, как рабочий орган предыдущего конвейера достигнет номинальной скорости движения.

Достоинство этого способа — автоматическое отключение конвейера при пробуксовке или обрыве рабочего органа и автоматическая остановка всех других конвейеров, передающих груз на поврежденный.

Рассмотренные выше способы автоматизированного управления конвейерными линиями могут быть объединены в две принципиально различные системы, которые основаны на принципах блокировки: электрической, электромеханической. Первая система включает первые три способа пуска. В этом случае двигатели с силовыми кабелями, механические передачи и сами конвейеры полностью не участвуют в цепи управления и при любых обстоятельствах не могут влиять на ход операций управления. В связи с этим и в процессе эксплуатации отсутствует автоматический контроль за состоянием данных узлов и механизмов. Поэтому система, основанная только на электрической ^блокировке, несовершенна и не получила применения при автоматизации подземных конвейерных линий. Однако для автоматизации комплекса машин в ряде производственных процессов на поверхности шахт и обогатительных фабриках часто используются в различных комбинациях ее основные положения.

Вторая система, основанная на принципе электромеханической блокировки (четвертый способ пуска, основанный на реле скорости), обеспечивает связь отдельных операций управления как по электрическим линиям (силовым и управления), так и по механическим (скорость вращения вала электродвигателя, редуктора, приводного устройства, движения рабочего органа и т. п.). В этом случае всякое нарушение связи в любом из звеньев в цепи управления конвейерной линией вызывает немедленное отключение питания электродвигателя неисправного

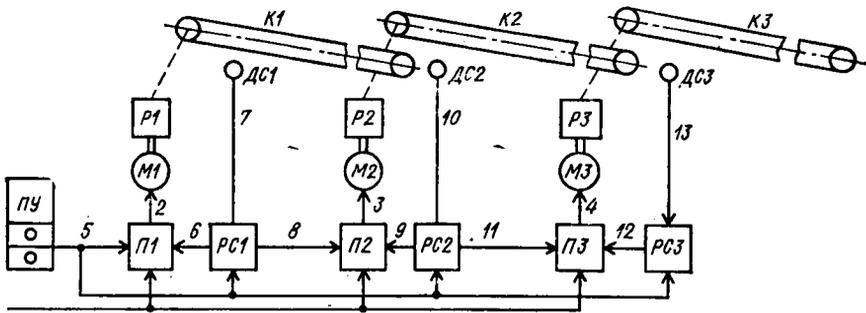


Рис. 7.1. Функциональная схема системы управления конвейерной линией с электромеханической блокировкой

конвейера и всех последующих за ним установок. Эта система управления наиболее совершенна, так как действует и в период запуска, и в условиях нормальной работы конвейерной линии, и получила наибольшее распространение при автоматизации подземных конвейерных линий. Функциональная схема системы по принципу электромеханической блокировки приведена на рис. 7.1.

Связь цепей управления при пуске идет от пульта управления (ЯУ) по кабелю управления 5, через магнитный пускатель  $П1$  первого конвейера, силовой кабель 2, приводной двигатель  $М1$ , редуктор  $Р1$ , рабочий орган конвейера  $К1$ , который воздействует на датчик скорости  $ДС1$ , реле скорости  $РС1$  и посредством его дает распорядительный импульс по линии управления 8 для включения магнитного пускателя  $П2$  второго конвейера. Одновременно этот же импульс по линии обратной связи 6 переводит электрическую схему магнитного пускателя  $П1$  на блокировку в зависимости от состояния механической части конвейерной установки (рабочего органа, приводного устройства, редуктора двигателя). Магнитный пускатель  $П2$ , получив от реле скорости  $РС1$  распорядительный импульс, осуществляет дальнейшую связь цепей управления при пуске конвейерной линии по силовому кабелю 3 через приводной двигатель  $М2$ , редуктор  $Р2$ , рабочий орган второго конвейера  $К2$ , датчик скорости  $ДС2$ , реле скорости  $РС2$ , которое дает распорядительный импульс по линии управления 11 для включения магнитного пускателя  $П3$  третьего конвейера, и по линии обратной связи 9 переводит магнитный пускатель  $П2$  на механическую блокировку и т. д.

В реальных схемах автоматизированного управления конвейерными линиями помимо реле скорости применяют реле времени, тока и ряд других устройств и датчиков контроля исправности электрических и механических узлов конвейерных линий. При этом по цепям управления необходимо передавать большое количество сигналов управления и сигнализации.

Использование отдельных линий связи для каждого сигнала требует применения большого числа и значительной длины дефицитных и дорогих многожильных кабелей. Поэтому для сокращения линий связи, необходимых для передачи сигналов, в комплектной аппаратуре автоматизации конвейерных линий применяют телемеханические

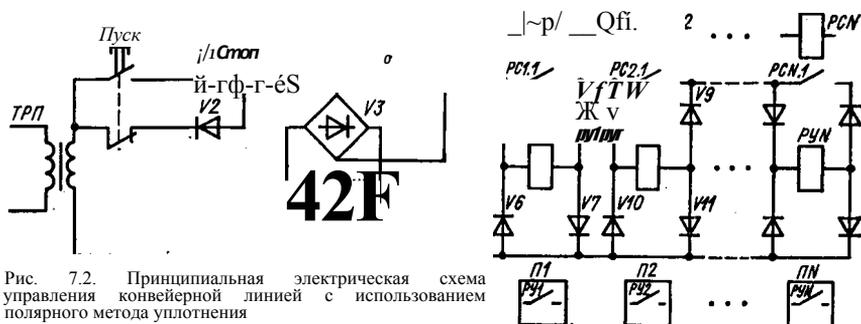


Рис. 7.2. Принципиальная электрическая схема управления конвейерной линией с использованием полярного метода уплотнения

принципы управления, т. е. многократное уплотнение линий связи. Наиболее широкое применение нашел полярный метод уплотнения линий связи, заключающийся в передаче пусковых сигналов управления одной полярностью тока управления, а рабочих сигналов — другой<sup>^</sup>

Принцип управления конвейерной линией с использованием полярного метода уплотнения линии связи показан на рис. 7.2. При нажатии кнопки «пуск» переменный ток с помощью диода *V1* преобразуется в однополярные положительные импульсы тока, которые через диоды *V4* и *V7* обеспечивают питание реле *PY1* во время пуска. Реле *PY1* срабатывает и замыкает свой контакт *PY1* в цепи контакторной катушки пускателя *П1*. При этом получает питание двигатель первого конвейера, и конвейер начинает разгон. Когда скорость тягового органа конвейера достигает заданной, реле скорости *PC1* срабатывает и замыкает свой контакт *PC1.1* в цепи управления. Через диоды *V8* и *V11* будет образована цепь питания реле *PY2*. После включения реле *PY2* начнет запускаться второй конвейер и т. д. Когда запустится последний, оператор либо реле времени переключают цепь управления с пусковой полярности на рабочую (в схеме на рис. 7.2 отпускается кнопка «пуск»). Ток управления через реле *PY* проходит через контакты собственного реле скорости, обеспечивая взаимную блокировку конвейеров (нижний конец вторичной обмотки трансформатора *ТРП*, диод *V10*, реле *PY2*, диод *V9*, контакты *PC2.1* и *PC1.1* резистор Ядоп, кнопка «пуск», верхний конец обмотки 2 трансформатора). Таким образом, схема полярного уплотнения позволяет в два раза уменьшить число цепей управления в линии связи.

*Г* Для угольной промышленности выпускается комплекс автоматизированного управления конвейерами АУК 1М в блочном исполнении с применением бесконтактных узлов на полупроводниковых элементах и полярного принципа уплотнения линий связи, обеспечивающий соблюдение основных технических требований.

Комплекс предназначен для управления и контроля работы стационарных и полустационарных неразветвленных конвейерных линий, состоящих из ленточных и скребковых конвейеров, общее количество которых не должно превышать десяти в шахтах, опасных по газу и пыли, в условиях умеренного климата.

В отличие от ранее выпускавшейся аппаратуры АУК 10ТМ-68 в комплексе АУК 1М предусмотрен автоматический контроль продолжительности предпускового сигнала в ремонтно-наладочном режиме;

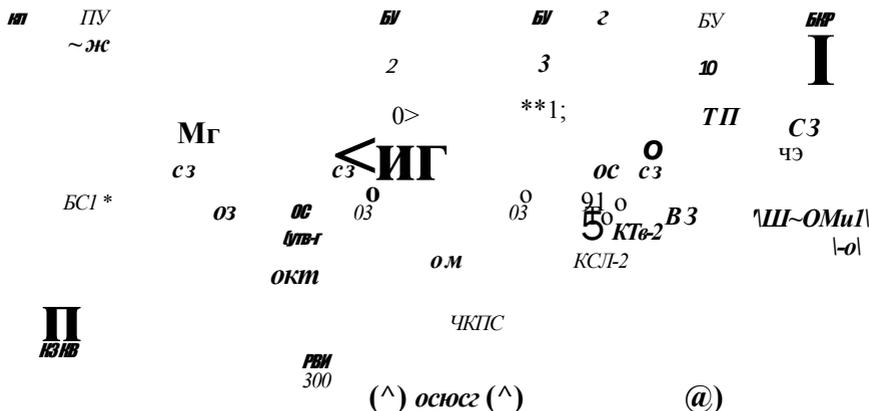


Рис. 7.3. Структурная схема системы АУК 1М

механический датчик с узлом контроля заштыбовки заменен новым узлом, который может работать с гибким электродным датчиком; коммутация цепей питания сигнальных устройств осуществляется бесконтактными устройствами.

Структурная электрическая схема комплекса АУК 1М приведена на рис. 7.3.

Пульт управления **ПУ** с выносным прибором-указателем **ВПУ** располагается в головной части конвейерной линии. Вблизи привода каждого конвейера устанавливаются блоки управления **БУ**. Питание пульта и каждого блока осуществляется либо от пускателей, либо от блоков сигнализации. К пульту управления может подключаться выносной кнопочный пост **КП**.

Соединение искробезопасных цепей управления и сигнализации пульта и блоков (провода **1**, **2**, **3**) осуществляется с помощью двух изолированных друг от друга голых проводов либо по жилам кабеля. В качестве третьего провода используется общешахтный контур «земля».

К каждому блоку управления подключаются следующие цепи и датчики: цепь экстренного прекращения пуска и аварийной остановки конвейера с концевым диодом (прокладывается либо голыми проводами, либо телефонным кабелем, соединяющим кабель-тросовые выключатели **КТВ-2'**, датчик скорости (**УПДС** или **ДС** — для ленточного конвейера, **ДМ** или **ДМ-2М** — для скребкового одноцепного); датчики контроля схода ленты **КСЛ-2** (либо к цепям аварийного отключения, либо параллельно датчику скорости — **УПДС** или **ДС**); датчик контроля заштыбовки (**ДЗ**); сигнализатор звуковой (сирена или гудок — **СЗ**).

На последнем блоке управления устанавливается блок концевого реле **БКР**.

В зависимости от назначения и конструкции конвейера в блок управления поступают от вспомогательных аппаратов и датчиков следующие сигналы: контроля положения тормоза; увеличения контролируемого времени срабатывания аварийного реле в блоке управления при

запуске от дополнительного реле времени типа РВИ-300; контроля и блокировки наличия напряжения в блоках сигнализации  $\text{fC-1}$ ; контроля порыва цепи двухцепного скребкового конвейера (с помощью дополнительного аппарата **КДК** и датчиков контроля движения цепи **ДМИ1** и **ДМИ2**); наложения тормозов (при скорости ленты не более  $n_i 0,5$  м/с); превышения скорости ленты (с помощью дополнительного аппарата типа **УКПС** или **РС А** и датчиков скорости **ДС1** и **ДС2**).

Пуск конвейерной линии осуществляется с помощью команд, выдаваемых с пульта управления через линию связи на блоки управления (провода **1**, **2**). Вначале выдается сигнал «пусковая полярность», когда на провод **1** подается положительный потенциал (+), а на провод **2** отрицательный (—). По окончании запуска конвейерной линии пульт управления выдает сигнал «рабочая полярность», на проводе **1** отрицательный потенциал, на проводе **2** положительный.

Порядок выполнения команд после кратковременного нажатия кнопки «пуск» пульта управления следующий. По линии выдается предупредительный сигнал. Не менее чем через 5 с с пульта управления на первый блок управления поступит пусковая полярность. С первого блока управления поступает сигнал включения первого конвейера, запускается конвейер, и от сигнала датчика скорости включается реле скорости. Пусковая полярность поступает на второй, затем третий и т. д. блоки управления. При включении реле скорости в последнем блоке управления пусковая полярность поступает в блок концевого реле и по линии сигнализации («2» «земля») выдается команда на прекращение пуска на пульт управления. В пульте происходит переключение пусковой полярности на рабочую, БКР отключается. Все конвейеры работают в режиме контроля заданных параметров (скорости, пробуксовки, заштыбовки и т. д.).

Оперативное отключение производится кнопками «стоп» пульта управления (отключается вся линия) и блоков управления (отключается конвейер, управляемый данным блоком, и все последующие конвейеры).

Экстренное прекращение пуска или аварийное отключение осуществляется нажатием при запуске кнопки «сигнал» пульта или блока управления; воздействием на кабель-тросовый выключатель любого **КТВ-2** либо замыканием накоротко голых проводов аварийного отключения (отключается конвейер, на цепи аварийного отключения которого воздействуют и все последующие конвейеры); при срабатывании средств защиты и контроля работы конвейера.

Для расширения области применения комплекса АУК 1М разработан пульт ПРЛ. С помощью этого пульта и комплектной аппаратуры можно централизованно управлять конвейерной линией с числом ответвлений до пяти и общим количеством конвейеров до шестидесяти, а также — расшифровывать причины аварийной остановки (пробуксовки ленты конвейера или заштыбовки места перегрузки) световыми и звуковыми сигналами.

Пульт состоит из блока питания (БП), программного блока управления и сигнализации (ПБУ), двух блоков индикации (БИ) и громкоговорителя. Количество жил кабеля по основному направлению зависит от количества маршрутов и расположения пультов управления

ответвлениями. Если пульта управления сосредоточены у оператора, то  $n = 3п + 2$ , где  $n$  — количество жил кабеля,  $п$  — количество маршрутов. При расположении пультов управления у ответвлений вдоль основного направления  $n = 6п + 2$ .

Для запуска маршрута оператор переключателем выбирает маршрут и нажимает кнопку «пуск маршрута». После подачи предупредительного сигнала начинается пуск конвейеров основного направления. После окончания пуска участка маршрута основного направления с последнего блока управления этого участка контактом реле скорости подается импульс в коммутатор выбора маршрута и через него на вход блока автоматического включения ответвления. Этот блок прекращает пуск линии основного направления и переводит ответвление-нужного маршрута в режим пуска. После разгона последнего конвейера ответвления блок конечного реле подает сигнал для перехода схемы на рабочий режим. Аналогично производится пуск других ответвлений. По измерительным приборам оператор наблюдает за программным режимом работы маршрута.

### 7.3. Автоматизация подземных погрузочных пунктов

Подземные погрузочные пункты предназначены для погрузки угля из очистных забоев в электровозный транспорт и являются звеном поточно-транспортной системы шахты. Они подразделяются на переносные, полустационарные и стационарные в зависимости от срока службы.

Уголь в вагонетки загружается с конвейера или из аккумулирующего бункера. При загрузке с конвейера необходимо перекрытие межвагонеточного пространства, а из бункера — управление его затвором..

Как объект автоматизации погрузочный пункт (ПП) требует управления циклически повторяющимися операциями: изменением положения перекрывателя (затвора) межвагонеточного пространства, уплотнением угля в вагонетках, пылеулавливанием и пылеподавлением, перемещением состава в процессе загрузки.

Изменение положения перекрывателя межвагонеточного пространства осуществляется отдельным приводом. Заполнение вагонетки контролируется датчиками уровня флажкового типа. Уплотнение угля в вагонетках производится виброустановками, а для борьбы с пылью применяется орошение или отсасывание запыленного воздуха с последующей его очисткой. Перемещение вагонеток в процессе загрузки осуществляется толкателями (цепными или гидравлическими). Положение вагонетки под ПП контролируется датчиками положения. Маневровые операции по замене порожнего и груженого состава уПП обычно осуществляются электровозами.

На шахтах эксплуатируются комплексы с гидравлическими системами автоматического управления загрузкой и сменой вагонеток под погрузкой (ГУАПП-2) (рис. 7.4). Система содержит: маслостанцию (М); гидравлические толкатели 1 и 2; поворотный желоб для перекрытия межвагонеточного пространства (ЯЖ); распределительный кран (ПК), механически связанный с ПЖ; датчики положения вагонетки I и II, механически связанные с гидропереключателями ГП1 и ГП2; флаж-

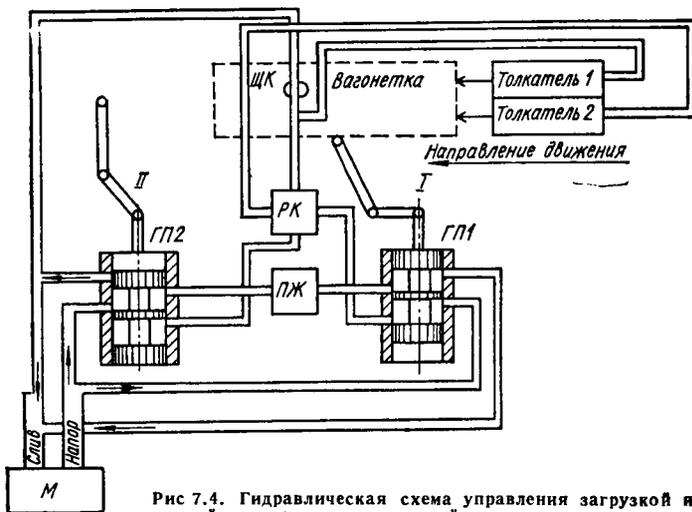


Рис 7.4. Гидравлическая схема управления загрузкой и сменной вагонеток под погрузкой

ковый датчик уровня угля в вагонетке, жестко связанный со щелевым краном (*ЩК*), и маслопровод.

Для автоматического управления погрузкой первую вагонетку порожнего состава сцепляют с последней вагонеткой груженого состава или устанавливают первую порожнюю так, чтобы датчик положения *II* находился в межвагонеточном пространстве. После пуска установки рабочая жидкость под давлением проходит через каналы гидропереключателя *ГП2* и поворачивает желоб на  $80^\circ$  так, чтобы поток загружаемого угля направлялся против хода загружаемого состава. В конце поворота желоба распределительный кран открывает доступ рабочей жидкости через каналы гидропереключателя *ГП1* в цилиндры толкателя *2*, который проталкивает состав до тех пор, пока датчик положения *I* не освободится от воздействия кузова вагонетки. После этого рабочая жидкость через открытые каналы гидропереключателя *ГП2* поворачивает желоб в положение по ходу движения загружаемого состава. Дальнейшее продвижение состава осуществляется толкателем *1*, в который рабочая жидкость поступает по мере закрытия щелевого крана. Последний закрывается флажковым датчиком от воздействия конуса угля, насыпающегося в вагонетку.

После загрузки первой вагонетки датчик положения *II* освобождается от воздействия ее кузова, и тем самым желоб поворачивается против хода движения состава, затем все операции повторяются.

#### 7.4. Автоматизация подземного рельсового транспорта

Подземный рельсовый транспорт (электровозная откатка) в шахтах является преобладающим видом транспорта, осуществляющим доставку угля от очистных забоев к стволу. Технологический процесс транспортировки угля при электровозной откатке включает следующие основные операции: подачу порожнего состава от места стоянки у околоствольного двора к погрузочному пункту; маневры

локомотива у погрузочного пункта во время загрузки вагонеток; движение груженого состава к месту разгрузки у околоствольного двора; маневры локомотива у пункта разгрузки вагонеток; движение к месту стоянки порожних составов.

В качестве локомотивов используются аккумуляторные, контактные и, в последнее время, высокочастотные электровозы. Вагонетки применяются с глухим кузовом и открывающимся днищем.

Электровозная откатка как объект автоматизации требует автоматического управления движением поездов на заданных маршрутах. Автоматизация электровозной откатки должна обеспечить безопасность и безаварийность движения; повышение производительности — интенсивности движения, пропускной способности маршрутов и провозной способности поездов.

Автоматизация электровозной откатки подразделяется на автоматическое управление маршрутами и автоматическое движение электровозов на маршрутах без машиниста.

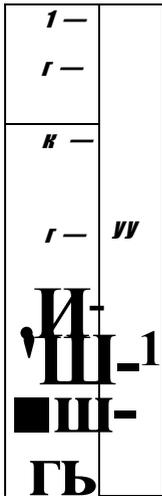
На шахтах осуществляется только автоматическое управление маршрутами с использованием двух вариантов: диспетчерской электрической централизации (электровозной откаткой управляет диспетчер); автоматической блокировкой стрелок и сигналов (перевод стрелок и открытие сигналов светофоров выполняется по командам машиниста электровоза). В качестве устройств автоматического управления маршрутами применяются устройства сигнализации, централизации и блокировки (система СЦБ). Сигнализация обеспечивает безопасность движения. Устройствами сигнализации являются светофоры, а также радио и телефонная связь. Централизация обеспечивает дистанционное управление из диспетчерского пункта светофорами и стрелками. Блокировка контролирует сигналы светофоров, занятость пути и положение стрелок.

В целом система СЦБ обеспечивает: невозможность задания занятых маршрутов и перевод стрелок после их задания; контроль занятости маршрута, целостность составов и направление их движения; взаимную блокировку стрелок и светофоров.

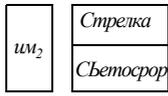
Системы СЦБ на шахтах выполняются с помощью аппаратуры АБСС-1. Она автоматически управляет огнями светофоров и приводами стрелочных переводов.

Перед въездом на блок-участок машинист электровоза с помощью датчика запроса, установленного перед входным светофором, запрашивает маршрут. Если запрашиваемый маршрут и враждебный ему свободны, а стрелки на запрашиваемом маршруте переведены в заданное положение, то красный сигнал входного светофора переключается на зеленый. В случае занятости запрашиваемого или враждебного ему маршрутов красный сигнал светофора переключается на мигающий красный. Если же маршруты свободны, а стрелки на блок-участке не переведены в заданное положение, то красный сигнал светофора переключается на мигающий зеленый.

При зеленом сигнале светофора электровоз въезжает на блок-участок и сигнал переключается на красный датчиком перемены маршрута.



$ИМ_1$  — Стрелка  
 — Светофор



ИМ<sub>ц</sub> — Стрелка

Когда электровоз выезжает с блок-участка, датчик отбоя маршрута приводит его схему в исходное состояние.

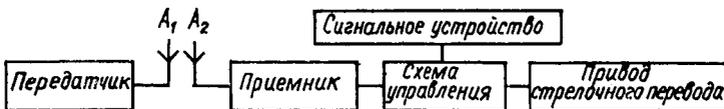
Структурная схема аппаратуры АБСС-1 показана на рис. 7.5. Сигналы с датчиков запроса маршрута (ДЗ), его перемены (ДП) и отбоя (ДО) поступают в управляющее устройство (УУ), на выходе которого образуются выходные сигналы, включающие соответствующие исполнительные механизмы, переводящие стрелки и сигналы светофоров в заданные состояния. Как видно из схемы, аппаратура АБСС-1 представляет собой разомкнутую (без обратных связей) систему автоматического управления с дискретными входными и выходными сигналами.

Рис. 7.5. Структурная схема аппаратуры АБСС-1

Таким образом, управляющее устройство выполняет определенные логические функции, которые могут быть реализованы как на релейно-контактных элементах, так и на другой, более прогрессивной, элементной базе — полупроводниках, микросхемах и др. Если предусмотрен перевод стрелок из кабины движущегося электровоза, то аппаратура АБСС-1 обеспечивает только автоматическое управление огнями светофоров. Приводы стрелочных переводов включаются аппаратурой ЧУС-3 (частотного управления стрелками). В аппаратуре ЧУС-3 команда на перемещение острия стрелочного перевода передается в виде частотного сигнала с передатчика, размещенного на движущемся электровозе, на установленный под рельсовым полотном приемник, связанный со схемой управления приводом.

Структурная схема аппаратуры ЧУС-3 показана на рис. 7.6. Для перевода стрелки с движущегося электровоза машинист рукояткой управления включает генератор передатчика, и частотный сигнал поступает в антенну А1. При подъезде электровоза к приемнику этот сигнал через антенну А2 поступает в него, усиливается, включает реле, которое, в свою очередь, включает пускатель привода стрелочного перевода, и стрелка переводится в другое положение, которое фиксируется сигнальным устройством.

Между диспетчерским пунктом, стационарными путевыми устройствами и локомотивами должен осуществляться двухсторонний обмен информацией о положении и направлении движения электровозов,



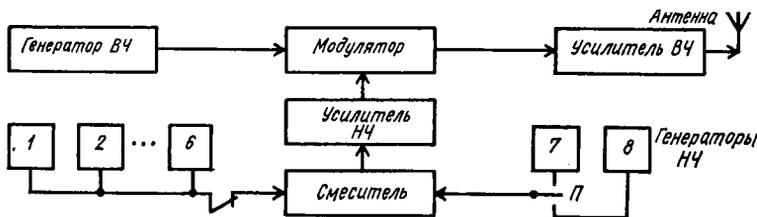


Рис. 7.7. Функциональная схема передатчика

состоянии стрелок и светофоров, занятости маршрутов, положении вентиляционных дверей и наличии препятствий на пути движения. Для этого на шахтах применяется комплексное устройство НЭРПА, в котором для передачи и приема информации используется радиочастотный способ.

Устройство содержит передающий и два приемных полукомплекта. Один из них предназначен для автоматического определения номера и направления движения электровоза, другой — для управления стрелочными переводами и схемами СЦБ, вентиляционными дверями и аппаратурой безопасности (например, звуковой сигнализацией). Передающий полукомплект, устанавливаемый на электровозе, представляет собой передатчик амплитудно-модулированных колебаний с рамочной антенной. Функциональная схема передатчика приведена на рис. 7.7.

Включение низкочастотных модулирующих генераторов 1, 2, 4, 3, 5 по закону сочетаний ( $C_6$ ,  $C_7$  и  $C_1$ ) обеспечивает 25 комбинаций двоичного пятиразрядного кода для присвоения каждому из 25 электровозов своей кодовой комбинации. Генератор 6 модулирует несущую частоту (ВЧ) для образования сигнала управления СЦБ и аппаратурой безопасности, а генераторы 7 и 8 — стрелочными переводами и вентиляционными дверями.

Приемные полукомплекты устанавливаются на стенках выработок в соответствии с технологией и схемой электровозной откатки. Приемный полукомплект автоматического определения номера электровоза и направления его движения представляет собой приемник с двумя антеннами. Функциональная его схема показана на рис. 7.8. Высоко-

Антенна 1

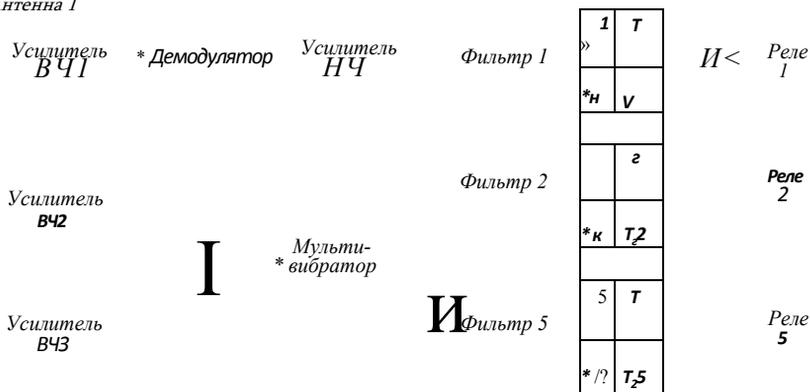


Рис. 7.8. Функциональная схема приемника



Рис. 7.9. Схема шифратора для определения направления движения электровоза

частотные модулированные сигналы в виде кодовых комбинаций пятиразрядного двоичного кода поступают в антенны 1 и 2. Из антенны 1 сигналы усиливаются усилителем ВЧ1, демодулируются, и далее демодулированный низкочастотный сигнал через усилитель НЧ подается на фильтры 1—5. Выделенные в зависимости от поступившей кодовой комбинации, определяющей номер электровоза, сигналы запоминаются триггерами  $T_{2x}—T_{26}$ . Одновременно высокочастотные модулированные сигналы поступают в усилитель ВЧ2 и через антенну 2 — в усилитель ВЧ3, где усиливаются и подаются в шифратор.

Сигнал с шифратора, содержащий информацию о направлении движения электровоза, запускает мультивибратор, в выхода которого поступает сигнал на один из входов соответствующих схем совпадения —  $I_{\nu}$ . На второй вход схем совпадения сигнал подается с соответствующих триггеров  $T_{2x}—T_{26}$ . Срабатывание схем совпадения включает выходные реле 1—5 в комбинациях пятиразрядного двоичного кода, принадлежащего тому или иному электровозу. Направление движения электровоза определяется с помощью шифратора (рис. 7.9).

Антенны 1 и 2 расположены друг относительно друга так, что при движении электровоза в одну сторону он попадает в зону антенны 1, а затем в зону антенны 2, а при движении в обратную — наоборот. Принцип работы шифратора отражен схемой, состоящей из двух логических элементов — «НЕ» и «И» (см. рис. 7.9). В первом случае последовательность появления входных сигналов будет  $X_2$ , т. е. 1,0, что приводит к появлению на выходе логической 1; во втором —  $X_2$ ,  $X_{11}$  т. е. 0,1, а на выходе — логического 0.

В перспективе реально возможный уровень автоматизации электровозной откатки — автоматическое управление движением электровозов, обеспечивающее движение поездов без машинистов. Это завершающий этап комплексной автоматизации электровозной откатки.

### 7.5. Автоматизация обмена вагонеток в клетях и опрокидывателях в околоствольных дворах

Обмен вагонеток в клетях и опрокидывателях в околоствольных дворах имеет много общего с процессом обмена вагонеток в надшахтном здании: применяется одинаковое оборудование (толкатели, стопора, опрокидыватели, передвижные платформы и др.), технологические схемы, предъявляются одни и те же требования к автоматизации.

Управление обменом вагонеток в клетях определяется видом сцепки вагонеток. При ручной сцепке из-за невозможности полной автоматизации процесса обмена применяется дистанционное управление с автоматическим выполнением отдельных операций обмена, заблокированных между собой.

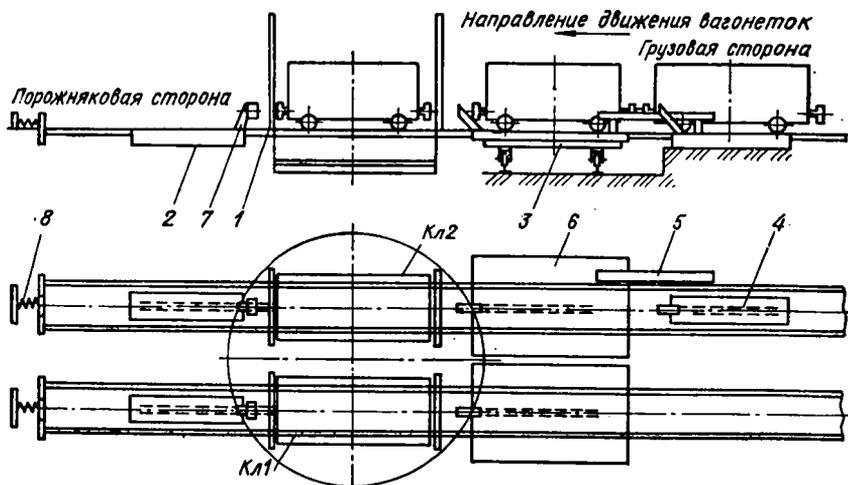


Рис. 7.10. Схема обмена вагонеток в клетях

Дистанционное управление осуществляет оператор, который включает толкатель,двигающий вагонетку к стволу, подает команду на автоматическую работу заталкивателя, закрывает ствольные двери и подает сигнал машинисту подъемной установки. Операции по установке посадочных устройств в исходное положение, открывание и закрывание стопоров в клетки и заталкивание в клетку груженых вагонеток взамен прибывших выполняются автоматически.

Применение вагонеток с автосцепкой позволяет автоматически управлять процессом обмена в клетях при подъеме породы. Обмен происходит в следующей последовательности (рис. 7.10). После посадки клетки (например, *Кл1*) на кулаки и ее стопорения открывается ствольная дверь *1* и снимаются клетевые стопора. Вытягиватель *2* своим кулаком *7* сцепляется с вагонеткой, и она после реверса привода вытягивателя извлекается из клетки. Кулак *7* в конце вытягивания плавно опускается и расплетается с вагонеткой, которая по самокатному пути движется к задерживающему стопору *8*, формирующему состав порожняка. В клетки стопора фиксируют груженую вагонетку, поданную с грузовой стороны заталкивателем *3*. После установки груженой вагонетки в клетки заталкиватель *3* возвращается в исходное положение и подается сигнал на подъем клетки *Кл1*. Во время подъема клетки *Кл1* перестановочная платформа *6* движется к клетки *Кл2*. Груженный состав со стороны грузового пути подается к клетки *Кл2* цепным толкателем *4*. Очередная передняя вагонетка его отделяется с помощью расцепителя *5*. Состав тормозится толкателем *4*, и обменный цикл заканчивается.

Для автоматизации обмена вагонеток применяется комплексная бесконтактная аппаратура «Оператор». Автоматический контроль состояния технологического оборудования и положения вагонеток перед клетями, на толкателях осуществляется датчиками положения. Спуск-подъем людей ведут операторы. При наладке, ремонте и спуске-подъеме материалов и оборудования используется местное управление.

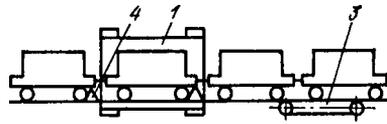


Рис. 7.11. Схема обмена вагонеток в опрокидывателях

Применение вагонеток с автосцепкой позволяет с помощью толкателей и стопоров разгружать их в опрокидывателях без расцепки. Автоматизированная разгрузка вагонеток производится по технологической схеме (рис. 7.11) с двумя толкателями 2 и 3, установленными до и после опрокидывателя 1. Толкатели размещают так, чтобы расстояние между ними было равно или несколько меньше длины состава. Состав с груженными вагонетками электровоз подает на толкателе 2, который проталкивает вагонетки в опрокидыватель и за него до тех пор, пока половина первой вагонетки не появится на толкателе 3. После этого движение состава обеспечивается толкателем 3.

При использовании в шахтах вагонеток с открывающимся днищем процесс разгрузки их не требует автоматизации. В этом случае подаваемые электровозом составы проходят над разгрузочной ямой и разгружаются без остановки с помощью разгрузочных кривых.

Пуск автоматизированного комплекса разгрузки вагонеток в опрокидывателях выполняет оператор. Все остальные операции по разгрузке составов автоматические, что обуславливает необходимость различного вида защит, блокировок и контроля. К ним относятся защиты от перегрузок и ТКЗ (ток короткого замыкания) двигателей, нулевая защита и защита от утечек в электросети; блокировки, исключающие одновременную работу толкателей, опрокидывателя и движения электровоза; контроль уровней угля в бункере, исходного положения опрокидывателя, стопоров и наличия вагонеток на толкателях. Взаимовыясная работа оператора и машиниста электровоза обеспечивается световой сигнализацией на пульте оператора и световых табло, устанавливаемых в местах разгрузки. Операции по разгрузке выполняются автоматически в такой последовательности.

При отсутствии груженого состава стопор 4 перед опрокидывателем закрыт (рис. 7.11). При зеленом сигнале светофора (отсутствует вагонетка на толкателе 2) груженный состав подается на толкатель 2, где установлен датчик положения вагонетки, который переключает зеленый сигнал светофора на красный. Нажатием кнопки «пуск» оператор включает толкатель 2, которым состав подается до стопора. Стопор закрывается при входе в него вагонетки. После этого срабатывает датчик положения, включающий привод опрокидывателя, который поворачивается вхолостую (в нем еще отсутствует вагонетка). Стопор открывается после возвращения опрокидывателя в исходное положение, что контролируется концевым выключателем. Последний подает импульс на включение толкателя 2, который проталкивает головную вагонетку в опрокидыватель, после чего тот включается. Цикл повторяется до тех пор, пока первая вагонетка не попадет на толкатель 3, что также контролируется датчиком положения. После срабатывания этого датчика отключается толкатель 2 и включается толкатель 3, протягивающий весь состав через опрокидыватель.

Последняя вагонетка состава при входе в опрокидыватель включает в нем стопор, а фиксация вагонетки контролируется щеточным датчиком, который отключает толкатель 3 и включает опрокидыватель для разгрузки последней вагонетки. После этого вновь включается толкатель 3 и состав подается на порожняковую ветвь. В процессе разгрузки вагонетки автоматически очищаются с помощью установленных на опрокидывателе вибраторов.

Для автоматизации разгрузки применяется комплексная аппаратура «Оператор».

## 7.6. Источники экономической эффективности автоматизации подземного транспорта

Автоматизация конвейерных линий позволяет высвободить всех мотористов, улучшить режим работы и резко сократить время холостых пробегов конвейеров, что приводит к значительной экономии фонда заработной платы, затрат на электроэнергию, материалы и запчасти.

Существенный источник экономической эффективности автоматизации конвейеров — увеличение их пропускной способности (например, при автоматизации конвейерной линии, состоящей из 10 конвейеров, пропускная способность возрастает на 4,5 %).

Источники экономической эффективности при автоматизации подземных погрузочных пунктов следующие: увеличение пропускной способности на 40—50 %; сокращение обслуживающего персонала; повышение равномерности загрузки вагонеток, что облегчает труд и улучшает условия для его безопасности.

Основные пути повышения экономической эффективности автоматизации подземного рельсового транспорта — высвобождение обслуживающего персонала, сокращение продолжительности рейсов составов и упорядочение их движения. Все это увеличивает пропускную и провозную способность подземного транспорта. В частности, применение аппаратуры высокочастотной связи машиниста электровоза с диспетчером повышает производительность на 8—11 %, а управление стрелками с движущегося электровоза при помощи аппаратуры ЧУС-3 с применением автоматической светофорной сигнализации — более чем на 18 %.

Благодаря внедрению автоматического управления погрузкой и разгрузкой полезного ископаемого сокращается численность обслуживающего персонала, длительность маневровых операций, на 8—10 % расход электроэнергии, улучшается безопасность труда, повышается на 11—18 % производительность электровозов. Автоматическое управление движением электровозов повышает надежность, безаварийность и безопасность работ на электровозном транспорте, пропускную способность в 1,5—2 раза, а производительность труда на 40—50 %.

Экономическая эффективность автоматизации разгрузки вагонеток в околоствольном дворе следующая: увеличение пропускной способности на 10 %; сокращение обслуживающего персонала.

1. В чем заключается управление конвейерным транспортом и какие существуют виды управления?
2. Какая должна быть сигнализация при автоматизации конвейерного транспорта?
3. Какие параметры работы конвейеров должны контролироваться при автоматизации конвейерных линий?
4. Какие технические требования предъявляются к аппаратуре автоматизации конвейерных линий?
5. В чем сущность автоматизированного способа управления конвейерными линиями?
6. Что такое электромеханическая блокировка?
7. В чем заключается полярный метод уплотнения линии связи при управлении конвейерной линией?
8. Какие недостатки существующей аппаратуры автоматизации конвейерных линий?
9. Какие пути совершенствования систем управления конвейерными линиями?
10. Какие операции должны быть автоматизированы на погрузочном пункте?
11. Какие существуют технические средства автоматизации погрузочных пунктов?
12. Что должна обеспечить автоматизация подземного рельсового транспорта?
13. Какие существуют технические средства автоматизации подземного рельсового транспорта?
14. Как осуществляется автоматическое управление процессом обмена вагонеток в клетях?
15. Как производится автоматизированная разгрузка вагонеток в опрокидывателях?
16. Назовите основные источники экономической эффективности автоматизации подземного транспорта?

## Г л а в а 8. АВТОМАТИЗАЦИЯ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

### 8.1. Шахтная подъемная установка как объект автоматизации

Подъемная установка — наиболее ответственное и сложное звено в технологическом комплексе шахты, обеспечивающее транспортирование людей и грузов по шахтному стволу.

Подъемные установки делятся в зависимости от назначения — на грузовые, людские, грузолюдские и инспекторские; от типа подъемного сосуда — на скиповые и клетевые; по виду привода — с приводом переменного и постоянного тока; по способу управления — с ручным полуавтоматическим, дистанционным и автоматическим управлением.

Широко распространена автоматизация грузовых скиповых подъемных установок благодаря интенсивной их работе, однообразию выполняемых операций, сравнительно малым колебаниям загрузки подъемных сосудов и относительной простоте построения систем автоматического управления. Автоматизация клетевых подъемов ввиду большого разнообразия выполняемых операций не применяется.

Для обеспечения надежной работы скиповой подъемной установки система автоматизации должна удовлетворять следующим основным техническим требованиям [1].

Заданная диаграмма скорости выполняется независимо от величины загрузки скипов, включая и их перегон пустыми. При этом ускорение (замедление) не превышает  $1,0—1,2$  м/с<sup>2</sup>, скорость выхода скипов из разгрузочных кривых не более  $1,0—1,5$  м/с, скорость до-

тягивания их в разгрузочных кривых 0,4—0,6 м7с, величина пути до-тягивания 2—3 м.

Система предусматривает как автоматическое, так и ручное управление. Пуск подъемной машины при ее работе в автоматическом режиме осуществляется только при нахождении скипов в конечных положениях. Стопорение машины в конце цикла производится рабочим тормозом. Ошибка останова скипов в крайних положениях не превышает 150—200 мм.

Загрузочные устройства обеспечивают дозировку скипов по объему или по массе без их переполнения и просыпания полезного ископаемого в зумпф.

При нарушении режима работы подъемной установки автоматически накладывается предохранительный тормоз.

## 8.2. Автоматический контроль и защита подъемных установок

Для обеспечения надежной и безаварийной работы автоматизированная подъемная установка оборудуется рядом контролирующих и защитных устройств и блокировок, предохраняющих ее от возможного повторного включения при появлении неисправности в системе автоматизации и при неправильно сделанных переключениях в схеме после ее ревизии или ремонта.

Все защитные и блокировочные устройства разделяются на группы: защиты, срабатывание которой приводит к немедленной остановке подъемной машины; защиты, срабатывание которой допускает завершение цикла подъема, но исключает дальнейший пуск подъемной машины; блокировки, исключающей возможность работы подъемной установки при неправильных действиях обслуживающего персонала или неисправностях в схеме автоматизации.

В зависимости от применяемой системы автоматизации, типа подъемной установки (барабанная или многоканатная), вида электропривода (постоянного или переменного тока) и других факторов современная, автоматизированная подъемная установка может иметь около 40 различных видов защиты и блокировки. Рассмотрим основные из них.

Упрощенная схема цепи защиты, включающей предохранительный тормоз, приведена на рис. 8.1, а. Замкнутые при нормальной работе контакты аппаратов защиты включены последовательно в цепь контактора (*КТП*), который включает в сеть электромагнит предохранительного тормоза (*777*). При размыкании любого из контактов цепи защиты *КТП* отключается и отключает от сети *777*, что приводит к отключению подъемного двигателя от сети и наложению предохранительного тормоза.

Защита от переподъема срабатывает при подъеме судов на высоту 0,5 м выше нормального верхнего положения. Эта защита осуществляется двумя выключателями на копре (*ВИ1*, *ВИ2*) и двумя дублирующими выключателями, установленными на программном аппарате в здании подъемной машины (*БК1*, *БК2*).

Защита от превышения скорости на 15 % по сравнению с заданной выполняется с помощью электрического ограни-

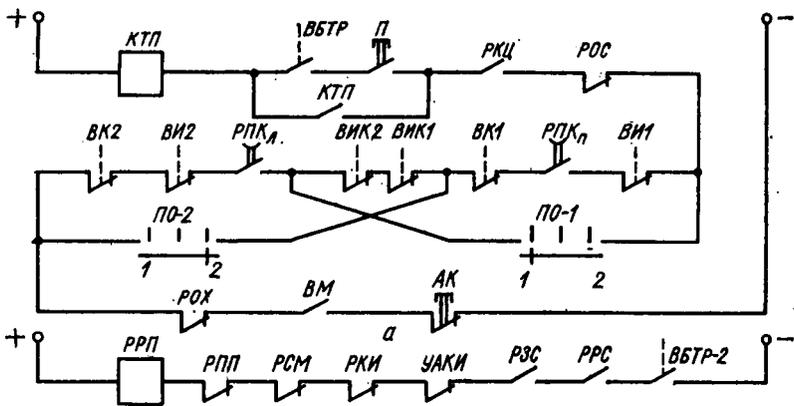


Рис. 8.1. Упрощенные схемы цепей защиты и блокировок;  
*а* — цепи защиты; *б* — цепи блокировок

чителя скорости, который установлен в программном аппарате и обеспечивает срабатывание защиты размыканием контакта реле ограничения скорости (РОС) при недопустимом превышении скорости в любой точке пути движения подъемных сосудов. На действующих подъемных установках имеются электрические ограничители скорости РОС-5914 и ЭОС-2.

Защита от провисания струны и напуска каната ( $РПК_{д}$ ,  $РПК_{н}$ ) производится специальным аппаратом, установленным в здании подъемной машины.

Защита от чрезмерного износа тормозных колодок подъемной машины ( $ВИК1$ ,  $ВИК2$ ) реализуется концевыми выключателями, не допускающими работу подъема при увеличенном зазоре между тормозными колодками и ободом.

Блокировка ( $ВБТР$ ) исключает растормаживание машины предохранительным тормозом, если она не заторможена рабочим тормозом. Максимальную защиту подъемного двигателя от перегрузок осуществляет реле максимального тока, при срабатывании которого отключается масляный выключатель и размыканием блок-контакта  $ВМ$  включает предохранительный тормоз.

Защита от повреждения электрических цепей ограничителя скорости осуществляется реле ( $РКЦ$ ).

Защита от обратного хода ( $РОХ$ ) исключает возможность движения подъемных сосудов в обратном направлении под действием массы поднимаемого груза.

Аварийная кнопка ( $АК$ ) предназначена для включения предохранительного тормоза. Кнопка Я при кратковременном нажатии растормаживает этот тормоз.

Вторая группа блокировок воздействует на имеющееся в схеме управления реле разрешения пуска ( $РПИ$ ) (рис. 8.1, б). В цепь этого реле входят блокировки от неблагоприятных явлений: перегрева подшипников и обмоток подъемного двигателя ( $РПИ$ ) недопустимого отклонения уровня масла и нарушения смазки подшипников подъем-

ной машины, редуктора и двигателя (*PCM*) замыкания на землю в цепях управления подъемной машиной (*PKП*), работы в автоматическом режиме, если машинист вмешался в автоматическое управление и начал подтормаживание рабочим тормозом (при выводе рукоятки тормоза из положения «Отторжено») размыкается контакт *ВБТР-2*, что при работе в автоматическом режиме приводит к отключению *РРП*; снижения сопротивления изоляции в цепях стволовой сигнализации (осуществляется специальным устройством автоматического контроля (*УАКИ*), контакт исполнительного реле которого включается в цепь *РРП*).

Из третьей группы можно выделить ряд основных блокировок, которые относятся к категории исключающих.

Блокировка, исключающая возможность пуска подъемной машины в сторону увеличения переподъема. Пуск машины в обратном направлении при переподъеме производится растормаживанием предохранительного тормоза («зарядка»), для чего контакты разомкнувшегося концевого выключателя шунтируются контактами обходного переключателя *ПО-1*, *ПО-2* (рис. 8.1, а). Одновременно разрывается цепь катушек реверсирующих контакторов, что исключает возможность пуска машины в сторону дальнейшего переподъема.

Защита от перехода с ручного на автоматический режим и обратно без включения предохранительного тормоза реализуется специальным переключателем выбора режима работы, расположенным на пульте управления подъемной машиной. При переводе переключателя из одного режима в другой накладывается предохранительный тормоз.

Блокировка, исключающая работу подъемной установки при открытом затворе дозатора загрузочного устройства или его неполном закрытии, производится накладыванием предохранительного тормоза.

Блокировка, запрещающая пуск подъемной машины, если не произошла разгрузка верхнего и загрузка нижнего подъемных сосудов. Контроль разгрузки верхнего скипа осуществляется при помощи гамма-реле, а загрузки нижнего — при помощи реле загрузки, которое включается после того, как дозатор откроется и закроется. Контакты реле контроля разгрузки (*РРС*) и загрузки (*РЗС*) включают в цепь катушки *РРП* (рис. 8.1, б).

Блокировка, не допускающая подхода грузевого подъемного сосуда к уровню разгрузки при переполненном приемном бункере, выполняется специальным реле уровня *ИКС-2* и гамма-реле. Сигнал о переполнении подается на пульт управления машинисту, а при работе в автоматическом режиме — в цепь защиты подъемной установки.

Блокировка, не допускающая загрузку подъемного сосуда при низком уровне полезного ископаемого в нижнем бункере (в нем обязательно должна оставаться прослойка горной массы, чтобы не

происходило закорачивание воздушной струи), контролируется гамма-реле, контакты которого включаются в цепь управления дозаторами.

Кроме рассмотренных защит и блокировок в здании подъемной машины должна предусматриваться сигнализация! аварийная, указывающая аппарат защиты, который сработал; запретная, сообщающая причину запрета пуска подъемной машины; оперативная (о положении муфты перестановки барабанов, состоянии предохранительного тормоза, масляных выключателей, о наличии напряжения в цепях управления и др.).

### 8.3. Автоматизация загрузочных и разгрузочных устройств на скиповых подъемных установках

Для автоматической загрузки скипов применяются загрузочные устройства, дозирующие скипы по объему и массе. Дозировка по объему не может обеспечить стабильности и точности весовой загрузки вследствие колебаний объемной и насыпной массы полезного ископаемого. Поэтому загрузочные устройства с дозировкой скипов по массе следует считать более совершенными.

По способу открывания затвора дозатора загрузочные устройства бывают с открыванием под действием массы скипа и с помощью отдельного привода (электрического, пневматического или гидравлического). Более совершенные вторые, так как они исключают возможность просыпания полезного ископаемого в ствол и предотвращают динамические удары при посадке скипа на посадочное устройство. Посадочное устройство в этом случае отсутствует, так как затвор дозатора открывается специальным приводом по сигналу датчика крайнего положения скипа. На действующих подъемных установках применяются оба типа загрузочных устройств. Однако при реконструкции шахт и новом строительстве предпочтение отдают загрузочным устройствам с отдельным приводом затвора и автоматизацией дозировки по массе.

Способ разгрузки скипов зависит от их конструкции. Наибольшее применение получили скипы с донной разгрузкой и секторным затвором. При подходе такого скипа к месту разгрузки отклоняющие ролики его попадают в разгрузочные кривые и отклоняют кузов скипа, поворачивая его вокруг опорной оси. При этом ролики уже не поддерживают затвор, который под действием груза раскрывается, и полезное ископаемое высыпается в приемный бункер. После разгрузки затвор закрывается разгрузочными кривыми при движении скипа вниз. Практика показала, что такие скипы создают большие динамические нагрузки на разгрузочные кривые. Поэтому в последнее время применяются также скипы с боковой разгрузкой при неподвижном кузове и с механизмом открывания-закрывания секторного затвора с помощью индивидуального привода, установленного на копре.

В загрузочных устройствах с дозированием по объему и открыванием дозаторов под действием массы скипа при автоматизации нет необходимости устанавливать дополнительную аппаратуру. Если затворы дозаторов снабжены индивидуальными приводами, то загрузочное

устройство оборудуется дополнительными аппаратами для управления этими приводами, а также специальными выключателями контроля поступления скипов под загрузку и контроля положения секторных затворов. Дозировка массы осуществляется при помощи специальной аппаратуры автоматизации типа КДС.

Аппаратура КДС выпускается во взрывобезопасном исполнении. Она автоматически включает и отключает привод дозатора при подходе скипа под загрузку и его номинальной загрузке, а также выдает световой сигнал о наличии полезного ископаемого в дозаторе.

В качестве датчиков массы применяются тензометрические датчики, наклеенные на стальные стержни, которые помещаются во взрывобезопасные оболочки и устанавливаются под дозатором. Блок управления состоит из двух линейных усилителей напряжения с унифицированным выходом 0—5 мА, двух релейных усилителей мощности и источника питания.

При заполнении дозатора на выходе датчика появляется сигнал, пропорциональный его загрузке. Если масса полезного ископаемого в дозаторе достигает заданного значения, срабатывает релейный усилитель и исполнительное реле подает сигналы на открывание затвора дозатора загрузки соответствующего скипа, а также на прекращение подачи полезного ископаемого в дозатор. Пластинчатый питатель, подающий горную массу в дозатор, при этом останавливается.

Описанное устройство позволяет контролировать предельную загрузку 12, 25 и 50 т. Минимальная контролируемая нагрузка составляет 1; 2; 2,5; 5 т.

Автоматизация загрузочных и разгрузочных устройств предусматривает также контроль верхнего и нижнего уровней материала в подземных бункерах и на поверхности, что осуществляется электродными датчиками или гамма-электронными реле. Предотвращение отдачи последнего, так как они позволяют обеспечить надежный бесконтактный контроль, имеют высокую стабильность параметров и длительный срок службы.

#### 8.4. Автоматическое управление подъемной машиной с асинхронным приводом

В угольной промышленности СССР более 90 % подъемных установок оборудованы асинхронным приводом. Асинхронный привод применяется в однодвигательном (до 1000 кВт), двухдвигательном (до 2500 кВт) исполнении. Такое широкое применение асинхронного привода вызвано его простотой и относительно невысокими капитальными затратами.

Принята стандартная шестипериодная диаграмма скорости  $V$  —  $\omega$  (0 (Рис- 8.2), которая применяется при автоматизации скипового подъема. В период  $\omega$  подъемный сосуд движется в разгрузочных кривых так, чтобы скорость выхода его из кривых не была больше 1,5 м/с. В период происходит разгон подъемной машины до максимальной скорости с ускорением, которое не должно превышать 1,0—1,2 м/с<sup>2</sup>. На участке равномерного хода  $1/3$  скорость подъемного сосуда максимальная. Снижаться скорость в период замедления должна до

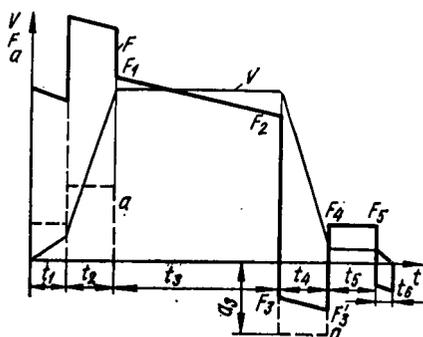


Рис. 8.2. Диаграммы скоростей и усилий

таль работает при закороченном сопротивлении в цепи ротора на естественной характеристике, то ни в каких средствах автоматизации он не нуждается, так как скорость практически не меняется при изменении в широких пределах нагрузки подъемных сосудов.

Пуск и останов подъемной машины также требуют автоматического управления. При автоматизации пуска подъемной машины с асинхронным приводом ускорение подъемных сосудов во избежание недопустимых перегрузок не должно превышать заданного значения, если усилия на валу подъемного двигателя положительные. Поэтому задача автоматизации в основном сводится к подаче напряжения в цепь статора двигателя и выведению сопротивления из цепи ротора, чтобы выполнялась заданная диаграмма скорости.

Из-за ограниченного числа контактов, выводящих сопротивление из цепи ротора, уменьшается оно ступенчато. Также ступенчато изменяются ток подъемного двигателя, соответствующий ему движущий момент и ускорение.

Наиболее распространены две схемы автоматизации пуска: по току с корректировкой по времени и по току и ускорению.

Пуск подъемной установки по току с корректировкой по времени (рис. 8.3) осуществляется восьмиконтактной роторной станцией с контакторами  $V1—V8$  и реле времени  $PV1—PV8$ , а также реле тока  $PTV$ . Здесь же показаны катушки контакторов «Вперед» —  $B$ , «Назад» —  $H$ , подключающие статор двигателя к сети, контакты командоконтроллера  $KK-1$ ,  $KK-2$  и реле дуговой блокировки ( $РДБ$ ). Его контакты замыкаются в цепях  $B$  и  $H$  с выдержкой времени, необходимой для надежного гашения дуги на силовых контактах контакторов  $B$  ( $Я$ ), благодаря чему исключается реверс подъемного двигателя до полного гашения дуги.

В исходном состоянии катушки контакторов  $B$  ( $H$ ),  $V1—V8$  обесточены, катушки реле времени  $PV1—PV8$  обтекаются током через размыкающиеся контакты  $V1—V8$ , реле включены, реле  $РДБ$  обесточено. При переводе рукоятки  $KK$  в одно из крайних положений (например, «Вперед») замыкается контакт  $KK-1$  и срабатывает катушка контактора  $B$ . Одновременно получает питание  $РДБ$  и размыкает свои контакты в цепях реле времени  $PV1$  и катушки реверсора  $B(H)$ . Реле  $PV1$ , обесточившись, с выдержкой времени включает контактор  $V1$ ,

0,4—0,6 м/с с замедлением не более  $1,0—1,1$  м/с<sup>2</sup>. Период  $i_5$  движения подъемных сосудов с пониженной скоростью 0,4—0,6 м/с (период до-тягивания) предусмотрен для плавного входа в разгрузочные кривые и компенсации неточности выполнения диаграммы скорости в период  $i_4$ . В период  $i_6$  подъемная машина стопорится рабочим тормозом. Диаграммы усилий  $T_7 = f(t)$  и ускорений  $a = f(t)$  приведены на рис. 8.2.

Если скорость подъема максимальной, когда асинхронный двига-

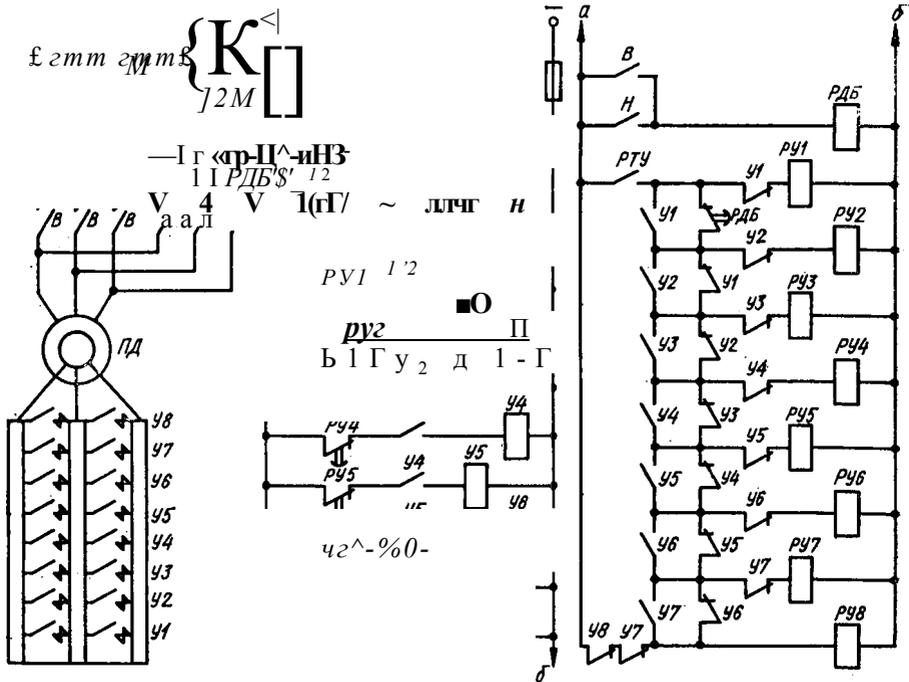


Рис. 8.3. Принципиальная схема автоматического пуска асинхронного двигателя по току с корректировкой по времени

который силовыми контактами закорачивает первую ступень роторного сопротивления, а блок-контактами подготавливает цепи обмотки реле  $PУ2$  и катушки контактора  $У2$ .

При закорачивании ступени сопротивления возрастает ток и момент двигателя. Если ток равен току срабатывания реле ( $РТУ$ ) включенного в цепь статора двигателя, то оно замыкает свой контакт в цепях реле времени  $PУ2—PУ8$ . В данном случае реле  $PУ2$  получает питание через контакты  $РТУ$ ,  $У1$  и  $У2$ . По мере разгона двигателя ток в цепи статора уменьшается. При уменьшении тока до величины тока отпущения  $РТУ$  его контактом отключается реле  $PУ2$ , которое с выдержкой времени замыкает свой контакт в цепи катушки  $У2$ . При срабатывании  $У2$  закорачивается вторая ступень пускового сопротивления и подготавливается к отключению реле  $PУ3$  и включению контактора  $У3$ . Однако, пока ток в цепи двигателя не станет равным току отпущения реле  $РТУ$ , реле  $PУ3$  не обесточится. Аналогично пуск продолжается до полного вывода роторного пускового сопротивления.

Рассмотренная схема пуска чувствительна к изменению загрузки подъемных сосудов и не всегда при пуске обеспечивает с требуемой точностью заданное ускорение.

Более совершенна схема пуска по току и ускорению (рис. 8.4), которая позволяет с большой точностью выдерживать заданный режим пуска даже при существенных колебаниях загрузки. Схема со-

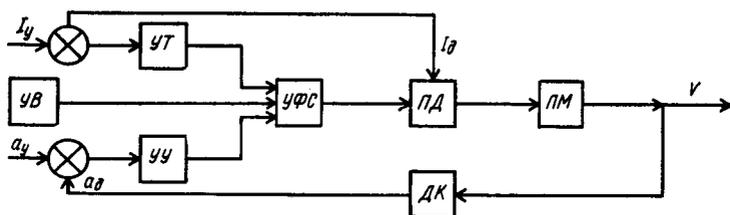


Рис. 8.4. Принципиальная схема автоматического пуска асинхронного двигателя по току и ускорению

держит два контура управления — по току и по ускорению, а также узел временных задержек  $УВ$ . В процессе пуска производится сравнение действительных значений тока статора  $I_d$  подъемного двигателя и ускорения  $a_d$  с их заданными значениями  $I_y$  и  $a_y$ . При превышении действительного значения каждой из этих величин соответствующих им заданных значений узел тока  $УТ$  и узел ускорения  $УУ$  выдают сигнал «Запрет» в узел формирования управляющего сигнала  $УФС$ , который прекращает выдачу команд на включение последующих контакторов. Это приводит к тому, что дальнейшее возрастание момента двигателя  $ПД$  прекращается, и двигатель продолжает работать на фиксированной механической характеристике до тех пор, пока ток и ускорение подъемной машины  $ММ$  не станут равными заданным значениям. Сигнал, пропорциональный действительному ускорению, получается при дифференцировании в блоке  $ДК$  напряжения тахогенератора, пропорционального действительной скорости. При использовании данной схемы роторные сопротивления переключаются также с помощью роторной станции.

Замедление подъемных сосудов — наиболее ответственный участок диаграммы скорости. На подъемных установках с асинхронным приводом соотношение между статическими усилиями, развиваемыми полезным грузом, и массой движущихся частей в большинстве случаев такое, что для создания необходимого замедления на валу подъемной машины необходимо развивать тормозное (отрицательное) усилие (рис. 8.2).

Иногда на неглубоких шахтах расчетные тормозные усилия приближаются к нулю, а замедление подъемных сосудов — к свободному выбегу. В этом случае автоматизация замедления сводится к выбору момента отключения двигателя от сети в зависимости от степени загрузки подъемного сосуда. Момент отключения выбирается таким образом, чтобы подвести подъемный сосуд к разгрузочным кривым с требуемой скоростью. Для замедления в системе автоматизации предусмотрен специальный датчик типа  $ДНЗ-3$ , с помощью которого обеспечивается автоматический выбор точки начала замедления подъемных сосудов в зависимости от загрузки.

Редко приходится при замедлении создавать положительное усилие, т. е. осуществлять двигательное замедление. Для этого в цепь ротора вводится значительное сопротивление, и подъемная машина замедляется аналогично свободному выбегу при небольшом усилии, создаваемом двигателем.

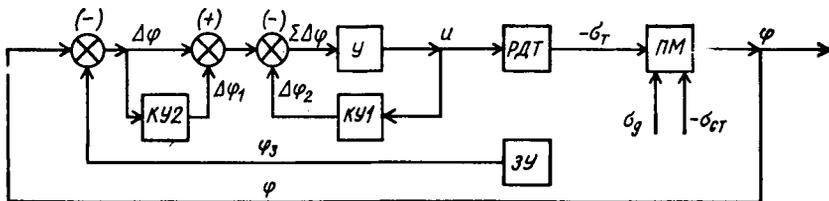


Рис. 8.5. Функциональная схема автоматизации замедления с механическим тормозом

В случае необходимости создания тормозных усилий применяются системы с регулируемым механическим тормозом, динамическим торможением, питанием двигателя от источника с пониженной частотой, а также системы с рекуперативным динамическим торможением при помощи каскадных схем.

Во всех названных случаях замедление подъемных сосудов осуществляется замкнутой динамической системой, которая обеспечивает изменение скорости в период замедления по наперед заданному закону. Закон изменения скорости при замедлении формируется специальным задающим устройством.

Автоматизация замедления с регулируемым механическим тормозом применяется на тех подъемных установках, где для обеспечения заданного режима требуются незначительные тормозные усилия (20—30 % от усилий, создаваемых статической нагрузкой). На практике этому условию удовлетворяет значительное количество действующих подъемных установок.

Обобщенная функциональная схема системы автоматического замедления с механическим тормозом приведена на рис. 8.5. Заданный закон изменения скорости  $\langle \varphi_3$  формируется задающим устройством  $ЗУ$ . Действительная скорость  $\langle \varphi$  сравнивается с заданной  $\varphi_3$ . Сигнал, пропорциональный отклонению действительной скорости от заданной, поступает в усилитель, а затем в блок  $PДТ$ , представляющий собой регулятор давления и тормоз подъемной машины. В зависимости от рассогласования между  $\langle \varphi$  и  $\varphi_3$  изменяется усилие прижатия тормозных колодок к тормозному ободу подъемной машины  $ПМ$ , а следовательно, изменяется и величина тормозного усилия.

Регулятор давления и тормоз подъемной машины — элементы системы, существенно влияющие на качество процесса регулирования. Практика показывает, что для обеспечения заданного качества необходимо вводить в систему корректирующие устройства (на схеме  $КУ1$  и  $КУ2$ ). Детально этот вопрос рассматривается в подразд. 8.4.

Один из вариантов применяемых систем автоматизации замедления с механическим тормозом, в соответствии с рассмотренной функциональной схемой, показан на рис. 8.6. Сигналы, пропорциональные действительной и заданной скоростям, поступающие от тахогенератора ( $ТГ$ ) и задающего устройства ( $ЗУ$ ), сравниваются на обмотке  $ОВ1$  однотактного магнитного усилителя ( $УИУ$ ). В зависимости от рассогласования скоростей изменяется ток в обмотке регулятора давления ( $ОВРД$ ), включенной в цепь нагрузки магнитного усилителя, что, в свою очередь, приводит к изменению давления в цилиндре рабочего тормоза ( $ЦРТ$ ), а значит, и тормозного усилия. Для обеспечения

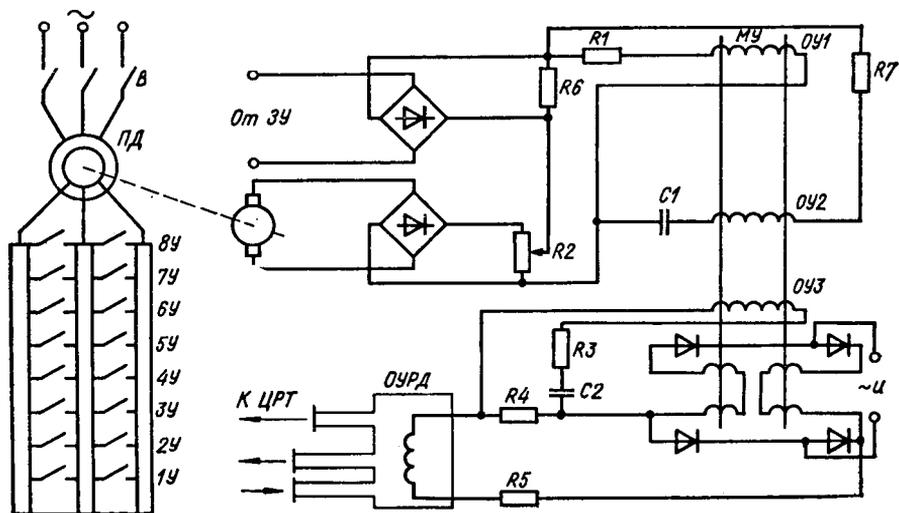


Рис. 8.6. Принципиальная схема автоматизации замедления с механическим тормозом

заданного качества в систему введены два корректирующих устройства — последовательное и параллельное. Последовательное формирует сигнал, пропорциональный производной от отклонения действительной и заданной скоростей, и подает его в систему вместе с сигналом отклонения (цепь  $r_7$ ,  $C_{10}$ ,  $OУ2$ ). Параллельное корректирующее устройство представляет собой гибкую отрицательную обратную связь, которой охвачен магнитный усилитель (цепь  $C_2$ ,  $l_2^8$ ,  $OУ3$ ,  $g_4$ ). Правильно подобранные параметры названных корректирующих устройств обеспечивают требуемое качество регулирования при замедлении ( $Y_u$ ,  $l_2^2$ ,  $l_2^5$ ,  $Y_6$  — установочные резисторы).

~ Динамическое торможение заключается в том, что в момент начала замедления статор двигателя отключается от сети переменного тока и в его две фазы подается постоянный ток. Ротор двигателя вращается за счет энергии, запасенной в маховых массах подъемной установки. В обмотках ротора, замкнутых через секции роторных сопротивлений, при пересечении силовых линий магнитного поля статора образуется ток. В результате взаимодействия поля статора и тока ротора в двигателе создается момент динамического торможения.

Функциональная схема системы с динамическим торможением приведена на рис. 8.7. Здесь ИДТ — источник динамического торможения, в качестве которого используются генератор постоянного тока, тиристорный преобразователь или силовой магнитный усилитель. В схеме имеются задающее устройство (ЗУ), усилитель (У) для усиления сигнала рассогласования между  $\phi$  и  $\phi_8$ , а также для передачи и усиления сигнала корректирующего устройства (КУ). С изменением рас-

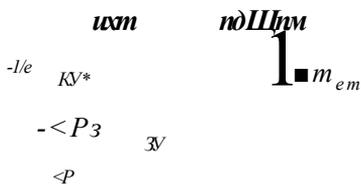


Рис. 8.7. Функциональная схема автоматизации замедления с динамическим торможением

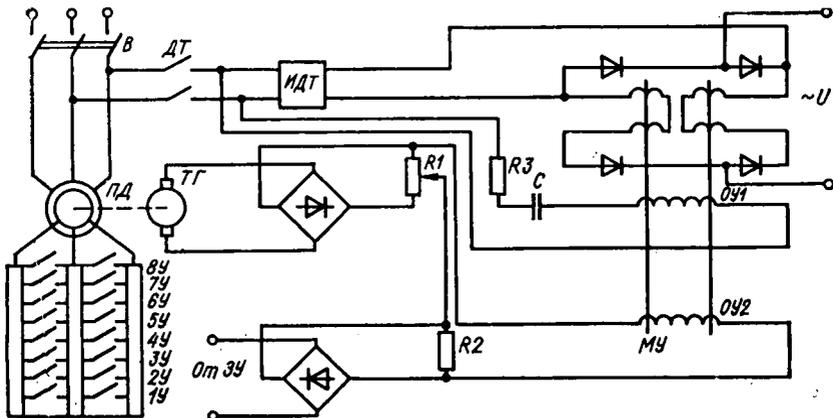


Рис. 8.8. Принципиальная схема автоматизации замедления с динамическим торможением

согласования между  $\varphi$  и  $\phi_8$  меняется напряжение на выходе ИДТ, что приводит к изменению момента динамического торможения.

Упрощенная принципиальная схема системы автоматизации замедления с динамическим торможением показана на рис. 8.8. В качестве усилителя используется магнитный усилитель, нагрузкой которого является источник динамического торможения. Корректирующее устройство выполнено на базе цепи  $R_3, C$  и представляет собой гибкую отрицательную связь, охватывающую магнитный усилитель и источник динамического торможения.

В данной системе по мере снижения скорости при замедлении кроме регулирования напряжения ИДТ выводятся ступени роторного сопротивления, чтобы обеспечить достаточный тормозной момент при малых скоростях движения в момент подхода подъемных сосудов к месту дотягивания. Вываются ступени роторного сопротивления в зависимости от скорости: работа при этом происходит на третьей, четвертой и пятой ступенях.

Системы автоматизации подъема совершенствуются на основе тиристорной силовой техники и высоконадежных полупроводниковых устройств. Одна из таких систем типовая — АГП-2. Она предназначена для действующих грузовых подъемных установок с асинхронным приводом, где подъемные сосуды замедляются, если подъемный двигатель питается от тиристорного преобразователя частоты. При подходе подъемного сосуда к точке начала замедления двигатель отключается от питающей сети и в его статор от тиристорного преобразователя частоты подается напряжение пониженной частоты (2—8 Гц). Поскольку двигатель вращается со скоростью, намного превышающей синхронную, соответствующую пониженной частоте, он оказывается работающим в режиме генераторного торможения. Для обеспечения заданного тормозного момента на всем диапазоне замедления в системе предусмотрено переключение ступеней роторного сопротивления в функции скорости.

Режим дотягивания подъемных сосудов с малой скоростью (0,4—0,6 м/с) необходим для компенсации ошибки в пути, накопленной

при замедлении, и подхода сосудов к месту загрузки (разгрузки) с достаточно малой скоростью. Путь дотягивания не должен быть большим, так как это ведет к увеличению времени цикла, снижению производительности подъема. При дотягивании требуется двигательный режим (см. рис. 8.2). Наиболее распространены следующие способы автоматизации дотягивания: совместная работа двигателя на одной из искусственных характеристик и механического тормоза, питание двигателя током пониженной частоты, применение микропривода, работа одного двигателя в двигательном режиме, а другого — в режиме динамического торможения при двухдвигательном приводе.

Если для дотягивания используется механический тормоз, подъемный двигатель работает на одной из искусственных характеристик и создает движущий момент, на 15—20 % больший момента нагрузки. Заданная скорость дотягивания регулируется механическим тормозом, который управляется так же, как и при замедлении подъемных сосудов при постоянном значении заданной скорости (см. рис. 8.5).

Так называемое частотное дотягивание, когда подъемный двигатель питается током пониженной частоты, осуществляется на некоторой естественной механической характеристике, соответствующей частоте 2,5 да 5,0 Гц. Механические характеристики в этом случае достаточно жесткие и не требуют дополнительной подрегулировки даже при значительных колебаниях нагрузки. Так как преобразователи частоты относительно сложны, то данный способ желательно применять, если движение подъемных сосудов замедляется частотным методом.

Применение микропривода связано с тем, что для дотягивания используется короткозамкнутый асинхронный двигатель с отдельным редуктором и аппаратурой управления. Двигатель микропривода работает на естественной механической характеристике и посредством понижающего редуктора во время дотягивания вращает барабан подъемной машины с малой скоростью. Мощность микропривода зависит от величины требуемого усилия, скорости дотягивания и составляет 3—10 % номинальной мощности подъемного двигателя.

Стопорится подъемная машина с помощью рабочего тормоза. Команду на его наложение дают концевые выключатели, срабатывающие тогда, когда подъемные сосуды подходят к месту остановки.

## 8.5. Расчет системы автоматического управления

Из рассмотренных способов автоматизации подъемных установок с асинхронным приводом наиболее сложна автоматизация периода замедления, осуществляемая замкнутой системой автоматического управления. Удовлетворительная работа такой системы возможна в условиях правильно выбранных параметров путем расчета системы управления. Большинство параметров системы - известно, они определяются на основании характеристик подъемной установки и применяемой аппаратуры управления. Рассчитываются коэффициенты усиления системы и отдельных ее элементов, а также параметры корректирующих устройств, необходимых для обеспечения качества автоматического управления, при заданном законе замедления. Коэффи-

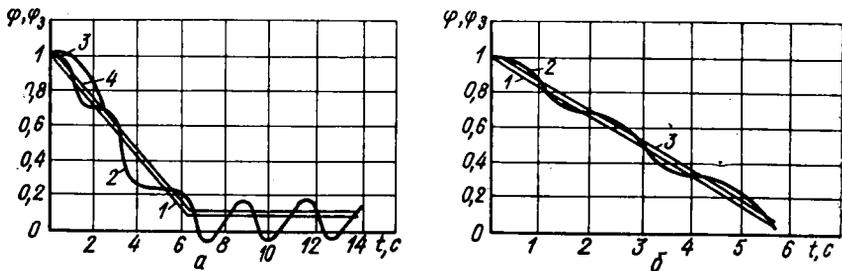


Рис. 8.9. Диаграммы скорости при замедлении:  
 а — с механическим тормозом; б — с динамическим торможением

коэффициент усиления системы устанавливается, когда получена требуемая\* статическая точность: величина его оказывается такой, что переходный процесс в системе становится колебательным. Изменение действительной скорости движения подъемных сосудов  $\langle \varphi$  (кривая 2) при заданном ее законе (кривая 1) для получивших наибольшее распространение на практике систем с механическим (а) и динамическим (б) торможением показано на рис. 8.9.

Для исключения колебаний и получения заданного качества ■ систему вводятся корректирующие устройства, различные для систем с механическим и динамическим торможением.

В системе с механическим тормозом применяются два корректирующих устройства —  $KV1$  и  $KV2$  (см. рис. 8.5).  $KV1$  является параллельным и представляет собой гибкую отрицательную обратную связь» охватывающую усилитель (У). На рис. 8.9, а кривая 3 соответствует случаю, когда в систему введено  $KV1$ . Как видно, качество процесса значительно улучшилось. Однако в начале периода замедления величина рассогласования между действительной  $\varphi$  (кривая 3) и заданной  $\varphi_3$  (кривая 1) скоростями значительна из-за недостаточного быстродействия системы. Путь замедления при этом по сравнению с заданным растягивается, что приводит к увеличению времени цикла подъема, а следовательно, к снижению производительности. Чтобы этого избежать, в систему вводится последовательное корректирующее устройство  $KV2$  (см. рис. 8.5), формирующее сигнал, пропорциональный производной от рассогласования между действительной  $\varphi$  и заданной  $\varphi_3$  скоростями движения подъемных сосудов. Благодаря этому увеличивается быстродействие системы и повышается ее запас устойчивости.

На рис. 8.9, а кривая 4 определяет изменение действительной скорости  $\varphi$  при введении двух корректирующих устройств —  $KV1$  и  $KV2$ . Анализируя эту кривую, можно сделать вывод, что введение названных устройств обеспечивает при расчетном коэффициенте усиления практически постоянную ошибку в выполнении заданного закона замедления и исключает недопустимые динамические усилия.

В системе с динамическим торможением такое же качество управления получается при введении только одного корректирующего устройства ( $УС$ ) (см. рис. 8.7). Это гибкая отрицательная обратная связь, охватывающая усилитель У и источник динамического торможения ИДТ (рис. 8.9, б, кривая 3).

В качестве расчетных рассмотрим функциональные схемы систем с применением механического тормоза и динамического торможения. Составим дифференциальные уравнения системы с механическим тормозом (см. рис. 8.5). При составлении введем следующие обозначения;  $U > U_3$ .  $U_m$  — соответственно действительная, заданная и максимальная скорости движения подъемных сосудов, м/с;  $P_{ст} > P_m, P_a$  — статическое, тормозное и движущее усилия, приведенные к ободу барабана; подъемной машины, Н;  $P_{ст.н}$  — номинальное значение статического усилия, Н;  $P_{дв}$  — усилие, развиваемое двигателем на искусственной механической характеристике, при  $u = 0$ , Н;  $u_{ay}$  — напряжение на нагрузке магнитного усилителя, В;  $U_a$  — номинальное напряжение питания силовой цепи магнитного усилителя, В;  $u_{\parallel}$  — напряжения на выходе последовательного и параллельного корректирующих устройств, В;  $u_u$  — напряжение на ЗУ, соответствующее максимальному значению скорости, В;  $X_3, X$  — соответственно заданное и действительное значения пути замедления, м;  $M$  — приведенная к ободу барабана масса подъемной установки, кг;  $T_2$  — постоянная времени подъемной установки, с;  $K_m$  — коэффициент усиления тормоза подъемной машины, Н/м<sup>2</sup>;  $D_{ц}$  — диаметр поршня цилиндра рабочего тормоза, см;  $K_{с.у.з}$  — коэффициент усиления обмотки магнитного усилителя для сравнения напряжений, пропорциональных действительной и заданной скоростям;  $K_p$  — коэффициент усиления регулятора давления, Н/Н/м<sup>2</sup>.

В приведенных ниже уравнениях, записанных на основании литературных и экспериментальных данных, принимаем следующие обозначения относительных значений переменных:

$$\begin{aligned}
 O & \quad \text{ст} & \frac{y_{ст}}{\Delta_{ст.н}} & \quad - \frac{P_m}{\Delta_{ст.н}^3} \\
 \frac{\Delta_{л}}{\Delta_{ст.н}}, O & \quad - \frac{P_u}{\Delta_{ст.н}} \cdot u & \quad \frac{\Delta_{м.у}}{u} \\
 \text{«з»} \cdot D_{ф.х} & = \frac{D_{г} \gg 1}{\text{«м»}} & \quad D_{ф.г} = \frac{D_{и2}}{\text{«и»}} \\
 \frac{\Delta_{с}}{u_m} & \quad : D_{и2} & \quad \frac{\text{«л»}}{\text{«и м»}} > \\
 D_{ф} & \quad \frac{D_o}{\text{«и м»}}; D_o = 0 - v_3.
 \end{aligned}$$

Запишем дифференциальные уравнения. Для подъемной установки в режиме замедления

$$\Gamma_{1ф}' = -a_{ст} - \sigma_{т} \quad (8.1)$$

Для подъемной установки в режиме дотягивания при совместной работе двигателя и механического тормоза

$$\Gamma_{сф}' + \sigma_{р} = \#1 (a_{дв} - a_{ст} - a_{т}). \quad (8.2)$$

Уравнение регулятора давления с тормозом подъемной машины нелинейное. Экспериментально полученная статическая характеристика регулятора давления типа РДБВ приведена на рис. 8.10, а. Эта

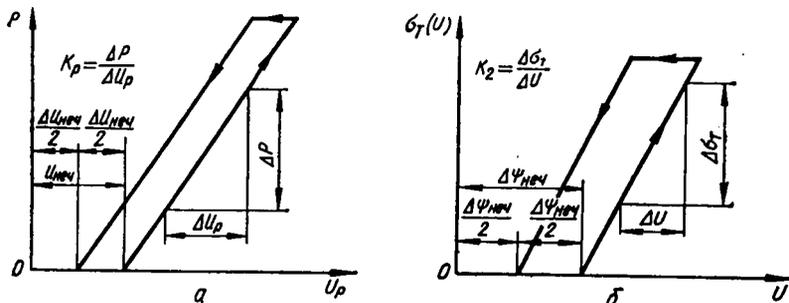


Рис. 8.10. Статические характеристики:  
*a* — регулятора РДБВ; *б* — регулятора РДБВ с тормозом

характеристика существенно нелинейна. Зона нечувствительности  $u_{нчч}$  на этой характеристике вызвана механическим сопротивлением клапана регулятора, а наличие петли объясняется гистерезисными явлениями в обмотках управления. В общем виде статическая характеристика регулятора давления с тормозом подъемной машины приведена на рис. 8.10, б. Она имеет такой же вид. При работе регулятора давления и тормоза на линейной части характеристики происходящего в них процесса можно описать линейным дифференциальным уравнением первого порядка. Однако с учетом нелинейности статической характеристики это уравнение будет нелинейным:

$$+ \sigma_T = \quad (8.3)$$

Здесь функция  $\sigma_T$  обозначает нелинейность статической характеристики.

Уравнение магнитного усилителя

$$T_{я} u' + U = K_a (\langle p - \Phi_3 + D\phi' - D\phi_a). \quad (8.4)$$

Для параллельного корректирующего устройства

$$\Gamma_4 D\phi^2 + D\phi_a = \sqrt{47} \cdot \xi'. \quad (8.5)$$

Для последовательного корректирующего устройства

$$\Gamma_5 D\phi' + D\phi_1 = K \cdot \Gamma \cdot D\phi'. \quad (8.6)$$

Закон изменения заданной скорости (в функции времени)

$$\Phi_3 = 1 - \frac{u}{u_M} \quad (8.7)$$

Определим параметры приведенных уравнений, для чего введем дополнительно следующие обозначения!  $K$  — коэффициент усиления системы;  $a_3$  — заданное замедление, м/с\*;  $\phi_{дог}$  — 0,6/ $u_M$  — относительное значение действительной скорости дотягивания;  $\phi_{дог.т.з} = \Rightarrow 0,4/u_M$  — относительное значение заданной скорости дотягивания;  $DX_3$  — ошибка в заданном пути замедления при перегоне порожних сосудов, м;  $\phi_3$  —  $a_3/u_M$  — относительное значение заданного замедления, с<sup>-1</sup>.

Так как рассматриваемая система статическая, то величина тормозного усилия

$$a_{..} = 1/(D\phi). \quad (8.8)$$

Поставим условие, что на всем пути замедления величина  $L < r$  должна быть постоянной, тогда и значение  $\sigma_r$  будет постоянным. При этом можно рассчитать значение  $K$  для обеспечения требуемого тормозного усилия.

Величина  $K$  для случая тормозного режима (замедление) и двигательного (дотягивание) определяется из двух условий: ошибка в пути замедления при перегоне порожних сосудов должна быть не более — 1—3 м, чтобы время цикла при подъеме груженных подъемных сосудов оставалось практически неизменным; рассогласование между действительной и заданной скоростями при перегоне порожних сосудов для режима дотягивания не должно приводить к срабатыванию защиты от превышения скорости. Согласно нормам, защита от увеличения скорости в этом случае должна сработать при скорости, превышающей 0,9 м/с. Если принять величину заданной скорости при дотягивании 0,4 м/с, то допустимая ошибка для режима дотягивания может быть принята 0,2 м/с.

По первому условию

$$K \text{ _____ (8.9)}$$

По второму

$$K = \dots \quad A\phi \quad (8.10)$$

В дальнейшем принимаем большее из полученных по формулам (8.9) и (8.10) значение  $K$  для режимов замедления и дотягивания. В выражениях (8.9) и (8.10)

$$\Gamma = M v_{\phi} / F \Delta \epsilon / C, = / =, \dots, / >, \dots \quad (8.11)$$

Величины  $M$  и  $\Gamma$ , ..  $n$  можно определить по данным диаграммы усилий (рис. 8.2):

$$M = (P, - P, \dots) / a_3; P_{\text{стн}} = (P, + P_r) / 3. \quad (8.12)$$

Среднее значение относительного статического усилия

$$\dots \dots \dots \quad \text{TM ст.н} \quad \dots \dots \dots \quad \langle \text{в.}, 3, \dots \rangle$$

где  $C$ ? — масса груза в подъемном сосуде (вместимость подъемного сосуда),  $H$ .

Значение пускового усилия при дотягивании

$$\sigma_{\text{п}} \ll \frac{P_{\text{н}} \cdot \Gamma_{\text{н}}}{\dots \dots \dots \text{ст.н}}; P_{\text{н}} = \sigma_{\text{п}} / \text{стн} \quad (8.14)$$

где  $M_{\text{н}}$  — номинальный момент подъемного двигателя,  $\text{Нм}$ ;  $I$  — передаточное число редуктора;  $m$  — к. п. д. редуктора,  $r_6$  — радиус барабана подъемной машины, м;  $\zeta_a$  — номинальное сопротивление фазы ротора двигателя, Ом;  $\zeta_p$  — сопротивление фазы ротора двигателя вместе с дополнительным сопротивлением реостата, Ом.

Степень реостата, на которой должен работать двигатель при дотягивании, выбирается с расчетом, чтобы скорость его была не

$$\Phi_{\text{Доп}} \sim K_2 \varepsilon_v^4 + \varepsilon_v^6 \quad (8.15)$$

Определим коэффициенты уравнения (8.3). Постоянная времени регулятора давления  $T_2$  для всех подъемных установок может быть принята равной 0,3 с. Коэффициент усиления  $K_2$  вычисляется по формуле

$$(8.16)$$

—от.н.

где  $\varepsilon_v$  — сопротивление обмотки управления регулятора давления, Ом;  $\varepsilon_{\text{н}}$  — номинальное сопротивление нагрузки магнитного усилителя, Ом.

Коэффициент  $K_p$  принимается по данным экспериментальной характеристики регулятора давления в зависимости от принятой обмотки управления (см. рис. 8.10, а).

Коэффициент  $K_2$  для барабанных подъемных машин по данным Новокраматорского машиностроительного завода

$$K_m = 0,587 \cdot 10^{-3} \text{of.} \quad (8.17)$$

Величина сопротивления  $\varepsilon_v$  берется из каталожных данных магнитного усилителя. Статическая характеристика регулятора давления существенно нелинейна, и не учитывать этого при расчете системы нельзя (см. рис. 8.10, а). Поэтому необходимо построить статическую характеристику регулятора давления с тормозом подъемной машины, для чего определим величину зоны нечувствительности на характеристике (см. рис. 8.10, б)

$$\Delta_{\text{неч}} = \frac{D_{\text{неч}}}{u_{\text{неч}}} \quad (8.18)$$

Величина  $\Delta_{\text{неч}}$  берется по данным рис. 8.10, а. Остальные величины в приведенном выражении нам известны. По рассчитанным значениям  $(K_2 \text{ и } \Delta_{\text{неч}})$  строим в относительных величинах характеристику  $a_r = f(\theta)$  (см. рис. 8.10, б).

На основании уравнения (8.3) и статической характеристики (см. рис. 8.10, б) регулятор давления с тормозом подъемной машины можно представить как линейное апериодическое звено (8.3) и нелинейное (см. рис. 8.10, б), соединенные последовательно. При этом коэффициент  $K_2$  необходимо учитывать один раз — в уравнении (8.3) или же в нелинейном звене.

Коэффициент усиления  $d_3$  в уравнении (8.4) магнитного усилителя вычисляется по уже найденному значению  $K$  и величине  $\Phi_{\text{неч}}$  статической характеристики регулятора давления с тормозом:

$$K_3 = K/K_2 + 1 p_{\text{неч}}/D(P) \quad (8.19)$$

Значение рассогласования между действительной  $\Phi$  и заданной  $s_p$  скоростями движения подъемных сосудов

Требуемый коэффициент усиления задающей обмотки ОУ1 магнитного усилителя (рис. 8.8)

$$*OY1 = KJJU* \quad (8.21)$$

где  $U_M$  — напряжение на выходе задающего устройства при максимальной скорости подъема и, В.

Постоянная времени обмотки управления одноконтурного магнитного усилителя определяется из выражения [19]

$$T_i = K_i W J 4 f W, \quad (8.22)$$

где  $K_t = K_{i, (W_i/R_i)}$  — коэффициент усиления  $i$ -й обмотки управления по напряжению;  $W_t$  — число витков  $t$ -й обмотки;  $R_i$  — сопротивление цепи  $t$ -й обмотки, Ом;  $K_n$  — коэффициент наклона статической характеристики магнитного усилителя на линейном участке, В/А • вит;  $f$  — частота напряжения питания силовой цепи магнитного усилителя, Гц;  $W$  — число витков рабочей обмотки, вит.

Для рассматриваемой обмотки ОУ1 магнитного усилителя (см. рис. 8.8) формула (8.22) принимает вид

$$^{*}OY1 = \{K_{OY1} \ll W/W \ll T \}; \quad (8.23)$$

$$R_i = z \text{ - ГОУ1-} \quad (8.24)$$

Постоянная времени  $T_3$  в уравнении (8.4) включает в себя суммарную постоянную времени всех используемых в системе обмоток управления. В нашем случае (см. рис. 8.8) кроме задающей ОУ1 применены еще две обмотки управления — ОУ2 и ОУ3, предназначенные для включения корректирующих устройств, а также обмотка смещения (на рис. 8.8 не показана). Чтобы учесть влияние этих обмоток, ориентировочно примем

$$T_3 \approx (4-5) T_{OY1}. \quad (8.25)$$

На основании рассмотренного определим параметры исходных уравнений системы (8.1) — (8.4). Искомыми являются параметры  $K_4$ ,  $T_4$ ,  $K_6$ ,  $T_6$  в уравнениях (8.5) и (8.6) корректирующих устройств, которые можно определить дальнейшими расчетами системы управления. Так как она нелинейна, то нельзя применять методы расчета линейных систем.

Один из наиболее простых методов расчета нелинейных систем — моделирование на аналоговой вычислительной машине, позволяющее при заданных исходных данных путем их вариации найти параметры корректирующих устройств и получить такое сочетание, при котором в системе обеспечивается апериодический процесс. Ориентировочно можно принимать следующие пределы вариации параметров корректирующих устройств:

$$K_4 = 0,2-0,8; T_4 = 2-6 \text{ с}; K_6 = 1-6; T_6 = 0,4-2 \text{ с}.$$

Учитывая, что гибкая отрицательная связь снижает быстродействие системы, постоянную времени  $T_4$  желательно брать как можно меньшую.

Для примера (рис. 8.11, а) приведена схема моделирования системы с механическим тормозом в режиме замедления. Обозначения переменных на ней соответствуют обозначениям на структурной схеме

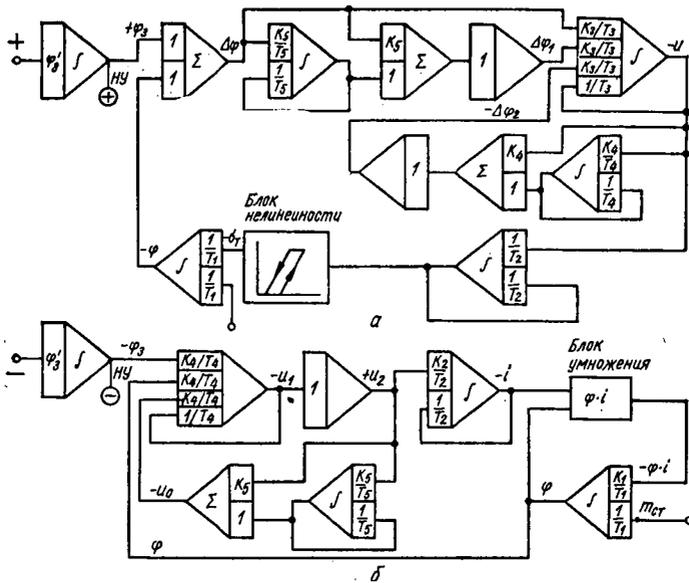


Рис. 8.11. Схемы моделирования системы:  
 а — с механическим торможением; б — с динамическим торможением

(см. рис. 8.5). Машинные коэффициенты для конкретного примера рассчитываются по общепринятой методике, известной из предыдущих дисциплин.

Дифференциальные уравнения системы с динамическим торможением составим по известной методике в соответствии с рис. 8.7 и 8.8 при задании скорости в функции времени [5].

В дополнение к принятым ранее обозначениям введем следующие:  $M_{ст}$ ,  $M_m$  — соответственно статический и тормозной моменты, приведенные к валу двигателя, Нм;  $M_n$  — номинальный момент двигателя, Нм;  $V$  — момент инерции движущихся частей, приведенный к валу двигателя, кг · м<sup>2</sup>;  $R_6$  — радиус барабана, м;  $i_{ред}$  — передаточное отношение редуктора;  $X_{ц}$  — реактивное сопротивление намагничивания подъемного двигателя, Ом;  $r_p$  — приведенное к обмотке статора сопротивление одной фазы цепи ротора, Ом;  $i_n$  — среднеквадратичное значение постоянного тока при динамическом торможении, А;  $i_d$  — ток динамического торможения, А;  $\mathcal{E}_d$  — номинальный ток источника динамического торможения, А;  $\mathcal{E}_H$  — напряжение на выходе источника динамического торможения, В;  $U_H$  — номинальное напряжение на выходе источника динамического торможения, В;  $U_{м.у}$  — напряжение на выходе магнитного усилителя, В;  $U_K$  — напряжение на выходе корректирующего устройства, В;  $r_\phi$  — сопротивление фазы статора подъемного двигателя, Ом;  $r_H$  — сопротивление источника динамического торможения, Ом.

В рассматриваемых ниже уравнениях

$$Y \text{БМн} \quad \frac{M_{ст}}{M_n} \quad \mathcal{E}_H$$

В соответствии с принятыми обозначениями и рис. 8.6 и 8.7 дифференциальные уравнения системы для подъемной машины [6]

$$T^{\wedge}p' = -m_{am} - K \dot{z} \quad (8.27)$$

для цепи выход ИДТ — статор подъемного двигателя

$$7Y' + / = *, \text{£}/, \text{,,} \quad (8.28)$$

Дифференциальное уравнение источника динамического торможения (ИДТ) зависит от его типа. Это может быть генератор постоянного тока, силовой магнитный усилитель или наиболее распространенный тиристорный преобразователь. С достаточной точностью он может быть представлен усилительным звеном

$$u_2 = K_0 u_i \quad (8.29)$$

Для магнитного усилителя

$$T_a u' + u = K, (\Phi - \Phi_3 - u_0). \quad (8.30)$$

Для параллельного корректирующего устройства (гибкой отрицательной обратной связи)

$$T^{\wedge}_0 + u_0 = K, T_b u'_2 \quad (8.31)$$

Учитывая выражение (8.7), определим коэффициенты усиления системы и отдельных ее элементов. Аналогично рассмотренной системе с механическим тормозом (8.8) тормозной момент динамического торможения можно представить как

$$M_r = /CA\phi. \quad (8.32)$$

С другой стороны, согласно формуле (8.26)

$$m_m = \quad (8.33)$$

Совместное решение уравнений (8.28), (8.29), (8.30) в установившемся режиме, когда  $C = 0$ ,  $I/\lambda = 0$ , позволяет представить

$$\tau_r = /C_1 J \Gamma_2 / < \Gamma \text{я} / C_4 \text{ фл} \phi. \quad (8.34)$$

Приравнивая правые части выражений (8.32) и (8.34), получаем

$$K = K_2 K_3 K^* K_4 \text{ ф}. \quad (8.35)$$

Данная формула показывает, что коэффициент усиления системы с динамическим торможением зависит от скорости движения подъемных сосудов.

Коэффициенты  $K_{12}$ ,  $K_2$  и  $K_3$  для конкретной системы автоматического управления могут быть определены. Таким образом, здесь, как в системе с механическим тормозом, задача состоит в определении коэффициента усиления управляющего элемента. В нашем случае это магнитный усилитель, коэффициент усиления которого с учетом (8.35) должен быть равен

$$= K / (K_2 K M). \quad (8.36)$$

Коэффициент  $K_4$  должен иметь значение, чтобы обеспечивался такой тормозной момент  $m_m$ , при котором рассогласование скоростей  $D < p$  не превышало заданного на всем пути замедления до скорости дотягивания, т. е. в выражении (8.36) вместо  $\phi$  необходимо подставить  $\phi_{\text{дот}}$ , в результате получим

$$K_4 = 17 \left( \frac{D_a}{C_{\Sigma \phi_{\text{дот}}}} \right) \quad (8.37)$$

Требуемое значение  $L\phi$  определяется из выражения (8.20). Вычислив  $A\phi$ , можно по формуле (8.32) найти необходимое значение  $K$ , если установить из диаграммы усилий (см. рис. 8.2) требуемое значение тормозного момента

$$T_{\text{ред}} < 2 \frac{(P_3 + P_3) \text{ Яв}}{M_H} \quad (8.38)$$

После определения  $K$  (8.37) находим нужное значение коэффициента усиления  $K$  магнитного усилителя. В дальнейшем для определения постоянной времени усилителя  $T_a$  и требуемого коэффициента усиления задающей обмотки  $OY2$  (рис. 8.8) применяются формулы (8.21) и (8.22).

Постоянная времени подъемной установки  $T$  в уравнении (8.27) устанавливается по формуле (8.26). При этом момент инерции  $J$  можно вычислить по данным диаграммы усилий (см. рис. 8.2)

$$J = \frac{(\Delta \text{---}) / \text{?} D}{a_3 \text{---} \text{ред}} \quad (8.39)$$

Коэффициент в уравнении (8.27) также вычисляется по формуле (8.26). Все величины, входящие в это выражение, известны, кроме  $i_{\text{п}}$ ,  $G_O$ . Значения их устанавливаются по приближенным выражениям [51]. Для практических расчетов этого достаточно. Точнее же определить указанные величины сложно [81]. Да и нет такой необходимости — ведь параметры системы уточняются в процессе ее наладки.

Величина реактивного сопротивления намагничивания ( $O_m$ ) подъемного двигателя

$$O_m \approx 0,95 \{ \dots \} \quad (8.40)$$

КЗ

где  $U_a$ ,  $I_p$ ,  $G'_p$  — соответственно напряжение и ток статора и ротора (данные берутся из каталога двигателя).

Значения постоянного тока динамического торможения для обеспечения заданного тормозного момента [8]

$$\dots \quad (8.4)$$

где  $\%$  — отношение сопротивлений ступени пускового реостата, используемой при динамическом торможении, к номинальному сопротивлению ротора ( $X = 0,5 \text{---} 0,6$ );  $n_e$  — синхронное число оборотов двигателя, об/мин;  $T_{\text{ред}}$  — к. п. д. редуктора ( $T_{\text{ред}} = 0,92 \text{---} 0,96$ ).

$$\llcorner\text{п-1/ - } \xi \blacksquare \mathbf{4} \text{---} \quad (8.42)$$

Сопротивление (сюда входит сопротивление фазы ротора плюс сопротивление ступени пускового реостата, используемой при динамическом торможении)

$$r_{\text{р}} = x \frac{U_{\text{с}}}{U\%u_{\text{р}}} \quad (8.43)$$

Для вычисления коэффициента усиления (8.26) в уравнении (8.28) сопротивление  $z_u$  берется из каталога источника динамического торможения. Сопротивление

$$\Phi \frac{u_{\text{с}} (I_{\text{с}} \Pi_{\text{н}})}{1,73 (c_{\text{л}0})} \quad (8.44)$$

где  $n_n$  — номинальное число оборотов двигателя, об/мин.

Постоянную времени  $T_a$  цепи «выход ИДТ — статор подъемного» (8.28) с достаточной для практических расчетов точностью можно принимать 0,4—1,0 с.

После определения параметров уравнений (8.27) — (8.30) рассчитывается система автоматического управления. Для этого находят такие параметры  $1/C_b$ ,  $T_b$  гибкий отрицательной обратной связи, при которых заданная диаграмма скорости в период замедления выполняется с требуемой точностью, а переходный процесс является аперiodическим. Так как система (8.27) нелинейная, то расчет целесообразно производить на аналоговой вычислительной машине. Схема моделирования системы показана на рис. 8.11,6. Ориентировочные пределы изменения параметров  $1/C_b$  и  $T_b$  следующие:  $K_b = 0,4—3,0$ ;  $T_b = 0,5—4$ .

### 8.6. Автоматическое управление подъемной машиной с приводом постоянного тока

Привод постоянного тока на шахтных подъемных установках может быть применен при любой их мощности, однако экономически целесообразен только для установок большой мощности (свыше 1000 кВт) и производительности. Такие подъемники работают на рудных шахтах, а также на угольных большой глубины. Мощность привода здесь превышает 3000 кВт.

Двигатели постоянного тока обладают более высокими регулировочными свойствами по сравнению с асинхронными. Автоматизация подъемных установок с приводом постоянного тока может быть осуществлена одним способом во все периоды цикла подъема как при положительных, так и при отрицательных моментах замедления. В этом случае обеспечиваются высокое качество процесса управления и быстроедействие, что особенно важно в условиях глубоких шахт и при работе мощных подъемных установок, так как здесь существенно влияют на работу подъема упругость механических элементов (особенно канатов).

Основной недостаток привода постоянного тока — значительные по сравнению с асинхронным приводом капитальные затраты на обо-

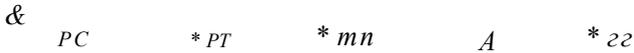


Рис. 8.12. Функциональные схемы:  
*a* — системы Г—Д; *б* — системы ТП—Д

рудование, строительство здания и фундаментов. Для приводов постоянного тока широко начали применяться в качестве источника постоянного тока тиристорные преобразователи (ТП). Такие системы получили название систем «тиристорный преобразователь — двигатель» (ТП — Д). В отличие от систем «генератор — двигатель» (Г—Д) они обладают более высоким быстродействием и меньшей стоимостью. Для управления ими разработаны специальные электронные регуляторы с большим быстродействием, что позволило создать унифицированную блочную систему регулирования (УБСР) с последовательными корректирующими устройствами, которые выполняются в виде активных звеньев, построенных на операционных усилителях постоянного тока. Преимущества таких корректирующих устройств — возможность получения с высокой точностью желаемых передаточных функций, простота наладки системы регулирования.

Функциональные схемы систем Г—Д и ТП—Д, построенных с применением элементов УБСР, показаны на рис. 8.12. На этих схемах *TB* — тиристорный возбудитель генератора *G*, *PH*, *PT*, *PC* — соответственно регуляторы напряжения, тока и скорости, *TG* — тахогенератор. На вход *PC* подается сигнал рассогласования между заданной  $f_{\text{в}}$  и действительной  $\langle r$  скоростями движения подъемных сосудов. По соответствующему закону, который определяется техническими требованиями, предъявляемыми к системе управления, *PC* преобразует сигнал рассогласования и выдает заданное значение тока на *PT*. Последний преобразует сигнал рассогласования между заданным  $I_{\text{в}}$  и действительным  $I$  значениями тока и выдает задание на *PH* (построенный по такому же принципу, как *PC* и *PT*) и на *TB*, определяющий требуемое напряжение на входе.

Таким образом, регуляторы *PH*, *PT*, *PC* обеспечивают заданное качество процесса управления.

Приведенные выше схемы построены по принципу подчиненного регулирования. На входе регуляторов каждого из контуров сравниваются два сигнала, пропорциональные заданному и действительному значению выходной координаты данного контура. Контур регулирования каждого параметра содержит одну большую постоянную времени, компенсируемую действием регулятора, что значительно облегчает расчет системы. Более подробно вопросы работы систем подчиненного регулирования и их расчеты рассматриваются в курсе автоматизированного электропривода.

## 8.7. Автоматическое управление подъемной машиной при помощи асинхронно-вентильного каскада

Один из перспективных способов автоматизации подъемных установок с асинхронным приводом — асинхронно-вентильный каскад (АВК), позволяющий создать системы, приближающиеся по своим регулировочным свойствам к приводу постоянного тока [17].

При пуске и замедлении подъемных машин с асинхронным приводом регулируется скорость двигателя в основном за счет введения добавочного сопротивления в цепь ротора. Регулирование скорости при этом связано с ухудшением к. п. д. из-за бесполезно расходуемой энергии на нагрев добавочных сопротивлений в цепи ротора. Применение асинхронно-вентильного каскада позволяет избежать этого недостатка и получить плавное регулирование скорости.

Упрощенная схема АВК для управления подъемной машиной показана на рис. 8.13. Здесь ток ротора выпрямляется с помощью трехфазного выпрямителя  $B1$ . В цепь выпрямленного тока вводится добавочная э. д. с. от управляемого вентильного преобразователя  $B2$ . Момент, развиваемый двигателем, пропорционален выпрямленному току ротора, а изменением величины добавочной э. д. с. тока ротора можно регулировать величину момента двигателя и скорость его вращения.

Величина добавочной э. д. с. регулируется изменением угла открывания системой фазового управления  $СФУ$  в зависимости от разности действительной и заданной скоростей, которые соответственно представляются напряжениями тахогенератора  $ТГ$  и блока задатчика

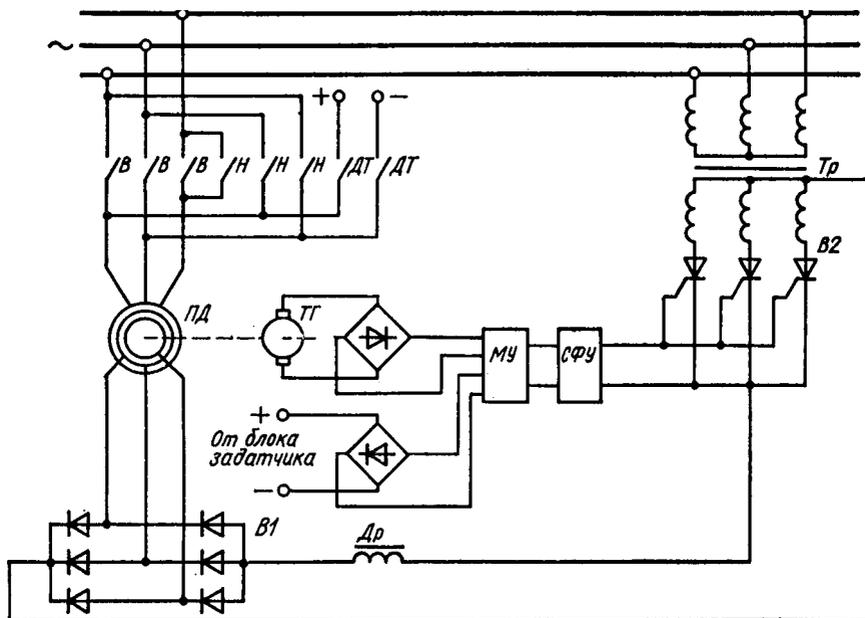


Рис. 8.13. Принципиальная схема автоматизации подъемной установки при помощи асинхронно-вентильного каскада

БЗ. Эги напряжения через выпрямительные мосты поступают на магнитный усилитель *МУ*, который формирует их разность и передает на *СФУ*.

При работе двигателя в режиме динамического торможения статор отключается от сети переменного тока и в две фазы его подается постоянный ток, который, проходя по обмотке статора, создает неподвижный в пространстве магнитный поток. При вращении ротора в его обмотке наводится э. д. с. переменной частоты, зависящая от скорости двигателя. В этом режиме асинхронный двигатель работает как неявнополюсный синхронный генератор, возбуждаемый постоянным током со стороны статора, и создает регулируемый тормозной момент [11]. Механическая энергия, запасенная в маховых массах подъемной установки, преобразуется в электрическую энергию переменного тока, частота которого зависит от скорости. Эта энергия преобразуется вентильным преобразователем *В2* и переходит через трансформатор *ТР* в питающую сеть. Дотягивание подъемных сосудов осуществляется в двигательном режиме по описанному выше принципу при пуске подъемной машины.

В заключение следует сказать, что схемы АВК пока не нашли широкого применения при автоматизации подъема из-за сложности и относительно высокой стоимости.

Основные пути повышения экономической эффективности автоматизации подъема — уменьшение числа занятых рабочих, экономия электроэнергии и материалов, увеличение производительности и надежности работы.

На основе результатов исследований института Гипроуглеавтоматизация [1] установлено, что применение автоматического управления на подъемных установках позволяет увеличить их производительность в среднем на 10 %. Годовая экономия эксплуатационных затрат в условиях Донбасса — в среднем 15 тыс. руб. на одну подъемную установку. За счет сокращения времени цикла подъема расход электроэнергии уменьшается в среднем на 12 %. Аварийность механической части подъемных установок и продолжительность устранения аварий снижается в 1,5—2 раза, а трудоемкость ремонта — в 3—3,5 раза. Увеличивается срок их службы, и, следовательно, в 1,5—2 раза снижается расход подъемных канатов, повышается надежность работы и долговечность элементов подъема. Кроме того, сокращаются расходы на эксплуатационные материалы и ремонт, увеличиваются межремонтные сроки.;

### *Контрольные вопросы*

1. Какие подъемные установки ныне автоматизируются и почему?
2. Назначение и состав систем автоматического контроля и защиты подъемных установок?
3. Задачи, решаемые автоматизацией загрузочных и разгрузочных устройств? Какие для этого используются средства?
4. Какие диаграммы скорости, ускорений и усилий применяются при автоматизации скипового подъема?
5. Каким образом автоматизируется подъемная машина с асинхронным приводом в период равномерного хода?

6. Каким образом осуществляется автоматизация в период замедления подъемной машины с асинхронным приводом?
7. Как автоматизируется дотягивание подъемных сосудов?
8. Как автоматизируется подъемная установка с приводом постоянного тока?
9. Как автоматизируется подъемная установка с асинхронно-вентильным каскадом?
10. За счет чего достигается экономическая эффективность автоматизации подъемных установок?

## Г л а в а 9. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПОВЕРХНОСТИ ШАХТ

### 9.1. Технологический комплекс поверхности шахт как объект автоматизации

Технологический комплекс поверхности шахт включает здания и сооружения, содержащие оборудование и механизмы приема, переработки, отгрузки угля потребителю и транспортирования породы в отвал. С точки зрения технологии это совокупность производственных комплексов — угольного и породного, а с точки зрения управления — поточно-транспортные системы (ПТС), обеспечивающие транспортирование угля от приемного бункера на поверхности шахты до погрузки его в железнодорожные вагоны, взвешивание и отправку потребителю и транспортирование породы, выданной из шахты, до разгрузки ее в отвал.

На технологическом комплексе поверхности шахт имеется большое количество механизмов (до 1000 единиц), для автоматизации требуется аппаратура управления и контроля, обеспечивающая переработку около 12 тыс. команд и 9 тыс. сигналов [20]. Кроме этого необходимы устройства сбора информации — датчики положения, скорости, уровня, массы, качества угля, распознавания вагонеток по виду груза, их адресу, счета и т. п.

Автоматизация технологического комплекса поверхности подразделяется на автоматизацию по угольному комплексу; ПТС от приемного до погрузочных бункеров и переработки угля; погрузки угля из погрузочных бункеров в железнодорожные вагоны, взвешивания их и отправки потребителю;

по породному комплексу! обмена вагонеток в надшахтном здании клетового подъема; транспортирования породы от породного бункера до разгрузки ее в отвал.

### 9.2. Автоматизация ПТС от приемного до погрузочных бункеров и переработки угля

Различают простую и сложную поточно-транспортные схемы. В простой схеме горная масса из приемного бункера подается питателем на конвейер, которым (одним или несколькими) транспортируется в железнодорожные погрузочные бункера. В некоторых случаях горная масса конвейерами доставляется прямо на близлежащую обогатительную фабрику.

В сложной схеме горная масса из приемного бункера подается питателем на грохот, надрешетный продукт которого попадает на специальный ленточный конвейер, где вручную выбираются крупные (более 300 мм) куски породы и посторонние предметы (металл, дерево), затем в дробилку, после нее на конвейер, где смешивается с подрешетным продуктом грохота, и далее в погрузочные бункера (либо сначала на обогатительные установки, а затем уже в бункера).

Такая схема содержит большое количество механизмов с электрическими приводами, промежуточные емкости, обогатительные установки. Она, как правило, бывает разветвленной и позволяет набирать несколько различных маршрутов транспортирования горной массы.

Автоматизация простой транспортной схемы обеспечивается применением серийной аппаратуры автоматизации конвейерных установок [7]. Сложные ПТС технологического комплекса поверхности не являются типовыми, на каждой шахте они имеют индивидуальные особенности и предъявляют достаточно сложные требования к средствам и схемам автоматизации.

Основные требования, которые должны быть выполнены при автоматизации ПТС, сводятся к следующему: дистанционный набор маршрута (при этом шиберы, клапаны, задвижки, предназначенные для изменения направления грузопотока, должны автоматически устанавливаться в нужные положения); подача звукового сигнала перед пуском и отключение его по окончании пуска; автоматический пуск механизмов, входящих в набранный маршрут, имеет последовательность, обратную направлению грузопотока; наличие блокировок, делающих невозможным пуск, если шиберы, клапаны и задвижки не занимают крайних положений; оперативная остановка механизмов с пульта оператора имеет последовательность, совпадающую с направлением грузопотоков после разгрузки маршрута от транспортируемой горной массы; экстренная остановка механизмов с пульта управления или из рабочих помещений без разгрузки маршрута от транспортируемой горной массы в соответствии с правилами безопасности и эксплуатации; автоматическая аварийная остановка любого механизма без разгрузки маршрута с автоматической остановкой всех механизмов, подающих груз на остановившийся, и подачей аварийного сигнала оператору на пульт управления; выдача на пульт управления сигналов о набранных маршрутах, о положении шиберов, клапанов, задвижек, о включении механизмов в работу, об уровне заполнения бункеров, о количестве угля, выданного из шахты в бункера, на склад, для собственных нужд, на погрузку в железнодорожные вагоны. Часть этих сигналов, относящаяся к учету выданного из шахты угля, общего количества его в бункерах и на складе, а также отгруженного в железнодорожные вагоны, передается в центральный диспетчерский пункт шахты.

На шахтах эксплуатируется аппаратура автоматизации, обеспечивающая выполнение указанных требований. К ней относятся! АТШ-2— на сильноточных релейно-контактных элементах; слаботочная с шаговым искателем; БТА — на бесконтактных полупроводниковых элементах. Ее недостатки — громоздкость, индивидуальное исполне-

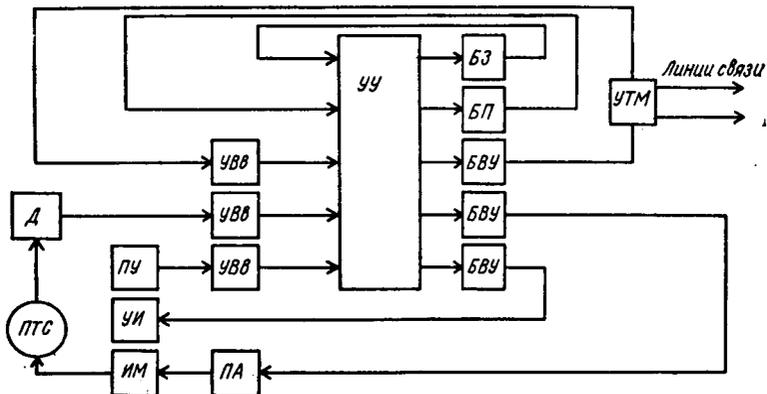


Рис 9.1. Блок-схема комплексной аппаратуры «Оператор»

ние для каждого конкретного случая, большое число типов ячеек и компонентных из них блоков.

В последнее время разработана и внедряется на шахтах комплексная аппаратура «Оператор», лишенная указанных недостатков. Это унифицированная бесконтактная аппаратура на транзисторах и диодах с оптронной развязкой входных сигналов, обеспечивающая выполнение всех требований автоматизации технологического комплекса поверхности шахт с изменяемой структурой, позволяющей применять ее для автоматизации любых ПТС. Аппаратура содержит устройства ввода, переработки и вывода информации, средства ее отбора (датчики) и пульт оператора с мнемосхемой.

Блок-схема аппаратуры показана на рис. 9.1. В нее входят следующие устройства: *Д* — датчики контроля состояния механизмов и технологических процессов ПТС; *УУ* — устройство управления, перерабатывающее информацию по заданному алгоритму; *УВВ* — устройства ввода информации, которые преобразуют поступающую информацию в дискретную форму; *БВУ* — блоки выходных устройств для усиления и преобразования выходных сигналов; *БП*, *БЗ* — блоки элементов «Память» и «Задержка»; *ПУ* — пульт управления оператора; *УИ* — устройство индикации (щит с мнемосхемой); *УТМ* — устройства телемеханики для обмена информацией с другими системами управления; *ПА*, *ИМ* — пускорегулирующая аппаратура и исполнительные механизмы.

О принципе работы аппаратуры можно судить по назначению ее устройств и направлению воздействий, указанному стрелками на блок-схеме (рис. 9.1). Так, с *ПУ* команда оператора поступает на *УВВ*, где преобразуется и передается в *УУ*. Управляющее устройство по заданной программе, записанной в памяти *БП*, вырабатывает выходной сигнал, поступающий в *БВУ*, а из него — в *ПА*, которая управляет *ИМ*, воздействующими на механизмы или технологические процессы ПТС.

Автоматическое управление механизмами и технологическим процессом ПТС осуществляется в соответствии с заданной оператором программой на основании информации, полученной *УУ* от датчиков.

При этом кроме автоматического предусмотрено дистанционное управление с пульта оператора, а также местное заблокированное и несблокированное.

Избирает маршрут, когда все механизмы и устройства устанавливаются в соответствующее положение, оператор дистанционно. Автоматизированный пуск ПТС производится в последовательности, обратной направлению грузопотока, одним из следующих способов: с использованием блок-контактов пускателей предыдущих по пуску механизмов; в функции времени (с задержкой на 2—3 с); в функции скорости предыдущего по пуску механизма.

Аппаратура «Оператор» обеспечивает два вида остановки ПТС: оперативную — с разгрузкой маршрута от транспортируемой горной массы; аварийную — без разгрузки маршрута.

Рассмотрим алгоритм управления ПТС при транспортировании полезного ископаемого в погрузочные бункера.

После выбора диспетчером маршрута обеспечивающие вспомогательные механизмы устанавливаются в заданное положение и подается предупредительный звуковой сигнал (сирена) во всех помещениях этого маршрута.

По команде «Пуск» в соответствии с требованиями к автоматизации ПТС конвейеры и другие механизмы включаются в последовательности, обратной направлению грузопотока, т. е. первым должен включаться раздаточный конвейер погрузочных бункеров. Условием включения привода этого конвейера является нахождение плужкового сбрасывателя, направляющего полезное ископаемое в погрузочный бункер, у незаполненного бункера, нижний уровень которого контролируется датчиком уровня. Привод конвейера после пуска разгоняется до номинальной скорости в течение определенного времени  $t$ . Работа раздаточного конвейера контролируется датчиком скорости и датчиком схода ленты.

Включение последующего конвейера возможно только по окончании пуска предыдущего. Так же включаются все остальные механизмы — дробилка, грохот, питатель, открывается шибер приемного бункера. Работа механизмов контролируется соответствующими датчиками, а уровень в приемном бункере — датчиками уровня.

Привязка аппаратуры «Оператор» при проектировании конкретной схемы автоматического управления ПТС и ее отдельными звеньями состоит из следующих этапов: составления алгоритма управления (блок-схемы алгоритма при сложной схеме); установления взаимосвязей между алгоритмами управления (при сложной схеме); составления уравнения функции управления; выбора вариантов схемной реализации из комплекса аппаратуры «Оператор» с уточнением входных и выходных устройств.

В качестве примера рассмотрим включение раздаточного конвейера. Обозначим переменные:  $A_1$  — сигнал датчика положения плужкового сбрасывателя;  $L_2, L_3$  — сигналы датчиков нижнего и верхнего уровней незаполненного погрузочного бункера;  $A_4$  — сигнал пуска (включение кнопки «Пуск»);  $A_5, A_6$  — сигналы датчиков скорости и схода ленты раздаточного конвейера;  $T_{01}$  — сигнал с блока задержки для разгона раздаточного конвейера до номинальной скорости.

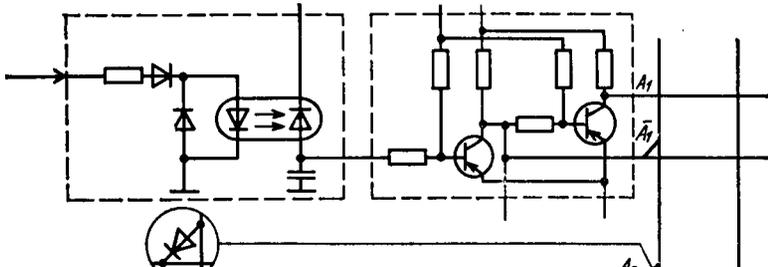


Рис. 9.2. Схема реализации функции управления

Алгоритм управления раздаточным конвейером следующий: при наличии сигналов от датчиков положения  $L_1$  уровня  $A_2$  и  $A_3$ , схода ленты  $L_B$  и нажатой кнопки «Пуск»  $A_4$  включается пускатель привода раздаточного конвейера. Одновременно включается

блок задержки, формирующий сигнал  $T_n$  с задержкой времени  $t$  для разгона привода раздаточного конвейера до номинальной скорости, при достижении которой датчик скорости выдает сигнал  $A_6$ .

Из алгоритма управления следует, что включение пускателя привода раздаточного конвейера обуславливается одновременностью сигналов  $A_u$ ,  $L_2$ ,  $A_3$ ,  $A_4$  и  $L_{B_1}$ , т. е. конъюнкцией  $L_1 L_2 L_3 L_4 L_B$ . После отпуска кнопки «Пуск» привод в течение времени задержки  $t$  разгоняется до номинальной скорости и на выходе блока задержки появляется сигнал  $T_0$ , т. е.

$$T_0 = L_1 L_2 L_3 L_4 L_B \quad (9.1)$$

где  $T_0 = A_1 A_2 A_3 A_4 A_6$ .

Номинальная скорость конвейера контролируется датчиком скорости; условие включения последующего за раздаточным конвейером — конъюнкция  $T_0 A_5$ . Следовательно, функция управления

$$A = T_0 A_5 \quad (9.2)$$

В аппаратуре «Оператор» для реализации логических функций используется функционально полная система ИЛИ — НЕ. Поэтому уравнения (9.1) и (9.2) необходимо преобразовать в эту систему, используя правило де Моргана:

$$T_0 = A_1 \vee L_2 \vee A_3 \vee A_4 \vee \quad (9.3)$$

$$A = T_0 \vee L_5 \quad (9.4)$$

В соответствии с полученным уравнением (9.4) выбираем вариант исполнения аппаратуры «Оператор», содержащий диодную матрицу

(элемент ИЛИ), инверторы (элемент НЕ) и блок временной задержки. Схема реализации функции управления представлена на рис. 9.2. В качестве входных устройств приняты узлы с оптронной развязкой, исключающие гальваническую связь входа со схемой,— блоки вводов *ВВ*. После входного узла входной сигнал усиливается усилителем на транзисторах и инвертируется блоками усилителей — инверторов *БУИ*. На диодную матрицу может быть подан как прямой, так и инверсный входные сигналы.

Входные сигналы по горизонтальным шинам диодной матрицы с помощью диодов (соответствующим образом включенных) попадают на вертикальные шины, и таким образом реализуется логическая функция ИЛИ. Выходные сигналы с ИЛИ подаются на соответствующие инверторы НЕ и блок временной задержки. Выходной сигнал получается на выходе инвертора согласно уравнению (9.4).

### 9.3. Автоматизация погрузки полезного ископаемого в железнодорожные вагоны

Основной вид транспорта для перевозки полезного ископаемого — железнодорожный. Погрузка его в вагоны завершает поточно-транспортную систему на поверхности шахты с помощью комплекса, содержащего погрузочные бункера, загрузочные и маневровые устройства. Загрузочные устройства подают полезное ископаемое в вагон и распределяют его равномерно по всему объему; маневровые устройства обеспечивают передвижение железнодорожных вагонов в процессе погрузки.

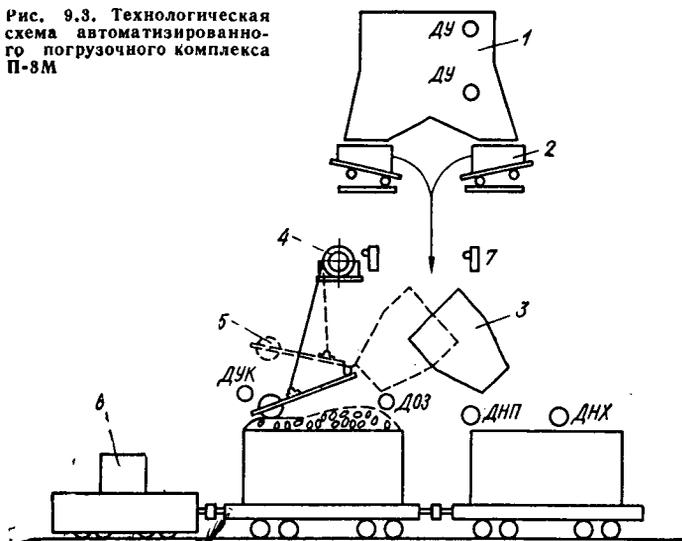
Технологические схемы погрузки могут быть разделены по следующим признакам: погрузка с предварительным накоплением полезного ископаемого и последующей загрузкой его в вагоны (бункерная) и с непрерывной подачей полезного ископаемого непосредственно в вагоны без предварительного накопления (безбункерная); загрузка в неподвижный или перемещающийся в процессе погрузки вагон из неподвижных или передвижных загрузочных устройств; контроль заполнения по объему с последующим взвешиванием или по массе в процессе загрузки.

Автоматизация погрузки в железнодорожные вагоны должна обеспечить: протягивание вагонов и их установку под загрузку; управление потоком полезного ископаемого и перекрытие межвагонного пространства; перемещение катка-уплотнителя для формирования «шапки» угля с целью защиты от выдувания при транспортировке; контроль массы или объема полезного ископаемого; защиту и блокировку механизмов; информацию о количестве и качестве отгруженного полезного ископаемого в центральную диспетчерскую шахты.

Для погрузки полезного ископаемого в железнодорожные вагоны на шахтах применяют комплексы типа КПА с весовым дозированием производительностью до 1000 т/ч и с объемным дозированием П-3М и П-4М соответственно производительностью до 2000 и 4000 т/ч.

Технологическая схема автоматизированного погрузочного комплекса П-3М показана на рис. 9.3.

Рис. 9.3. Технологическая схема автоматизированного погрузочного комплекса П-3М



Управление процессом погрузки выполняется следующим образом. Локомотив подает состав порожних вагонов на загрузочный путь в зону действия маневрового устройства так, чтобы головной вагон был установлен в точке начала загрузки. Положение головного вагона фиксируется датчиком начала погрузки (ДНП), а маневровое устройство *б* осуществляет сцепление с вагоном.

Оператор погрузки вводит в систему управления программу погрузки в зависимости от типа железнодорожного вагона и подает команду на включение комплекса погрузки. Включаются качающиеся питатели *2* и привод перемещения желоба *3*. Уголь из бункера *1* начинает поступать в движущийся вагон. При насыпке начального конуса желоб *3* движется в направлении движения состава с той же скоростью, что и состав. В конце насыпки начального конуса желоб *3* останавливается командоаппаратом *7* и остается неподвижным при дальнейшей загрузке движущегося вагона вплоть до его хвостовой части. Начало загрузки хвостовой части контролируется датчиком ДНХ. Желоб *3* начинает двигаться навстречу движению состава с переменной скоростью согласно требуемой тахограмме, которая задается специальным устройством. Датчик ДОЗ контролирует окончание загрузки. Он отключает качающиеся питатели, обеспечивает возвращение желоба *3* в исходное положение для начала загрузки очередного вагона.

Аналогично загружаются и другие вагоны. На блок индикации (цифровая печать) выдаются данные о загрузке вагонов — брутто, масса тары вагона, нетто. Последний вагон контролируется датчиком положения, который и подает команду на отключение комплекса.

Каток-уплотнитель *5* формирует «шанку» вагона. Он опускается и поднимается канатной лебедкой *4*, а управляется фотореле и датчиками положения ДУК, контролирующими его верхнее и нижнее положения.

В последнее время проводятся опыты по опрыскиванию поверхности угля в вагоне специальным полимерным составом, который склеивает частицы угля, образуя пленку, надежно его защищающую от выдувания при движении поезда с большой скоростью.

Уровень полезного ископаемого в бункере *I* контролируется датчиками уровня (*ДУ*).

Автоматическое управление погрузочным комплексом осуществляется комплексной аппаратурой «Оператор». Привязка этой аппаратуры аналогична рассмотренному выше примеру, т. е. по алгоритму управления составляется уравнение функции управления, а по нему — принципиальная схема с использованием варианта исполнения аппаратуры.

#### 9.4. Автоматизация обмена вагонеток в надшахтном здании клетевого подъема

Комплекс обмена вагонеток в надшахтном здании применяется на клетевых подъемах и предназначен для их обмена в клетях и опрокидывателях. Клетями из шахты в вагонетках доставляются порода и оборудование для ремонта, а в шахту — материалы, оборудование и т. п. Из клетки груженные породой вагонетки подаются к опрокидывателю и там разгружаются; с противоположной стороны опрокидывателя уже порожние вагонетки возвращаются к стволу и заталкиваются в клеть.

Технологическая схема обмена вагонеток в надшахтном здании состоит из следующих циклически повторяющихся операций: обмен вагонеток в клетях — выталкивание из клетки груженной и заталкивание порожней вагонетки; передвижение груженных и порожних вагонеток в поперечном направлении, по прямолинейным и криволинейным участкам путей; обмен вагонеток в опрокидывателе, их разгрузка; управление клетью — фиксация клетки для обмена вагонеток, открывание и закрывание стволовых дверей и клетевых стопоров.

Автоматизация комплекса обмена вагонеток в надшахтном здании должна обеспечить: фиксацию клетки на приемной площадке; автоматическое открывание и закрывание стволовых дверей; автоматическое открывание и закрывание стопоров в клетях; стопорение вагонетки перед клетью; выталкивание из клетки груженной вагонетки и заталкивание порожней; автоматическое движение вагонеток в надшахтном здании от клетки к опрокидывателю и обратно; автоматическую разгрузку вагонеток в опрокидывателе и очистку; автоматический счет и распознавание вагонеток по виду груза и их адресу; автоматический контроль положения вагонетки; сигнализацию о работе комплекса в централь\*ную диспетчерскую шахты.

Впервые механизация и автоматизация обмена вагонеток начала применяться при самокатном способе их передвижения. Однако ныне самокатная откатка не применяется в связи с высокими опасностями и трудоемкостью, сложным управлением, большим многообразием необходимых устройств и оборудования.

Недостатки самокатных установок привели к необходимости применять обменные комплексы с принудительным способом передвиже-

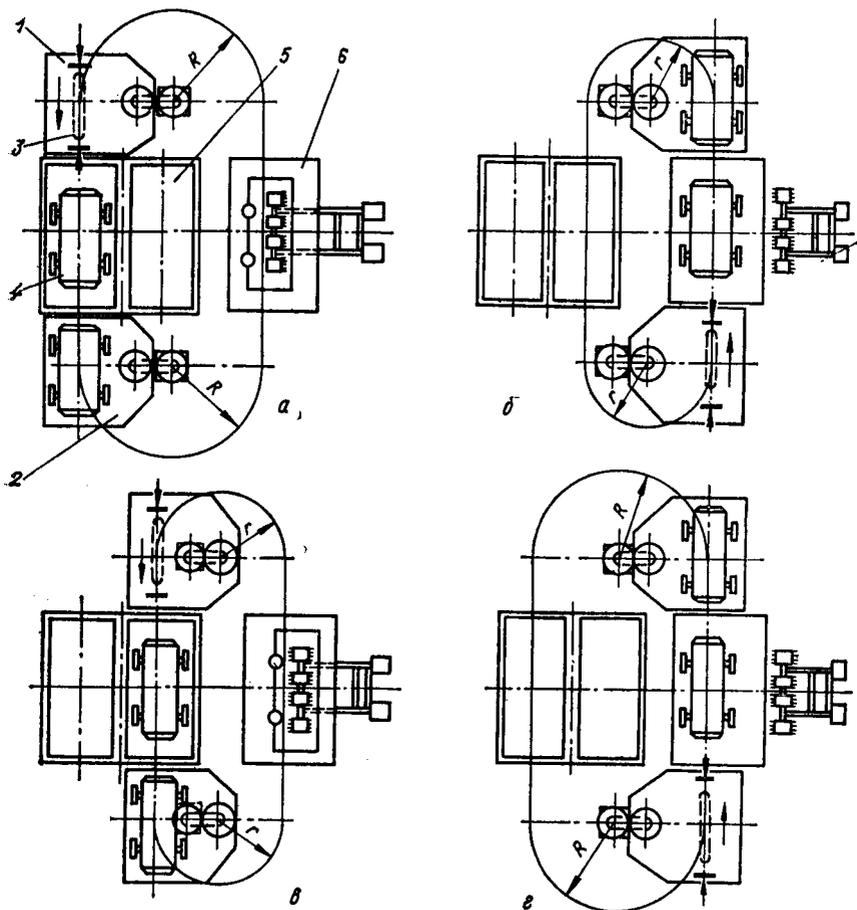


Рис. 9.4. Технологическая схема обмена вагонеток с поверхностными турелями

ния вагонеток. К ним относятся схемы с передвижными платформами, поперечными конвейерами, передвижными опрокидывателями, канатными толкателями.

Высокую производительность и полную автоматизацию обеспечивает технологическая схема обмена вагонеток с поворотными турелями (рис. 9.4). Турели 1 и 2 представляют собой специальные площадки с отрезками рельсовых путей и толкателями 3 и предназначены для установки на них вагонеток при перемещении их от клеток 4 и 5 к опрокидывателю 6 и обратно. При помощи привода с планетарным редуктором турели перемещаются по малому  $r$  и большому радиусам, обеспечивая обмен вагонеток между ближней 5 и дальней 4 (по отношению к опрокидывателю) клетями и опрокидывателем 6.

Алгоритм управления обменом вагонеток начинается установкой порожних вагонеток в опрокидывателе 6 и на одной из турелей, например 2, которая была повернута по большому радиусу  $R$  и находится у дальней клетки 4 (рис. 9.4, а и 9.4, е). Положение вагонеток на турели

и в опрокидывателе контролируется датчиком положения. При подходе клетки 4 (рис. 9.4, а) с грузовой вагонеткой к приемной площадке клетового подьема осуществляется контроль посадки ее на кулаки и расстопорение грузовой вагонетки в клету. Толкателем турели 2 порожняя вагонетка загоняется в клету 4, а грузвая выталкивается на турель 1, находящуюся с противоположной стороны клету. Контролируется установка порожней вагонетки в клету, а грузовой на турели. Затем турель 1 с грузовой вагонеткой поворачивается по большому радиусу  $R$  к опрокидывателю б, где и разгружается. Аналогично производится обмен вагонеток при перемещении турелей по малому радиусу  $r$  между ближней клетью 5 и опрокидывателем б (рис. 9.4, б и 9.4, в). Рассмотренные процессы циклически повторяются.

Управление обменом вагонеток сводится к выполнению простых логических функций, которые реализуются с помощью комплексной аппаратуры «Оператор» аналогично предыдущему примеру (см. подразд. 9.2).

### 9.5. Автоматизация породных отвалов

На шахтах в основном применяются две технологические схемы транспортирования породы в отвал — рельсовыми террикониками и подвесными канатными дорогами. (На некоторых шахтах порода вывозится в отвал автотранспортом).

При автоматизации рельсовых террикоников необходимо управлять загрузкой и разгрузкой вагонеток и лебедкой. Загружаются вагонетки либо непосредственно из породного бункера, либо пластинчатым питателем. В первом случае породный бункер оборудован секторным затвором. Пластинчатый питатель устанавливается под породным бункером. Разгружаются вагонетки в разгрузочных кривых терриконика.

Приводом лебедки служит электродвигатель с фазным ротором, управляемый магнитной станцией и контроллерами. К рабочему тормозу лебедки пристраивается электрогидропривод (ЭГП), который им управляет.

Породный отвал как объект автоматизации требует автоматического управления загрузкой и разгрузкой вагонетки, а также автоматического выполнения приводом лебедки заданной тахограммы.

Автоматизация рельсового терриконика должна обеспечить: автоматическое открытие секторного затвора или включение пластинчатого питателя для загрузки вагонетки из породного бункера и отключение после загрузки; автоматическую разгрузку вагонетки в разгрузочных кривых терриконика и ее остановку; точную остановку вагонетки в местах погрузки и разгрузки; выполнение тахограммы подьема и спуска вагонетки; контроль уровня породы в породном бункере; сигнализацию о работе рельсового терриконика в центральную диспетчерскую шахты.

Автоматизация загрузки вагонетки осуществляется с помощью датчика положения, который при установке порожней вагонетки в месте загрузки открывает секторный затвор породного бункера или включает пластинчатый питатель. Загружается вагонетка породой в

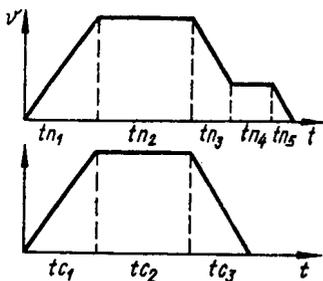


Рис. 9.5. Тахограммы подъема груженой и спуска порожней вагонеток

Тахограмма подъема груженой вагонетки обычно пятипериодная, а спуска — трехпериодная (рис. 9.5).

На шахтах применяются две схемы автоматизации привода лебедки породных отвалов: с применением магнитной станции и регулятора хода; с применением пускорегулирующего бесконтактного устройства (ПРБУ).

Периоды разгона при подъеме  $t_a$  и спуске  $t_c$  обеспечиваются вводом сопротивлений в цепь ротора электродвигателя с помощью магнитной станции. Период  $t_{11}$  характеризуется двигательным режимом, а  $t_{12}$  тормозным. В периоды  $t_{12}$  и  $t_{13}$  двигатель работает на естественных характеристиках в двигательном  $t_{12}$  и тормозном  $t_{13}$  режимах. Периоды  $t_{13}$  и  $t_{14}$  — замедления — обеспечиваются вводом в ротор электродвигателя сопротивлений. Если замедление при спуске вагонетки характеризуется отрицательными усилиями, то в период  $t_{14}$  плавно накладывается рабочий тормоз. Остановка лебедки производится в период  $t_{15}$  отключением электродвигателя.

При разгрузке вагонетки в период  $t_{14}$  лебедка управляется регулятором хода, состоящим из электрогидротолкателя, соединенного с рабочим тормозом. Регулятор хода представляет собой замкнутую САР — систему стабилизации, обеспечивающую устойчивую заданную скорость дотяжки.

Наиболее перспективна схема автоматизации с применением ПРБУ. В этом случае регулируется скорость электродвигателя в соответствии с заданной тахограммой с помощью асинхронно-вентильного каскада. Блок-схема ПРБУ показана на рис. 9.6.

ПРБУ содержит:  $ТР$  — тиристорный реверсор, осуществляющий реверсирование электродвигателя  $M$  при подъеме и спуске вагонетки;  $УВДТ$  — управляемые вентили динамического торможения;  $НВ$  —

течение определенного времени, которое контролирует реле времени. Уровень породы в бункере контролируют датчики уровня.

Автоматическая разгрузка вагонетки обеспечивается ее конструкцией и конструкцией разгрузочной фермы, которые переворачивают (наклоняют) вагонетку с породой при ее движении на вершине терриконика для выгрузки породы.

Управление приводом лебедки породного отвала сводится к автоматическому выполнению тахограммы подъема груженой породой вагонетки и спуска порожней.

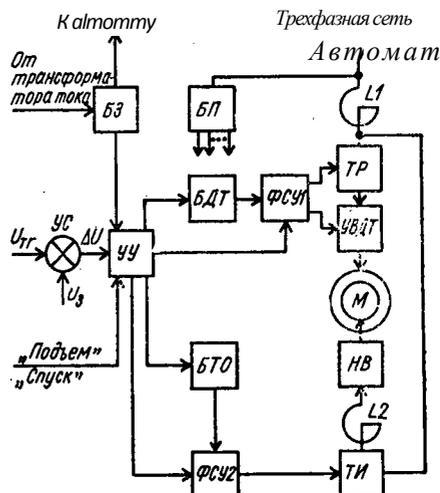


Рис. 9.6. Блок-схема пускорегулирующего бесконтактного устройства

неуправляемые вентили в цепи ротора электродвигателя  $M$ ;  $ТИ$  — тиристорный инвертор;  $\Phi СУ1$ ,  $\Phi СУ2$  — фазосдвигающие устройства;  $БДТ$ ,  $БТО$ ,  $БЗ$  — блоки динамического торможения, токовой отсечки и защиты;  $УУ$  — управляющие устройства;  $УС$  — устройство сравнения фактической и заданной скоростей вращения электродвигателя  $M$ ;  $БП$  — блок питания;  $B_{\gamma} \xi_2$  — соответственно реактор для сглаживания тока инвертора ( $ТИ$ ) и дроссель для сглаживания выпрямленного тока ротора.

При включении («Подъем» или «Спуск») управляющее устройство  $УУ$  включает  $\Phi СУ1$  и  $\Phi СУ2$ . С  $\Phi СУ1$  сигналы управления поступают на тиристоры  $ТР$  (соответственно тиристоры «Подъем» или «Спуск»), и на электродвигатель  $M$  подается 3-фазное напряжение питания. При этом  $УВДТ$  отключены.

В узле сравнения ( $УС$ ) напряжение тахогенератора  $и_{тг}$ , пропорциональное фактической скорости, сравнивается с напряжением  $\theta_3$  задатчика скорости, их разность  $A(U)$  подается в  $УУ$ . При  $u_{m_2} = 0$  фазосдвигающее устройство  $\Phi СУ2$  обеспечивает такой угол управления тиристорами инвертора, при котором в нем образуется максимум противо-э.д.с. При этом  $D \{ / - I'_g - u_{тг} > 0$ , противо-э. д. с. начинает уменьшаться, двигатель  $M$  разворачивается, и ток статора увеличивается. При достижении тока в  $1,6 /_{ном}$  происходит токовая отсечка блоком  $БТО$ , т. е. разгон осуществляется в функции тока. При  $D \{ / = 0$  противо-э.д.с. ротора и инвертора становятся одинаковыми и сохраняются при номинальной и в тридцать раз меньшей скорости двигателя.

При  $D \{ / < 0$  управляющее устройство отключает тиристоры реверсора, кроме одного из них, через который в статор подъемного двигателя подается импульсный однополярный ток, а также подается управление на  $БДТ$ .  $\Phi СУ1$  управляет  $УВДТ$ . Схема переходит в режим динамического торможения с регулированием тормозного момента за счет противо-э. д. с. инвертора. Этот режим сохраняется до момента  $D \{ / = 0$ , а затем наступает двигательный режим. Блок защиты ( $БЗ$ ) срабатывает от трансформатора тока ( $ТТ$ ) и управляющего устройства ( $УУ$ ) и отключает с помощью автомата питание.

Подвесная канатная дорога как объект автоматизации требует автоматического управления закрытием днища вагонетки, ее загрузкой и разгрузкой, автоматического управления приводом лебедки.

Автоматизация подвесной канатной дороги должна обеспечить: автоматическое включение пластинчатого питателя для загрузки вагонетки и его отключение после окончания загрузки; автоматическую разгрузку вагонетки на разгрузочной станции; точную остановку вагонетки на загрузочной и разгрузочной станциях; выполнение тахограммы движения вагонетки; контроль уровня породы в породном бункере; подачу звуковой сигнализации перед пуском подвесной канатной дороги; сигнализацию в центральную диспетчерскую шахты о работе подвесной канатной дороги.

Автоматизация подвесных канатных дорог обеспечивается бесконтактным пускорегулирующим устройством ПРБУ.

Управление загрузкой и выгрузкой породы как на рельсовых террикониках, так и на подвесных канатных дорогах реализуется с помощью комплексной аппаратуры «Оператор» (см. подразд. 9.2).

Пути повышения экономической эффективности автоматизации поверхностного комплекса шахты — увеличение пропускной способности и высвобождение обслуживающего персонала.

Пути экономической эффективности автоматизации ПТС технологического комплекса поверхности шахт: высвобождение обслуживающего персонала; увеличение пропускной способности; повышение безопасности и улучшение условий труда; уменьшение затрат на материалы, спецодежду и др.; экономия электроэнергии.

Пропускная способность технологического комплекса увеличивается в среднем на 20 %.

Пути роста экономической эффективности автоматизации погрузки полезного ископаемого в железнодорожные вагоны следующие: увеличение пропускной способности, что сокращает время простоя вагонов под погрузкой; высвобождение обслуживающего персонала.

Пропускная способность автоматизированного погрузочного комплекса увеличивается в среднем на 15 %.

Пути повышения экономической эффективности автоматизации породного комплекса — увеличение пропускной способности, которое обеспечивается ритмичностью его работы, сокращением времени цикла обмена вагонеток и снижением аварийности.

Автоматизация рельсового терриконика увеличивает пропускную способность на 5—10 %, а обмена вагонеток — на 10 % и более.

### *Контрольные вопросы*

1. Что представляет собой технологический комплекс поверхности шахт с точки зрения управления?
2. Чем обеспечивается автоматизация простой ПТС угольного комплекса?
3. Какие основные требования предъявляются к автоматизации ПТС?
4. Какие существуют технические средства автоматизации ПТС?
5. Как составить функцию управления каким-либо механизмом ПТС и схему реализации этой функции?
6. Что должна обеспечить автоматизация погрузки в железнодорожные вагоны?
7. Какие комплексы применяются на шахтах для погрузки в железнодорожные вагоны?
8. Как работает комплекс погрузки после команды на его включение?
9. Какие существуют технические средства автоматизации комплексов погрузки?
10. Что должна обеспечить автоматизация комплекса обмена вагонеток в надшахтном здании?^
11. Как автоматизируется обмен вагонеток с поворотными турелями?
12. Как автоматизируются рельсовые терриконики?
13. Какие существуют схемы автоматизации привода лебедки породных отвалов?
14. Как автоматизируется подвесная канатная дорога?
16. Какие основные пути экономической эффективности автоматизации комплекса поверхности шахт?

### 10.1. Шахтные водоотливные установки как объекты автоматизации и требования к их автоматизации

Шахтные водоотливные установки выполняют весьма ответственную задачу — предотвращают заполнение горных выработок подземными водами, что предъявляет очень высокие требования к надежности этих установок. Если по какой-либо причине шахта временно останавливается, то отключаются все установки, и только водоотлив продолжает работать, чтобы не допустить затопления шахты. Кроме того, водоотлив — одна из самых энергоемких установок шахты, а на глубоких шахтах с большим притоком воды он становится самым энергоемким, и поэтому здесь важна экономия электроэнергии.

Шахтные водоотливные установки оборудуются только центробежными насосами и делятся на главные, предназначенные для откачки на поверхность всего шахтного притока воды, и местные (участковые, зумпфовые), предназначенные для перекачки воды внутри шахты с отдельных участков в общешахтный водосборник.

Главные водоотливные установки в соответствии с требованиями правил безопасности оборудуются не менее чем тремя насосными агрегатами, а по стволу прокладываются два нагнетательных трубопроводов. Каждый насос и нагнетательный трубопровод включаются в работу поочередно, каждый из них рассчитан на откачку нормального-суточного притока, и только при повышенном притоке (весной, осенью) предусматривается одновременное включение двух насосов и трубопроводов. Количество насосных агрегатов и нагнетательных трубопроводов местных водоотливных установок не регламентируется и определяется исходя из конкретных условий. Водоотливная установка работает по жесткой программе, определяющей последовательность выполняемых операций.

Программа начинается с контроля уровня воды в водосборнике. Когда вода достигает верхнего уровня, тогда заливается насос, после чего включается в сеть его приводной двигатель. Когда давление в нагнетательном патрубке приблизится к номинальному, открывается задвижка нагнетательного трубопровода. Если пуск проходит нормально, то насос принимает нагрузку, в нагнетательном трубопроводе устанавливается номинальное давление, насос работает с полной производительностью. Во время работы насоса контролируется уровень воды в водосборнике, температура подшипников и обмоток электродвигателя. При достижении водой нижнего уровня уровня задвижка в нагнетательном трубопроводе, и приводной двигатель отключается от сети. Насосный агрегат останавливается.

Если после включения приводного электродвигателя в сеть насос не развивает номинального давления, то задвижка закрывается и электродвигатель отключается от сети, после чего производится запуск второго насосного агрегата.

Когда после нормального запуска первого насоса вода в водосборнике продолжает подниматься и достигает аварийного уровня, это значит, что приток воды в шахту превысил нормальный, и запускается второй насос на второй нагнетательный трубопровод.

Если у работающего насоса перегреваются подшипники или приводной электродвигатель, то насосный агрегат отключается и запускается резервный.

При ручном управлении за полным завершением операций следит машинист водоотливной установки, при автоматическом — выполнение этой функции возлагается на специальную аппаратуру контроля.

Таким образом, система автоматического управления дополняется системой автоматического контроля и защиты.

## 10.2. Специальные устройства для автоматизации водоотлива

Специфические особенности водоотливной установки не позволяют автоматизировать ее только с помощью технических средств общепромышленного назначения, необходимо применять специальные устройства, спроектированные и изготовленные для автоматизации водоотлива. Иногда для выполнения одной и той же функции предлагались и применялись различные устройства, из которых постепенно отбирались наиболее совершенные. Такими специальными устройствами являются устройства заливки насосов перед пуском, реле контроля заливки, датчики уровня воды в водосборнике, реле производительности, программный коммутатор, который не совсем правильно называют также моторным или программным реле времени.

На водоотливных установках, управляемых вручную, центробежные насосы перед пуском заливаются из нагнетательного трубопровода с помощью снабженной вентилем обводной трубки небольшого диаметра, проложенной в обход обратного клапана и задвижки. При заливке этот вентиль открывается, вода заполняет всасывающий трубопровод, который обязательно снабжается обратным клапаном, затем насос и по окончании заливки вытекает через контрольный патрубок на последней рабочей ступени насоса. Машинист закрывает вентили на обводной трубке, потом на контрольном патрубке и запускает насос.

Для автоматизации заливки на обводную трубку и контрольный патрубок поставлены управляемые вентили с электроприводом, а на контрольный патрубок еще и устройство, контролирующее появление в нем воды.

Однако такой способ автоматизации заливки распространения не получил из-за ненадежной работы обратного клапана во всасывающем трубопроводе, который находится в сильно загрязненной воде. На седло клапана попадает грязь (иногда посторонние предметы), а так как давление на клапан менее десяти метров водяного столба, то он не в состоянии выдавить загрязнения, начинает пропускать воду, и насос заливать невозможно. Машинист обнаруживает это сразу, а при автоматизации это обнаружить сложнее, и дело часто

заканчивалось тем, что из нагнетательного трубопровода уходила вся вода и заливать насосы оказывалось нечем. Создавалась аварийная ситуация.

Широкое распространение получил способ заливки вспомогательным погружным насосом типа ЗПН, который размещается в приемном колодце несколько ниже нижнего уровня воды, что исключает возможность подсоса воздуха главным насосом через систему заливки. Погружной насос снабжается тремя нагнетательными патрубками, которые соединяются со всасывающими трубопроводами главных насосов, и таким образом каждый раз заливаются все три насоса. Всасывающие трубопроводы в этом случае снабжаются обратными клапанами. Электродвигатель погружного насоса тоже водопогружной, водонепроницаемый либо располагается над приемным колодцем и соединяется с насосом длинным вертикальным валом.

Предлагались и другие способы заливки насосов: сифонный — из водосборника, расположенного на вышележащем горизонте; заглубление насосной камеры, когда насосы находятся ниже уровня воды в водосборнике и все время пребывают в залитом состоянии. Однако эти способы распространения не получили.

Для контроля заливки насосов применяются специальные поршневые или мембранные реле, которые устанавливаются на штуцере, вваренном в нагнетательный трубопровод вблизи насоса до обратного клапана. По окончании заливки в реле поступает вода, приподнимает поршень или мембрану, которые воздействуют на контактную систему, замыкая и размыкая контакты в цепи управления. В случае применения мембранного реле контроля заливки нужно иметь управляемый клапан, чтобы выпускать воздух при заливке насоса.

Контролирует производительность насоса при нормальной работе струйное реле. Из нескольких предложенных ранее конструкций испытание временем выдержало струйное флажковое реле типа РПФВ, выпускаемое заводом «Красный металлист». Оно состоит из флажка, расположенного внутри всасывающего трубопровода на горизонтальном его участке. Под действием динамического напора воды флажок, преодолевая натяжение пружины, поворачивается и с помощью рычажной передачи воздействует на контакты в цепях управления насосом.

Для контроля уровня воды в водосборнике были предложены реле уровня поплавковые, пневматические, электродные. Ныне широко применяются электродные датчики типа ЭД, которые контролируют сопротивление цепи электрод — вода — «земля».

Электродный датчик (рис. 10.1) состоит из стального диска 1, фуге-

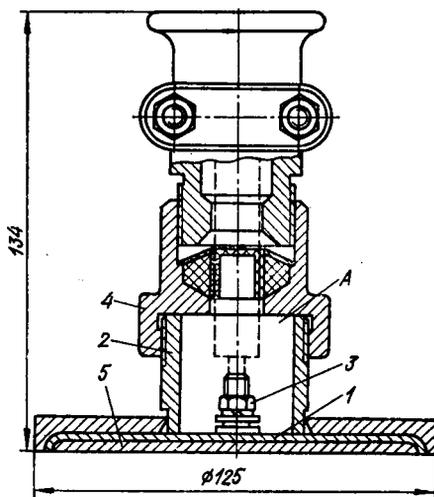


Рис. 10.1. Электродный датчик

&amp;И-

rfiIS)

6000

Рис. 10.2. Схема программного коммутатора

рованного свинцом для предотвращения коррозии, стакана 2, внутри которого устанавливается контактная шпилька 3. К стакану на резьбе крепится кабельный ввод 4. После подсоединения токопроводящей жилы кабеля к контактной шпильке стакан заливается кабельной массой для герметизации места соединения и разделки кабеля. Датчик подвешивается на кабеле в приемном колодце на требуемой высоте.

На главных водоотливных установках в колодце обычно устанавливается 4 электродных датчика, контролирующих нижний, верхний, повышенный и аварийный уровни. Цепи контроля уровня выполняются искробезопасными. Когда датчик погружен в воду, соответствующая цепь замыкается, сопротивление электрод — «земля» близко к нулю. Когда датчик выходит из соприкосновения с водой, цепь размыкается, сопротивление датчик — «земля» превышает 5 кОм.

Для обеспечения нужной последовательности операций при работе водоотливной установки применяется программный коммутатор (программное реле времени). Программный коммутатор (рис. 10.2) состоит из синхронного микродвигателя 1 с редуктором 2, выходной зубчатой пары 3, валика 4, на котором закреплено несколько профилированных дисков 5, управляющих контактными группами 6. Количество дисков и скорость их вращения зависят от типа автоматизируемой водоотливной установки, применяемого способа заливки.

### 10.3. Автоматические системы управления водоотливными установками

В последнее время водоотливные установки шахт и рудников переведены на автоматическое управление. Серийно выпускается несколько типов аппаратуры автоматизации: АВ-5, АВ-7 — для участкового водоотлива; АВО-3 — для водоотлива с одним насосом; АВН-1М — для водоотливных установок с низковольтными двигателями; УАВ — для обслуживания до 16 насосных агрегатов с низковольтными и высоковольтными двигателями с короткозамкнутыми и фазными роторами; ВАВ (во взрывозащищенном исполнении) позволяет автоматизировать до девяти насосных агрегатов, оборудованных высоковольтными или низковольтными асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором.

Аппаратура всех указанных типов выпускается конотопским заводом «Красный металлист», ее схемы построены по единому принципу.

Рассмотрим структурную схему аппаратуры типа УАВ (рис. 10.3). На схеме передача сигналов включения насоса показана сплошными линиями, выключения — штриховыми, а передача сигналов диспетчеру — штрихпунктирными.

Начальный сигнал включения насоса выдается с блока реле уровней, когда уровень воды достигнет значения, при котором должен

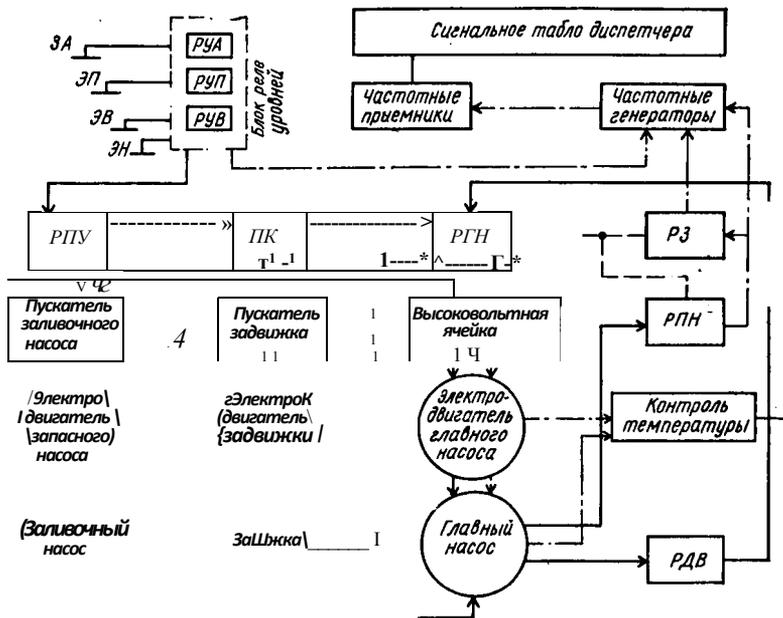


Рис. 10.3. Функциональная схема аппаратуры УАВ

включаться насос. Выбирается уровень универсальным переключателем при обслуживании установки. Предположим, универсальный переключатель установлен в положение для работы от верхнего уровня. Тогда при подъеме воды до электрода ЭВ срабатывает реле верхнего уровня (PUB) и включает реле повторения уровня (PPU), которое включает программный коммутатор ПК (программное реле времени), пускатель и двигатель заливочного насоса. Программный коммутатор обеспечивает выполнение последующих операций в заданной последовательности.

После заливки главного насоса (контролируется по времени и давлению) реле давления (PDU) выдает сигнал на включение реле главного насоса (RDN), которое включает высоковольтную ячейку, электродвигатель главного насоса, пускатель и электродвигатель задвижки нагнетательного трубопровода. Если насос разовьет нормальную производительность (контролируется с помощью реле производительности PPH), то он будет работать до тех пор, пока не откачает воду до нижнего уровня. После пуска главного насоса программный коммутатор отключает пускатель и электродвигатель заливочного насоса, а затем и свой собственный электродвигатель. Если насос не разовьет нужной производительности, PPH выдает сигнал на отключение RDN, которое отключает высоковольтную ячейку, главный насос останавливается, и одновременно PPH через частотные генераторы и приемники выдает сигнал диспетчеру о неисправности насоса.

Когда нормально работающий насос откачает воду до нижнего уровня и электрод ЭН выйдет из воды, реле верхнего уровня отключится и выдает сигнал на PPU, которое включит пускатель и элект-

родвигатель задвижки на ее закрытие и включит электродвигатель программного коммутатора *ПК*. После того как закроется задвижка, выдается сигнал на *РГН*, останавливающее главный насос. Если универсальный переключатель установлен в положение для включения насоса от повышенного или аварийного уровня, то реле уровней включают соответственно от электродов *ЭП* и *ЭА*.

Обычно насосы водоотливной установки настраиваются на работу от различных уровней. Тогда первым включается насос, работающий от верхнего уровня. Если во время его работы уровень продолжает повышаться, то по достижению повышенного уровня от электрода *ЭП* включается второй насос. Если уровень будет продолжать повышаться, включится насос, настроенный на работу от аварийного уровня. Сигналы о неисправном состоянии насосов и о достижении аварийного уровня передаются диспетчеру по частотным каналам телемеханики на частотах 14, 20 и 26 кГц.

По аналогичной структурной схеме выполнена и аппаратура *ВАВ*. Она построена по блочному принципу и собрана на микроконтактных герметизированных реле в сочетании с полупроводниковыми элементами.

В комплект аппаратуры *ВАВ* входит блок управления насосами (*БУН*), сигнальное табло водоотлива (*СТВ*), реле производительности (*РПН*), реле давления (*РДВ*), заливочный погружной насос (*ЗПН*), пускатель *Я/75-1*, электропривод задвижки */73-7*, электродные датчики (*ЭД*), термодатчики *ТДЛ-2*, заградительные фильтры *ФНЧ-1*, переключатели цепей управления *ЦПУ-3*, индикаторы выхода высокочастотных генераторов *ИВ-65*.

Блок *БУН* предназначен для выбора режима работы насосов (от верхнего, повышенного или аварийного уровня воды), обработки сигналов, поступающих от датчиков, с последующей выдачей команд на исполнительные устройства, сигнализации о состоянии водоотливной установки. В одном блоке *БУН* размещены три панели управления (*ПУН*)

Работа -йсемы в автоматическом режиме. На рис. 10.4 показана принципиальная электрическая схема аппаратуры *ВАВ* при автоматизации одного насоса. Переключатель режимов работы *S6* устанавливается в одно из положений — *В*, *П*, *А*, *Р*, *0* (соответственно верхний, повышенный, аварийный уровень, ручное управление, ремонт). В положении *В* при подаче напряжения в блоке управления загорается сигнальная лампа *H7* и срабатывает промежуточное реле защиты *F2* по цепи! обмотка III трансформатора *T3*, конденсатор *C7*, контакт *S13* термодатчика *ТДЛ*, контакт *S14* конечного выключателя привода задвижки, контакт переключателя режима работы *S6.4*, резистор *R7*, конденсатор *C7*, диоды *V10* — *V13*, катушка реле защиты *F2*, резистор *R3*, обмотка III трансформатора *T3*. В исходном положении контакты термодатчика *S13* и конечного выключателя привода задвижки *S14* замкнуты. Реле *F2* своим замыкающим контактом включает реле защиты *F3*, которое подготавливает к включению цепи заливки и пуска главного насоса.

Когда вода достигает верхнего уровня, срабатывает реле уровня *K16* по цепи! обмотка IV трансформатора *T3*, диоды *V14* — *V17*,

резистор *И5*, катушка реле *К16*, контакт реле *К9*, контакт переключателя режима работы *86.5*, электрод верхнего уровня *ЭВ*, вода, «земля», диоды *У14* — *У17*, обмотка IV трансформатора *13*. Реле *К16* своим контактом включает реле *К8* и блокируется контактом *К8* и электродом *ЭН*, обеспечивая свое питание, пока уровень воды не снизится до электрода *ЭН*. Реле *К8* своими замыкающими контактами включает пускатель заливочного насоса *ЗПН* (происходит заливка главного насоса) и электродвигатель *М*, программного коммутатора по цепи: обмотка II трансформатора *77*, вывод б, электродвигатель *М* программного коммутатора *К20*, контакты реле *К8*, *К12* вывода обмотки II трансформатора *77*. Электродвигатель *М* вращает диски и задает программу заливки, пуска и работы главного насоса.

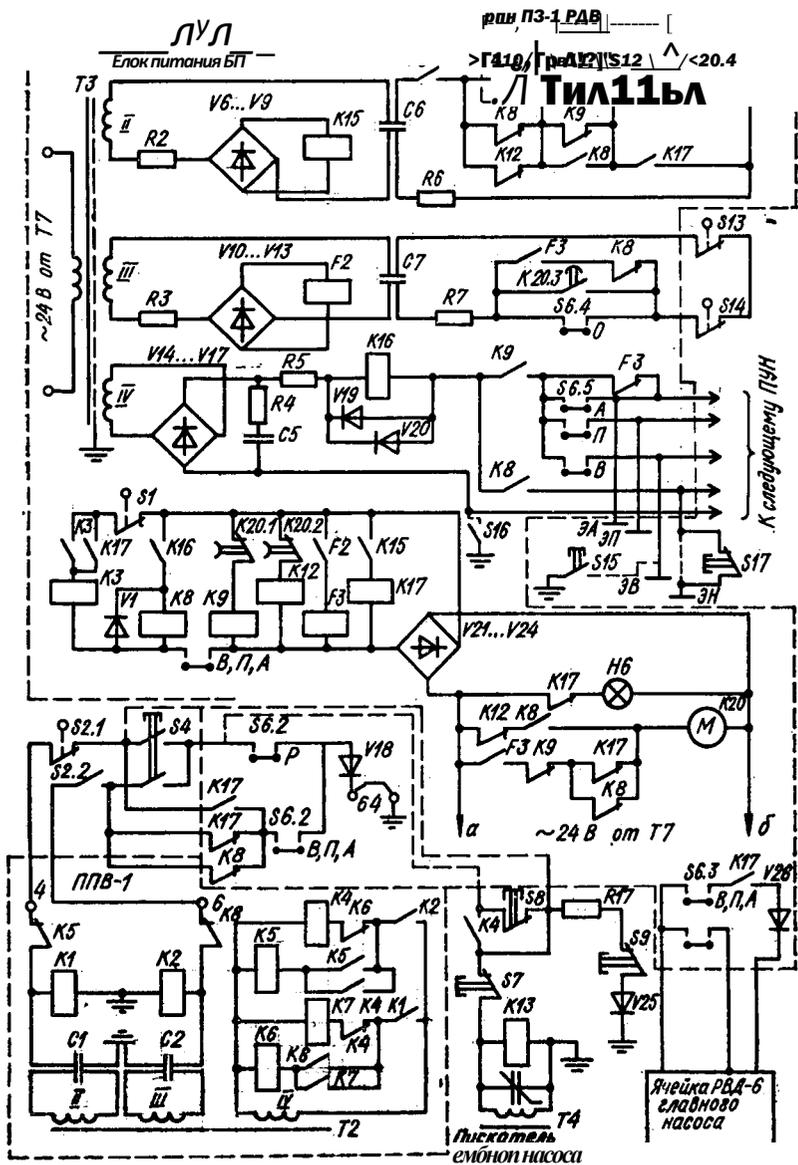
С выдержкой времени замыкается контакт *К20.4*, и реле *С15* обтекается током по цепи: обмотка II трансформатора *Т3*, конденсатор *С6*, контакты реле *Р3*, *К12*, *К8*, контакт *Б12* реле давления *РДВ*, контакт *К20.4* программного коммутатора, резистор *Я6*, конденсатор *С6*, диоды *У6* — *У9*, катушка реле *К15*, резистор *Я2*, обмотка II трансформатора *Т3*. Реле *К15* замыкающим контактом включает реле пуска главного насоса *С/7*, которое своим контактом включит пускатель привода задвижки *ППВ-1* на открывание, а также ячейку *РВД-6* (при высоковольтном двигателе) или пускатель (при низковольтном двигателе) главного насоса. В последнем случае перемычка *64* — «земля» должна быть снята. Реле *С/*, реагирующее на постоянный ток, сработает, так как обмотка его шунтируется диодом *У18* по цепи: обмотка II трансформатора *Т2*, конденсатор *С1*, контакт реле *С/5*, зажим *4* пускателя *ППВ-1*, контакт *82.1* конечного выключателя привода задвижки, контакт реле *С/7*, контакт переключателя режима работы *56.2*, диод *У18*, перемычка *64* — «земля», конденсатор *С/*, обмотка II трансформатора *Т2*.

Дальнейшую работу аппаратуры рассмотрим с высоковольтным двигателем. При полном открывании задвижки конечного выключателя *82.1* разомкнется, и реле *К1* отключится. Контакт *5/2* реле давления размыкается, но реле *К15* продолжает обтекаться током, поскольку контакты *812* и *К.20.4* зашунтированы замыкающим контактом *К17*.

По окончании пуска главного насоса контакт *К20.2* замкнется и включит реле *С/2*, которое разомкнет свои контакты в цепи питания двигателя *М* и реле *К15*. Если к этому времени насос разовьет нормальную производительность, то катушка реле *С/5* будет обтекаться током через контакт реле производительности *5/0*.

После откачивания воды до нижнего уровня размыкается цепь питания реле уровня *С 16*, которое своим размыкающим контактом отключит реле *К8*, а оно включит реле *К2* пускателя привода задвижки *ППВ-1*. При закрывании задвижки размыкается контакт конечного выключателя привода задвижки в цепи питания реле *С/5*, и последнее обесточивается, что приводит к остановке главного насоса. После полного закрытия задвижки пускатель *ППВ-1* отключится контактом конечного выключателя *52.2*.

Реле *К8* своим размыкающим контактом включит двигатель *М*. Как только диски реле времени *К20* возвратятся в исходное положение



ние, контактом  $K20.1$  включится реле  $K9$ , которое своим контактом разорвет цепь двигателя  $M$ .

Работа схемы при повышенном или аварийном уровне воды аналогична описанной выше, переключатель  $\mathcal{E}6$  при этом устанавливается в положение  $\Pi$  или  $A$ .

Если схема работает при местном управлении, переключатель  $B6$  ставится в положение  $P$ . Управление осуществляется кнопками «Пуск» и «Стоп» магнитных пускателей или поста управления высоковольтными ячейками  $PВД-6$ . Останов работающего насоса можно

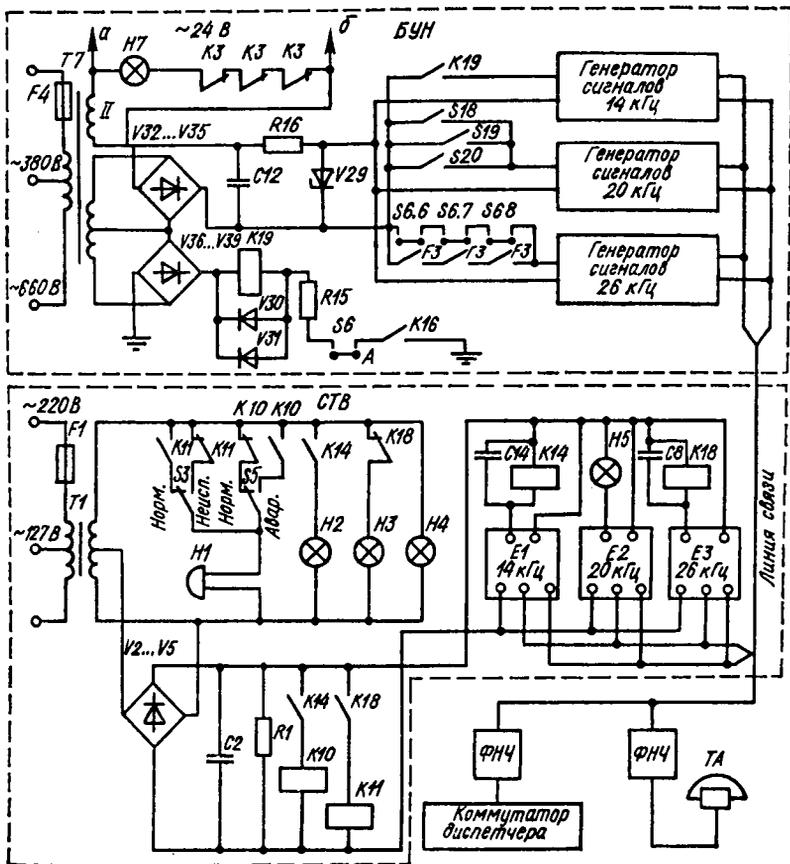
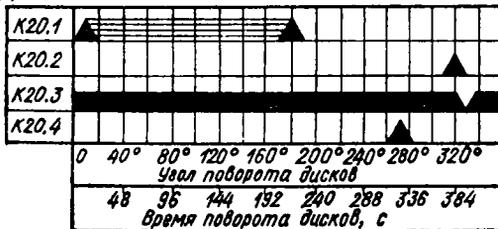


Диаграмма замыканий контактов реле времени К20



произвести кнопкой S17 («Стоп»), включенной последовательно с электродным датчиком ЭН.

Дистанционное управление насосом производится с помощью кнопки S15 («Пуск»), подключенной к электроду ЭВ. При этом срабатывает промежуточное реле уровня K16. Далее схема будет работать так же, как и в автоматическом режиме.

Для отключения насоса при любом уровне воды тумблер S16 кратковременно переводят в положение «отключено», тем самым

обесточивается реле *K16*. Если нужно отремонтировать насос, переключатель *S6* ставят в положение «0». При аварийном состоянии работающего насоса он отключается, и контактом *F3* включается резервный насос, настроенный на аварийный уровень.

Для защиты насоса при потере производительности применяется реле производительности *РПН*. Если производительность уменьшится или во время пуска насос не разовьет требуемой производительности, то контакт реле *S10* в цепи реле *K15* будет разомкнут. Реле *K15*, *K17* обесточатся, последнее своими контактами отключит ячейку *РВД-6*, замкнет цепь питания реле *K2* пускателя привода задвижки на закрывание, замкнет контакт в цепи двигателя *M*. Моторное реле контактами *K20.3* отключит реле *F2*, *F3*, последнее отключит двигатель *M*, подаст команду на включение резервного насоса и включит сигнализацию. Аналогично работает защита при перегреве подшипников и пуске незалитого насоса.

Сигнализация в аппаратуре ВАВ осуществляется с помощью частотной телемеханической системы, состоящей из трех генераторов 14, 20 и 26 кГц, линии связи и приемников сигналов *E1*, *E2* и *E3*, настроенных на соответствующую частоту. На выходе приемника *E1* включено реле *K24*, *E2* — сигнальная лампа *H5*, *E3* — реле *K18*. Канал с частотой 14-кГц используется для передачи информации об аварийном уровне воды, с частотой 20 кГц — о работе насоса, с частотой 26 кГц — о неисправности последнего.

Схемы автоматического управления единичными насосами представляют собою упрощенные варианты схем, рассмотренных выше.

Экономическая эффективность при автоматизации водоотливных установок достигается за счет сокращения обслуживающего персонала, уменьшения расхода электроэнергии, так как исключается работа насосов вхолостую и сокращается время их запуска, количество пусков и аварийность. Затраты на автоматизацию водоотливной установки окупаются за один-два года.

### **Контрольные вопросы**

1. Какой состав установки главного (местного) водоотлива?
2. Какова программа управления водоотливной установкой?
3. Как осуществляется автоматическая заливка насоса?
4. Как контролируется уровень воды в водосборнике?
5. Каково назначение и устройство программного коммутатора?
6. Как действует аппаратура УАВ?
7. Как действует аппаратура ВАВ?
8. Каковы источники экономической эффективности при автоматизации водоотливных установок?

## Глава 11. АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЖАТОГО ВОЗДУХА

### 11.1. Система производства и распределения сжатого воздуха как объект автоматизации

Исследованиями института Гипроуглеавтоматизация [9] установлено, что около 70 % шахт и рудников применяют пневматическую энергию при ведении горных работ. Она используется на угольных шахтах Донбасса с пластами крутого падения, особо опас-

ными по газу, пыли и выбросам, где применение электроэнергии запрещено, а также на некоторых шахтах с пластами пологого падения при проходке выработок в твердых горных породах, на рудниках по добыче руд черных и цветных металлов, при проведении горных выработок в крепких вмещающих породах и выемке рудных тел.

Потребители энергии сжатого воздуха — бурильные и отбойные молотки, проходческие, добычные и погрузочные машины, лебедки, конвейеры, толкатели, стопоры, затворы и некоторые другие механизмы. Сжатым воздухом доставляются закладочные материалы в выработанное пространство, измельченное полезное ископаемое и другие материалы. На угольных шахтах с пластами крутого падения и на рудниках для выработки сжатого воздуха расходуется до 60 % всей потребляемой электроэнергии, а в целом на всех угольных шахтах — свыше 25 % [9].

Производство сжатого воздуха и транспортирование его к потребителям осуществляется системой пневмоснабжения, которая состоит из двух подсистем: компрессорной станции, включающей несколько компрессоров, и пневмосети, состоящей из магистральных и участковых трубопроводов. Магистральные имеют диаметр 300—800 мм, прокладываются от компрессорной станции по шахтному стволу и горизонтальным горным выработкам к участкам потребления сжатого воздуха на несколько километров. Диаметр участковых 100—150 мм, длина 100—200 м.

Основная цель автоматизации системы пневмоснабжения — поддержание давления воздуха в пневмосети на уровне, обеспечивающем эффективную работу потребителей пневмоэнергии при возможно меньшем расходе электроэнергии на производство сжатого воздуха. Для достижения этой цели нужно решить две задачи: распределения сжатого воздуха в пневмосети, обеспечивающего заданное давление у всех потребителей, и производства сжатого воздуха при заданном давлении в количестве, равном суммарному расходу потребителями и на утечки через неплотности в трубопроводах.

Рудничная пневмосеть имеет большую протяженность и сложную разветвленную конфигурацию. Потребители сжатого воздуха в разном количестве расположены на различных расстояниях от компрессорной станции, из которой сжатый воздух поступает в магистральный трубопровод с заданным давлением. Поскольку разные потребители находятся на различных расстояниях и потребляют разное количество воздуха, то вследствие разной величины потерь в трубопроводах давление подводимого к потребителям сжатого воздуха оказывается различным. На участках с большим количеством потребителей, находящихся на большом удалении от компрессорной станции, давление воздуха оказывается ниже расчетного, на участках, находящихся на малом расстоянии от компрессорной станции, с малым количеством потребителей — повышенным.

В связи с тем что отдельные потребители включаются и выключаются в течение смены и суток случайным образом и, кроме того, на отдельных участках количество потребителей меняется, в пневмосети перераспределяются расход и давление воздуха практически непредсказуемым образом.

В пневмосетях шахт и рудников СССР отсутствует управление распределением сжатого воздуха, обеспечивающее заданное давление у потребителей. На рудниках некоторых зарубежных стран в пневмосетях устанавливаются дистанционно управляемые задвижки с пневмо- и электрогидравлическими приводами, с помощью которых при изменении нагрузок поддерживается заданное давление на участках дроселированием воздуха в задвижках. Ряд проектно-исследовательских институтов (ГУА, ИГМ им. М. М. Федорова и др.) разрабатывают такие системы для отечественных шахт и рудников. Задвижками можно управлять и автоматически. Для этого на участках нужно установить регуляторы, уставки которых каждый раз определяются решением задачи отыскания максимума производительности всех потребителей пневмоэнергии при данном фактическом давлении воздуха на выходе компрессорной станции. Регуляторы в соответствии с уставками будут воздействовать на задвижки, устанавливая расчетные давления. Указанные выше институты разрабатывают и такие полностью автоматизированные системы управления давлением в пневмосетях, которые будут внедряться в будущем. В ближайшее время получают применение системы автоматического контроля расхода и давления воздуха в различных точках пневмосети, а также потерь давления на отдельных участках трубопроводов в рамках автоматизированной системы управления шахты (АСУ шахты).

Управление давлением воздуха в пневмосети сводится к поддержанию расчетного давления в начале магистрального трубопровода на выходе из компрессорной станции независимо от расхода. Эта задача решается путем автоматизации компрессорной станции.

Компрессорный агрегат с электрическим приводом — сложное устройство, для нормального функционирования которого нужно выполнять ряд операций при пуске и остановке, контролировать и поддерживать в заданных пределах различные параметры. Нужно поддерживать заданное давление, обеспечивать необходимую производительность, контролировать перепад давления на фильтрах, установленных на всасывающих трубопроводах, давление и температуру воздуха после каждой ступени компрессора и промежуточных холодильников, системы маслосмазки и водяного охлаждения. Для поршневых и центробежных или турбокомпрессорных агрегатов эти вопросы решаются по-разному. Поэтому сначала рассмотрим отдельно автоматизацию каждого такого агрегата, а затем автоматизацию компрессорных станций.

## 11.2. Автоматизация поршневого компрессора

Принципиальная технологическая схема поршневого компрессора с расстановкой датчиков, контролирующей состояние отдельных узлов, давление и расход воздуха, системы маслосмазки и водяного охлаждения, представлена на рис. 11.1.

Для привода современных поршневых компрессоров применяются синхронные двигатели, основное преимущество которых — возможность компенсации реактивной мощности потребителей, работающих с отстающим током. Кроме того, синхронные двигатели имеют бо-

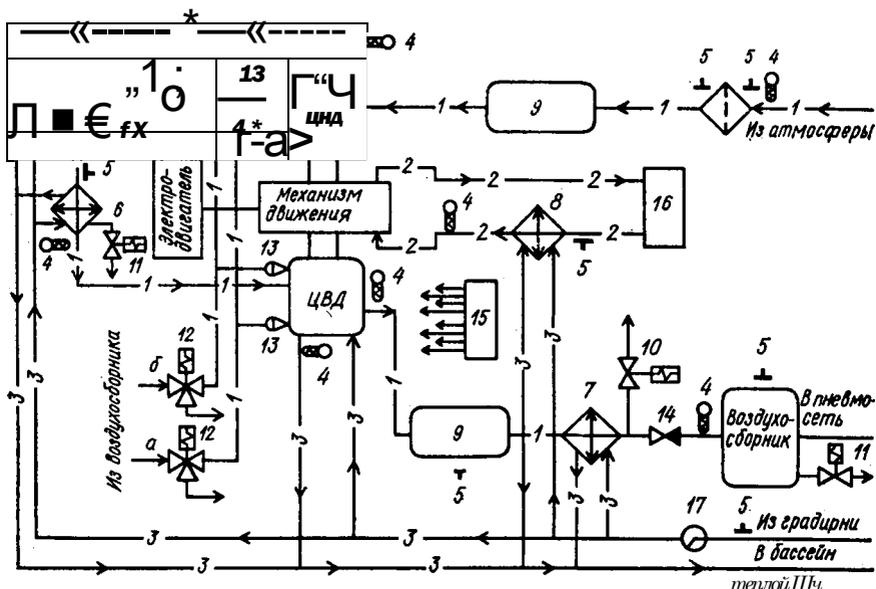


Рис. 11.1. Принципиальная технологическая схема поршневого компрессора

лее высокий к. п. д., менее чувствительны к колебаниям напряжения питающей сети, чем асинхронные, и обеспечивают постоянство частоты вращения независимо от величины нагрузки.

Для пуска синхронного двигателя на старых установках применяются схемы с глухоподключенным возбудителем и непосредственным включением двигателя при полном напряжении сети. Такой пуск возможен, если момент сопротивления на валу двигателя не превышает 0,4 от номинального. Поэтому при пуске компрессор разгружается разгрузочным клапаном 10, расположенным между компрессором и обратным клапаном 14 в пневмосети и соединяющим выход компрессора с атмосферой (рис. 11.1). На новых установках применяются тиристорные возбудители. Пуск синхронного двигателя и регулирование тока возбуждения при изменении нагрузки осуществляются автоматически. Схемы автоматического пуска синхронных двигателей изучаются в курсе электропривода и здесь не рассматриваются.

Для поддержания давления воздуха на заданном уровне необходимо регулировать производительность компрессора, обеспечивая ее соответствие расходу воздуха из пневмосети. Регулирование производительности поршневого компрессора с нерегулируемым электроприводом может быть выполнено различными способами: выпуском воздуха из нагнетательного трубопровода в атмосферу или во всасывающий трубопровод; дросселированием воздуха во всасывающем трубопроводе; подключением дополнительного объема вредного пространства; отжимом всасывающих клапанов.

Регулирование производительности выпуском воздуха из нагнетательного трубопровода компрессора в атмосферу или во всасывающий трубопровод с помощью специального клапана или задвижки, устанавливаемых на выходе компрессора, применяется тогда, когда

конструкция компрессора не позволяет применить другие способы, так как этот способ является наименее экономичным. В современных отечественных компрессорах этот способ не применяется.

Регулирование производительности подключением дополнительного объема вредного пространства является наиболее экономичным. Вредное пространство представляет собой объем, заключенный между крышкой цилиндра и поршнем при его крайнем положении у этой крышки, включая также объем каналов, соединяющих клапаны с цилиндром. Дополнительные объемы представляют собой либо специальные емкости, присоединяемые к цилиндрам, либо выполняются непосредственно в корпусе цилиндров. Уменьшение производительности при подключении к цилиндру дополнительного вредного пространства происходит вследствие того, что всасывание начинается после расширения воздуха, оставшегося во вредном пространстве, а при увеличении объема этого пространства количество оставшегося воздуха тоже возрастает и соответственно уменьшаются количество всасываемого воздуха и производительность компрессора. Дополнительные объемы вредного пространства подключаются одновременно к цилиндрам низкого и высокого давления с помощью клапанов, которые включают-ся пневмоцилиндрами, управляемыми регулятором давления. К каждой рабочей полости цилиндра компрессора обычно можно последовательно подключить два дополнительных объема вредного пространства, и они рассчитываются так, что для компрессоров двойного действия можно получать производительности 100, 75, 50, 25, и 0 % от номинальной. Этот способ приводит к усложнению конструкции компрессора и поэтому в рудничной практике распространения не получил.

Регулирование производительности компрессоров отжимом всасывающих клапанов состоит в том, что цилиндр низкого давления соединяется с атмосферой, а высокого — с промежуточным холодильником. При этом всасываемый в цилиндры воздух не сжимается, а выталкивается обратно через всасывающие клапаны.

Для компрессоров двойного действия отжимом всасывающих клапанов можно получать производительности 100, 50 и 0 % от номинальной. Этот способ регулирования производительности поршневых компрессоров широко применяется на шахтах и рудниках СССР.

Отжим всасывающих клапанов производится специальными устройствами 13 (рис. 11.1) с пневмоприводами, которые получают воздух от трехходовых электромагнитных клапанов 12. Регулироваться производительность одиночного компрессора двойного действия может с помощью датчика давления 5, установленного на воздухохранильнике, и моторного реле времени с двумя последовательно размыкающимися и одним замыкающимся контактами. В качестве датчика давления может быть использован контактный манометр, который замыкает свой контакт в цепи реле времени при увеличении давления в воздухохранильнике на 50... 100 кПа выше заданного рабочего. При замыкании контакта датчика давления включается реле времени и с выдержкой времени размыкает свой контакт в цепи катушки трехходового электромагнитного клапана 12а, который открывает доступ сжатого воздуха к отжимным устройствам 13 всасывающих клапанов одной стороны цилиндров низкого и высокого давления. Производительность компрес-

сора уменьшается на 50 %. Если в течение времени, определяемом выдержкой, давление в воздухохборнике не снизится настолько, что датчик давления разомкнет свой контакт, то разомкнется контакт реле времени в цепи катушки электромагнитного клапана 126, который подаст воздух в следующую пару отжимных устройств 13, и производительность компрессора падает до нуля. Если давление не снизится, то с выдержкой времени замкнется следующий контакт реле времени и отключит электродвигатель компрессора от сети. Выдержки времени определяются конкретными условиями работы пневмосистемы и выбираются при наладке установки. При снижении давления пуск компрессора и отключение отжимных устройств происходят в обратном порядке.

В поршневых компрессорах для смазки цилиндров и сальников штоков поршней применяются специальные компрессорные масла с высокой температурой вспышки и повышенной устойчивостью против окисления, механизмы движения (коренные подшипники, подшипники шатунов, ползуны крейцкопфов и др.) смазываются машинными маслами, рекомендованными заводами-изготовителями компрессоров. Соответственно современные рудничные поршневые компрессоры имеют две независимые системы смазки под давлением. Смазка цилиндров и сальников производится многоэлементным насосом (лубликатором) 15 с электрическим приводом, при этом масло, попадающее в цилиндры, уносится сжатым воздухом, а затем улавливается специальными масловодоотделителями. Некоторое количество паров масла уносится в пневмосеть. Механизмы движения смазываются струей масла, подаваемой шестеренчатым насосом 16 с электроприводом. Масло собирается в картере, а оттуда через масляный фильтр и холодильник 8 снова поступает в насос и подается в систему смазки. В системе контролируются температура и давление масла соответственно датчиками температуры 4 и давления 5. При нарушении нормального режима смазки механизмов движения компрессор аварийно отключается.

Сжатие воздуха сопровождается повышением его температуры соответственно температуре самого компрессора и смазочных масел. Для обеспечения нормальной работы компрессора и заданных параметров сжатого воздуха на рудничных поршневых компрессорах применяется водяное охлаждение, схема которого показана на рис. 11.1. Вода, охлажденная в градирне, специальным насосом подается в водопровод охлаждения, и при этом датчиком давления 5 контролируется ее давление, а датчиком контроля 17 — наличие потока воды. По водопроводу охлажденная вода поступает в систему охлаждения цилиндров низкого давления, в воздушные холодильники 6 и 7 и масляный холодильник 8. Нагретая вода поступает самотеком в бассейн теплой воды, а оттуда на градирню.

Полная автоматизация поршневого компрессора предусматривает выполнение операций пуска и останова компрессора по заданной программе, автоматическое регулирование его производительности, автоматический контроль состояния основных механических узлов и рабочих параметров воздуха, воды и масла, отключение приводного двигателя от сети при аварийном отклонении состояния механических узлов и значений параметров от нормальных.

По принципу действия центробежные или турбокомпрессоры аналогичны центробежным насосам и вентиляторам и имеют аналогичные рабочие характеристики (рис. 11.2, кривая 1). Рабочая точка компрессора определяется точкой пересечения  $A$  характеристики компрессора и характеристики воздухопровода 2. Точка  $K$  соответствует критической производительности  $\phi_k$  компрессора, при которой он развивает максимальное давление  $P_k$ . Если расход воздуха в пневмосети станет меньше  $\phi_k$ , то давление, развиваемое компрессором, окажется меньше  $P_k$  и, следовательно, меньше, чем в пневмосети, из которой воздух устремится к компрессору и захлопнет обратный клапан в воздухопроводе. Рабочий режим компрессора переместится в точку  $B$ , соответствующую холостому ходу. По мере расходования воздуха из пневмосети его давление снизится до величины, соответствующей точке  $A$ , обратный клапан откроется, и компрессор начнет подавать в пневмосеть воздух в количестве, определяемом точкой  $B$ . Если расход воздуха остается меньше ( $2_k$ , все повторится в том же порядке). Это явление известно под названием помпажа и происходит при эксплуатации компрессора на участке рабочей характеристики левее критической точки  $K$ . Устойчивая работа компрессора возможна на участке характеристики, расположенном правее критической точки  $K$ . Для обеспечения нормальной работы компрессора при меняющемся расходе воздуха в пневмосети его снабжают противопомпажной защитой, которая обеспечивается специальным регулятором, соединяющим противопомпажной заслонкой нагнетательный воздухопровод компрессора с атмосферой, когда потребление воздуха пневмосетью становится ниже  $S_k^?$  и, таким образом, удерживает режим работы компрессора на устойчивой ветви рабочей характеристики. Степень открытия противопомпажной заслонки определяется разностью между  $<3_k$  и действительным потреблением воздуха пневмосетью.

На рис. 11.3 представлена принципиальная технологическая схема турбокомпрессора с расстановкой различных датчиков. Трехступенчатый компрессор, имеющий два рабочих колеса на каждой ступени, уменьшающихся в размерах от всасывания к нагнетанию в связи с уменьшением объема сжимающегося воздуха, через повышающий редуктор приводится в движение с частотой вращения 7600—17 500 об/мин синхронным двигателем (в зависимости от габарита) с частотой вращения 3000 об/мин. После каждой ступени воздух поступает в воздухоохладители 6, охлаждаемые водой, и затем в следующую ступень или воздухооборник. Сам турбокомпрессор охлаждению не подвергается. Нагретая вода охлаждается в градирне и насосом снова подается в водопровод охлаждения. Охлаждается водой также воздух, поступающий на охлаждение электродвигателя.

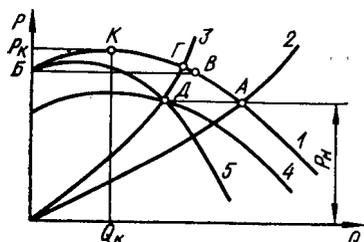
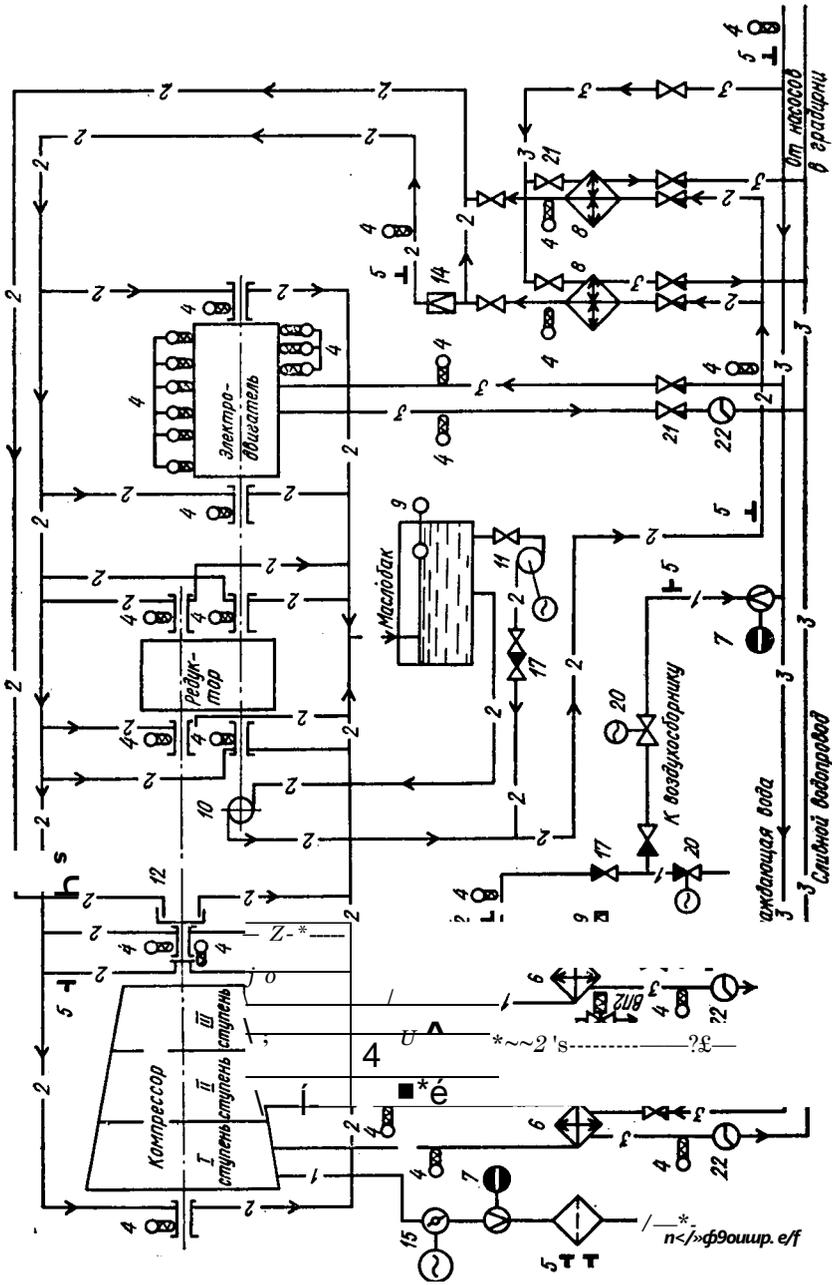


Рис. 11.2. Рабочие характеристики турбокомпрессора

Шестеренчатый рабочий маслосос 10, сидящий на валу редуктора, за-



Техническая схема турбокомпрессора

сасывает через фильтры масло из маслобака и нагнетает его в маслосистему под давлением 500 кПа (5 кг/см<sup>2</sup>). Масло проходит через охлаждаемые водой маслоохладители 8, после которых часть его, поступающая на смазку подшипников, пропускается через редукционный клапан 14, снижающий давление до 50—90 кПа (0,5—0,9 кг/см<sup>2</sup>). Масло под высоким давлением используется для работы реле осевого сдвига опорно-упорного подшипника и регуляторов производительности и противопомпажного, если они гидравлические. Для подачи масла в период пуска и останова компрессора используется пусковой шестеренчатый насос 11 с приводом от асинхронного двигателя, который включается на время работы рабочего маслонасоса 10 с пониженными оборотами.

Производительность турбокомпрессора контролируется датчиками расхода воздуха 7, установленными на всасывающем и нагнетательном воздухопроводах. Они представляют собой дифференциальные манометры с электрическими сигналами на выходе вторичного прибора, измеряющие перепад давлений на диафрагмах, смонтированных в воздухопроводах. Датчик расхода всасывающего воздухопровода измеряет полную производительность, и поэтому его показания используются для работы противопомпажного регулятора. Датчик расхода нагнетательного воздухопровода измеряет количество сжатого воздуха, поступающего в воздухоотборник и далее в пневмосеть, которое может отличаться от полной производительности, например, при работе противопомпажной защиты, когда часть сжатого воздуха выбрасывается в атмосферу.

Давление воздуха, воды и масла измеряется датчиками, представляющими собой манометры различных типов, обычно бесшкальные с аналоговыми или дискретными сигналами на выходе (напряжение), которые используются для целей автоматического контроля, защиты и управления.

Температура воздуха, охлаждающей воды, масла, подшипников, обмоток электродвигателя измеряется термометрами сопротивления, в качестве вторичных приборов для которых используются логометры и автоматические мосты.

Для распределения охлаждающей воды по объектам охлаждения предусмотрены регулировочные вентили 21. Такие же вентили и в системе маслоснабжения. В водопроводной сети устанавливаются датчики контроля потока воды 22. В нагнетательном трубопроводе устанавливаются управляемые задвижки 20 с электроприводом. Одна задвижка при необходимости отделяет компрессор от пневмосети, вторая управляется регулятором противопомпажной защиты и соединяет компрессор с атмосферой.

Регулирование производительности турбокомпрессора для поддержания постоянного давления независимо от расхода воздуха из пневмосети может осуществляться двумя способами: изменением частоты вращения рабочих колес и дросселированием воздуха во всасывающем трубопроводе с помощью дроссельной заслонки. В точке А компрессор развивает номинальное давление  $P_n$ . При снижении потребления воздуха из пневмосети, характеристика которой будет определяться теперь кривой 3 на рис. 11.2, а рабочий режим компрессора точкой Г,

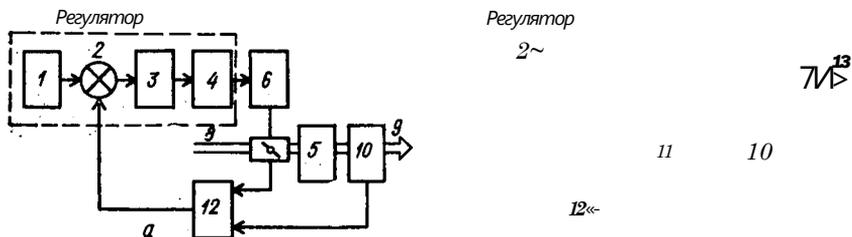


Рис. 11.4. Функциональные схемы:

*А* — автоматической системы регулирования давления; 6 — противопомпажной защиты турбокомпрессора

давление превысит номинальное. Чтобы довести давление до номинального, можно снизить частоту вращения компрессора; его характеристика изобразится кривой 4, а рабочий режим точкой *Д*. Тот же результат может быть получен при неизменной частоте вращения компрессора прикрытием дроссельной заслонки во всасывающем трубопроводе. Характеристика компрессора в этом случае изобразится кривой 5, а рабочий режим — той же точкой *Д*. Турбокомпрессоры хабаровского завода «Энергомаш» комплектуются нерегулируемым синхронным двигателем с частотой вращения 3000 об/мин.

Регулирование производительности предусматривается дроссельной заслонкой во всасывающем трубопроводе, управляемой регулятором. До 1970 г. компрессоры хабаровского завода комплектовались гидравлическими изодромными противопомпажными регуляторами и регуляторами производительности, и на старых установках эти регуляторы можно еще встретить. Современные компрессоры снабжаются соответствующими электрическими регуляторами типа РПИБ или другими с теми же функциональными возможностями.

На рис. 11.4, *а* представлена функциональная схема автоматической системы регулирования давления турбокомпрессора при изменении расхода воздуха в пневмосети. Регулятор содержит задатчик 1, элемент сравнения 2, усилитель и формирователь закона регулирования 3, усилитель мощности 4. Электрические сигналы датчика давления 10, измеряющего давление в нагнетательном воздухопроводе 9 компрессора 5, и датчика положения дроссельной заслонки 7 во всасывающем воздухопроводе 8 алгебраически складываются в сумматоре 12. Суммарное напряжение поступает на элемент сравнения 2, где сравнивается с сигналом задатчика 1. Сигнал, пропорциональный отклонению действительного давления воздуха в нагнетательном воздухопроводе от заданного задатчиком, поступает в формирователь закона регулирования 3, где для данной системы регулирования формируется пропорционально-интегральный (ПИ) закон. Сигнал, пропорциональный отклонению и интегралу от отклонения, поступает в усилитель мощности 4, а из него в электрический приводной двигатель 6 дроссельной заслонки 7. В зависимости от знака отклонения дроссельная заслонка прикрывает или открывает всасывающий воздухопровод, уменьшая или увеличивая производительность турбокомпрессора и приводя тем самым к нулю отклонение давления воздуха в нагнетательном воздухопроводе.

На рис. 11.4, б представлена функциональная схема противопомпажной защиты, которая осуществляется таким же регулятором, как и регулирование производительности. Датчиком давления 10 измеряется давление воздуха в нагнетательном воздухопроводе Р. Датчиком производительности 11 измеряется расход воздуха во всасывающем воздухопроводе 8 турбокомпрессора 5. Выходные напряжения этих датчиков и датчика положения противопомпажной заслонки 7 алгебраически складываются в сумматоре 12. Суммарное напряжение поступает в элемент сравнения 2, где сравнивается с напряжением задатчика 1, соответствующим критическому режиму работы компрессора.

При положительном знаке отклонения сигнал поступает в формирователь закона регулирования 3, где формируется ПИ-закон, далее в усилитель мощности 4 и отсюда в электрический приводной двигатель 6 противопомпажной заслонки 7, которая полностью закрывается, а двигатель отключается концевым выключателем. В системе ничего не происходит. При отрицательном отклонении этот сигнал проходит через регулятор, и электрический приводной двигатель 6 открывает противопомпажную заслонку 7 на величину, пропорциональную отклонению и соединяет нагнетательный воздухопровод с атмосферой через патрубок 13, увеличивая производительность турбокомпрессора и удерживая режим его работы на устойчивой ветви рабочей характеристики. С увеличением расхода воздуха из пневмосети давление в ней снизится, производительность компрессора увеличится, отрицательное отклонение уменьшится до нуля, а затем и поменяет знак. При положительном отклонении противопомпажная заслонка закроется. Подробное описание электронных регуляторов приводится в литературе [22] и в заводских инструкциях.

Полная автоматизация турбокомпрессора предусматривает выполнение операций пуска и останова компрессора по заданной программе, автоматическое регулирование его производительности, противопомпажную защиту, автоматический контроль состояния основных механических узлов и рабочих параметров воздуха, воды и масла, отключение приводного двигателя от сети при аварийном отклонении состояния узлов или значений параметров от нормальных.

#### 11.4. Автоматизация компрессорной станции

Действующие компрессорные станции на шахтах и рудниках укомплектованы компрессорами различных типов, в ряде случаев устаревшими, которые постепенно заменяются современными — поршневыми Пензенского завода (2М10-100/8, 4М10-100/8) и турбокомпрессорами хабаровского завода «Энергомаш» (К2506, К350, К500).

Старые компрессорные станции малой и средней мощности укомплектованы поршневыми компрессорами и, как правило, автоматизированы не полностью. На них производится автоматический пуск и останов каждого агрегата, снабженного приводом от синхронного электродвигателя, автоматический контроль состояния основных механических узлов и параметров сжатого воздуха, воды и масла. Регулирует производительность обслуживающий персонал, отключая и

включая отдельные компрессоры, так как глубина регулирования отжимом всасывающих клапанов обычно оказывается недостаточной.

Новые мощные, полностью автоматизированные компрессорные станции комплектуются турбокомпрессорами и двумя-тремя поршневыми компрессорами. Рабочие колеса турбокомпрессоров не нуждаются в смазке, и сжатый воздух, который они производят, не содержит паров масла, а содержит только пары воды. Чтобы предохранить шахтные воздухопроводы от коррозии внутренней поверхности, дополнительно устанавливают поршневые компрессоры, которые выдают сжатый воздух с парами масла, сохраняющимися в некотором количестве и после маслоотделителя и смазывающими внутреннюю поверхность воздухопроводов.

Существенным является способ регулирования компрессорной станции, обеспечивающий наиболее выгодное распределение нагрузки между отдельными агрегатами, при котором затраты энергии на производство сжатого воздуха оказываются минимальными, а к. п. д. станции максимальным. Исследования показали, что при регулировании производительности турбокомпрессоров изменением частоты вращения необходимо производить их разгрузку и загрузку одновременно, а при регулировании дросселированием — поочередно [9]. Для поршневых компрессоров способ разгрузки и загрузки значения не имеет.

Количество компрессоров и глубина регулирования производительности компрессорной станции определяются графиком нагрузки, поэтому каждая рудничная компрессорная станция выполняется по индивидуальному проекту.

Следует учитывать, что пуск и останов турбокомпрессоров сложен и обычно они работают без остановки длительное время, месяцами. Если при регулировании производительности турбокомпрессоров дросселированием возможности регулирования исчерпываются, то дальнейшее снижение производительности осуществляется последовательным отключением поршневых компрессоров.

На компрессорных станциях применяются различные системы автоматизации производительности, предложенные проектными институтами, с использованием одного регулятора для управления всей станцией или с установкой отдельного регулятора на каждом компрессоре.

Рассмотрим систему автоматизации компрессорной станции, разработанную институтом Гипроуглеавтоматизация [9].

Структурная схема этой системы для трех компрессоров, содержащая один изодромный электронный регулятор, поочередно воздействующий на сервоприводы дроссельных заслонок и противоположных клапанов компрессоров по установленной программе, приведена на рис. 11.5.

В схеме предусмотрены сервоприводы дроссельных заслонок 1—3 и противоположных клапанов 4—6, а также элементы 7—12, включающие сервоприводы на открытие заслонок и клапанов, и 13—18, включающие сервоприводы на их закрытие. Сигнал  $P_K$ , пропорциональный давлению сжатого воздуха в воздухохранильнике 19, измеряемый датчиком давления 20, сравнивается с заданным сигналом  $P_3$  на элементе сравнения 21. Сигнал  $AP$  отклонения подается на вход регулятора 22.

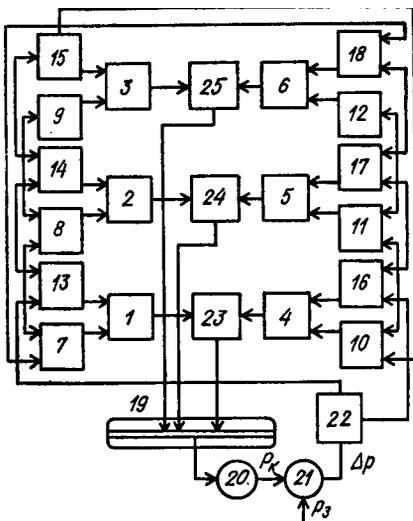


Рис. 11.5. Структурная схема автоматизации компрессорной станции

Если  $P_k > P_3$ , то регулятор 22 выдает сигнал на закрытие дроссельной заслонки 1 компрессора 23, стоящего в программе для регулирования первым. Если после полного закрытия заслонки  $P_k$  остается больше  $P_a$ , сигнал от регулятора 22 подается на закрытие заслонки компрессора 24, а затем компрессора 25. Если после закрытия дроссельных заслонок всех компрессоров  $P_k$  будет все же выше  $P_a$ , то регулятор 22 выдает сигнал на открытие противоположного клапана 4 компрессора 23, затем 5 компрессора 24 и т. д. При  $P_k < P_a$  регулятор поочередно выдает команды сначала на закрытие противоположных клапанов, а затем на открытие заслонок. Если

входят поршневые компрессоры, то в систему вводятся дополнительные элементы, обеспечивающие по установленной программе их отключение и включение.

Для увеличения надежности системы регулирования устанавливаются два регулятора — рабочий и резервный, который автоматически включается при выходе из строя рабочего.

Экономическая эффективность автоматизации компрессорных станций повышается за счет сокращения обслуживающего персонала, уменьшения расхода электроэнергии, сокращения потерь сжатого воздуха через предохранительные клапаны воздухоотделителей, улучшения качества сжатого воздуха (стабильность давления) у потребителей и, следовательно, повышения производительности пневматических машин и инструмента.

### Конт рольные вопросы

1. Особенности системы пневмоснабжения шахты?
2. Какие задачи решает автоматизация поршневого компрессора?
3. Как осуществляется автоматическое управление поршневым компрессором?
4. Какие задачи решает автоматизация турбокомпрессора?
5. Как осуществляется автоматическое управление турбокомпрессором?
6. Возможный состав компрессорной станции?
7. Как осуществляется автоматическое управление компрессорной станцией?
8. Источники экономической эффективности автоматизации компрессорных станций?

## Глава 12. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ И РУДНИКОВ

### 12.1. Система проветривания шахт как объект автоматизации

Система проветривания предназначена для снабжения шахты воздухом в количестве, необходимом для обеспечения комфортных и безопасных условий труда горнорабочих на рабочих местах и в транспортных выработках при существующих параметрах рудничной атмосферы: газовыделении, пылеобразовании, выделении тепла и влажности.

В систему проветривания современной шахты входят главные вентиляторные установки и вентиляторы местного проветривания, калориферные установки, вентиляционная сеть (горные выработки), устройства распределения воздушных потоков, средства контроля параметров рудничной атмосферы и средства связи.

Построение системы автоматического управления проветриванием (САУП) шахты — задача, сложность которой обусловлена непрерывными случайными нестационарными изменениями параметров рудничной атмосферы и вентиляционной сети. Такие системы разрабатываются и опробуются, но до промышленного внедрения они пока не доведены.

В последнее время разработаны и продолжают совершенствоваться локальные системы автоматического управления отдельными подсистемами системы проветривания шахты, причем степень их разработки весьма различна. Доведены до широкого промышленного внедрения автоматизация главных вентиляторных и калориферных установок, автоматический контроль содержания метана в рудничной атмосфере, автоматизация проветривания тупиковых забоев подготовительных выработок вентиляторами местного проветривания. Не доведены до промышленного внедрения системы и средства автоматического управления устройствами распределения воздушных потоков (вентиляционные двери, дроссельные задвижки). Находятся в начальной стадии разработки автоматизация проветривания лавы, добычного участка, автоматизация управления противопожарными средствами.

### 12.2. Автоматизация главных вентиляторных установок . 2.\*

Для автоматизации главных вентиляторных установок выпускается аппаратура УКAB-2, обеспечивающая управление вентиляторными установками, выполненными по любой технологической схеме и оборудованными вентиляторами любого типа. Эта аппаратура позволяет: выбирать управление вентиляторной установкой из машинного зала или из помещения диспетчера; устанавливать режим работы вентилятора (нормальный и реверсивный) из машинного зала или из помещения диспетчера; вести автоматический контроль за работой установки; частично регулировать производительность вентилятора поворотом лопаток направляющего аппарата на ходу (если это позволяет конструкция вентилятора); автоматически включать резервный вентилятор в случае аварийного отключения рабочего агрегата; автомати-

чески включать резерв низкого напряжения и автоматическое повторное включение при кратковременном (до 10 с) отключении питающего высокого напряжения; реверсировать вентиляционную струю из машинного зала или из помещения диспетчера без остановки вентилятора.

С Включается вентиляторная установка кнопкой «Пуск» из машинного зала или из помещения диспетчера. Первоначально срабатывает предварительное реле пуска и включает рабочий насос маслосмазки, электромагнит тормоза, электродвигатели лебедок ляд, привод направляющего аппарата вентилятора.

После выполнения ряда условий (направляющий аппарат закрыт, масло под требуемым давлением циркулирует в системе смазки подшипников, ляды установлены в нужное положение, вентилятор заторможен) включается реле пуска вентилятора, подавая сигнал на включение статорной цепи его электродвигателя.

Останов вентилятора может производиться кнопкой «Стоп» из машинного зала или помещения диспетчера. При этом срабатывает реле, которое выдает сигналы на отключение электродвигателя вентилятора от сети, закрытие направляющего аппарата, наложение тормоза. Тормоз удерживается до тех пор, пока вентилятор не остановится. В процессе останова вентилятора отключается насос маслосмазки, ляды возвращаются в положение, соответствующее остановленному вентилятору у

Переводится реверсивный вентилятор из нормального режима в реверсивный универсальным переключателем после полной остановки. Пуск осуществляется кнопкой «Пуск», как и при работе вентилятора в нормальном режиме.

На рис. 12.1 представлена упрощенная принципиальная схема станции автоматизации аппаратуры УКAB-2, на которой показаны только основные реле и элементы (кнопки, контакты концевых выключателей и др.), чтобы облегчить уяснение принципа работы.

Рассмотрим пуск вентилятора в нормальном режиме из машинного зала. Подается напряжение на станцию автоматизации включением автомата АВ. Универсальные переключатели устанавливаются при режиме работы УП-1 — в положение Н; выборе маслоснасоса УП-2 — в положение 1; ремонтном УП-0 — в положение «вкл».

При нажатии кнопки «Пуск» КП включится промежуточное реле пуска в нормальном режиме (РПН) и своими контактами включит промежуточное реле пуска (РПП), которое включит пускатель маслоснасоса ПМ1. Маслоснасос начнет подавать масло в систему смазки вентилятора. Кроме этого будут включены реле пуска (РП), моторное реле контроля разгона (РКР), реле времени (РВ), реле режима снятия напряжения (РРС), будет подано напряжение на реле скорости (РСВ).

Включенное РП включает пускатель тормоза (ТЗ), шунтирует контакты РКО и РПЛ в цепи РПН (РПП), подготавливает цепь реле отключения (РО). Моторное реле контроля разгона замыкает свои контакты с выдержкой времени: РКР-2 через 3, РКР-5 через 4, РКР-4 через 7, РКР-3 через 7 и РКР-1 через 10 мин.

Контролируется работа системы смазки контактными манометрами (ЭКМ) и струйными реле (РС). Если система смазки работает нормально, то включается реле контроля давления и потока масла (РЭМ), ко-

1АВ

22015

-с=Ъ

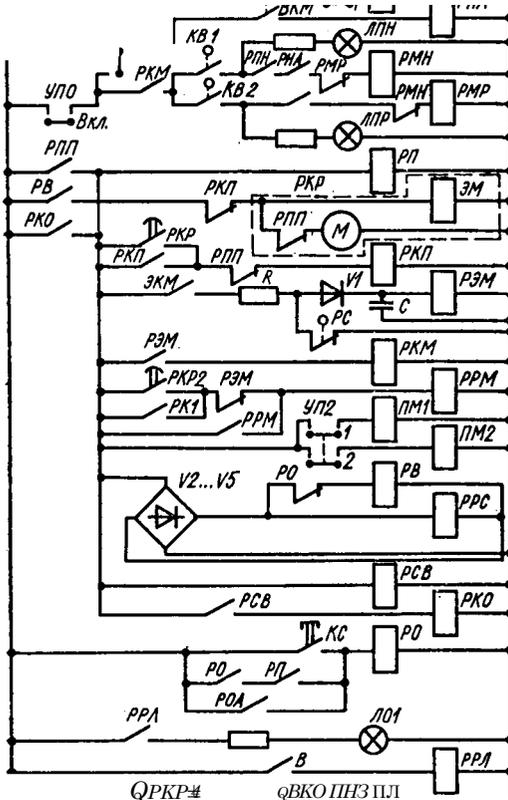
ЛН  
-ф т.≥

РПШ

РКО РРЛ т.рмуци

РПН

П^°1\_



РРНs

QPKP# qBKO ПНЗ ПЛ

в  
V прр

пно

-[рL

\_/т\_

в  
v»—

£fio

д? —

Автоматический выключатель

Лампа контроля напряжения

Реле пуска промежуточное

Реле пуска в нормальном режиме

Реле пуска в реверсивном режиме

Лампа готовности пуска Т-

нормального режима

Умепи

Реле пуска вентилятора в

реверсивном режиме

лампа готовности к пуску в

реверсивном режиме

Реле пуска

Реле контроля расхода

Реле контроля пуска

Реле контроля давления

и потока масла

Реле контроля маслосистемы

Реле окисл

Пускатели маслоснасосов

Реле времени

реле режима снятия напряжения

Реле скорости вентилятора

Реле контроля оборотов

Реле отключения

Лампа сигнальная

вентилятор выключен

Реле размыкатель контактов

включенной статорной цепи

Пускатель

направление двигателя

Пускатель включения тормоза

Рис. 12.1. Принципиальная схема станции автоматизации аппаратуры УКAB-2

торое включает реле контроля маслосистемы (Р/СМ) и размыкает цепь реле включения резервного маслоснасоса (РРМ). РКО подготавливает цепь включения реле пуска РМН (РМР).

Реле времени замыкает свои контакты в цепях реле РПН (РПР), РП и размыкает в цепи пускателя тормоза. После закрывания направляющего аппарата замыкается контакт концевого выключателя (ВКМ) в цепи реле контроля положения направляющего аппарата (РНА), которое включается и замыкает свои контакты в цепи РМН (РМР),

включает привод ляд, положение которых контролируется концевыми выключателями *ВК-1* и *ВК-2*. Если ляды находятся в необходимом положении, то контакт *КВ-1* в цепи *РМН* окажется замкнутым, последнее сработает и включит привод масляного выключателя. Блок-контакты масляного выключателя *В* включают реле размножения контактов включения статорной цепи (*РРЛ*), а также разомкнутся в цепи пускателя направляющего аппарата и пускателя тормоза.

Реле размножения контактов подготавливает цепь реле аварийного останова *РОА* (на схеме не показано), включает сигнальную лампу *ЛО1* и размыкает свои контакты в цепи *РПН* (*РПР*).

При разгоне вентилятора включается реле скорости, которое включает реле контроля оборотов (*РКО*), а последнее отключает реле пуска и шунтирует контакт *РВ* в цепи *РП*. После разгона вентилятора контактом моторного реле *РКР-5* включится катушка *ПНО* пускателя открывания направляющего аппарата, и он откроется. Пуск вентилятора закончен.

Останавливается вентилятор кнопкой «Стоп» (*КС*) из машинного зала или параллельно подключенной кнопкой (на схеме не показана) с диспетчерского пункта. При нажатии кнопки включается реле отключения (*РО*), которое размыкает контакты в цепях *РПН* (*РПР*), *РВ* и выключает масляный выключатель. В цепи катушки пускателя направляющего аппарата *ПНЗ* замыкается контакт *В*, и направляющий аппарат закрывается. Катушка *ПНЗ* отключается концевым выключателем *ВКМ* после закрывания направляющего аппарата. Включается пускатель тормоза (*ПЭ*), и вентилятор затормаживается; тормоз будет включен до тех пор, пока скорость вентилятора не снизится, тогда *РСВ* отключит *ПЭ*.

Аварийная остановка вентилятора осуществляется реле аварийной остановки *РОА* (на схеме не показано), которое включает *РО* и отключает двигатель от сети. В цепь *РОА* включены контакты всех аппаратов, осуществляющих защиту вентиляторной установки.

Работает схема при включении вентилятора в реверсивном режиме аналогично рассмотренной, только будут включаться реле *РПР*, *РМР*, так как они выбираются универсальным переключателем *УП-1*.

### 12.3. Автоматизация калориферных установок

Калориферные установки предназначены для подогрева в зимнее время атмосферного воздуха, поступающего в шахту, чтобы предотвратить обмерзание вентиляционного ствола, расстрелов, проводников, подъемных сосудов, канатов. Воздух, проходящий через калорифер, нагревается до 75 °С и затем в вентиляционном канале смешивается с холодным, идущим мимо калорифера. Температура воздушной смеси в устье ствола в соответствии с Правилами безопасности для угольных и сланцевых шахт должна быть не ниже +2 °С, а в целях экономии энергии — не выше +6 °С.

На шахтах Донбасса применяются главным образом вентиляторные калориферные установки, в которых специальный вентилятор засасывает холодный воздух из атмосферы и продувает его через калорифер.

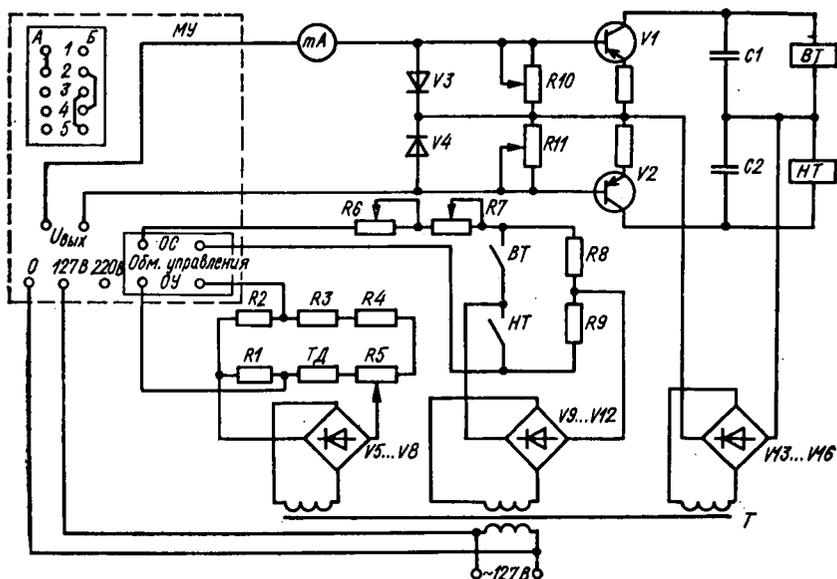


Рис. 12.2. Принципиальная электрическая схема регулятора аппаратуры АКУ-63

На шахтах Кузбасса распространены безвентиляторные калориферные установки, в которых холодный воздух поступает в калориферы за счет общешахтной депрессии.

Безвентиляторные калориферные установки проще, экономичнее и более надежны.

Автоматическая система управления должна обеспечивать: для вентиляторных калориферных установок — автоматическую стабилизацию температуры воздуха в стволе шахты в заданных пределах; автоматическое управление двумя вентиляторами; блокировку, запрещающую включение вентилятора при перекрытом вентиляционном канале; для безвентиляторных калориферных установок — автоматическую стабилизацию температуры воздуха в стволе шахты в заданных пределах; автоматическое закрытие ляд и прекращение подачи холодного воздуха через водяные калориферы при снижении температуры конденсата на их выходе ниже допустимого предела; для калориферных установок любого типа — световую и звуковую сигнализацию (у диспетчера — о нормальной работе или об аварийном состоянии установки; в помещении котельной — о недостаточном давлении пара; контроль температуры в стволе и в помещении калориферной с передачей показаний диспетчеру).

Для автоматизации калориферных установок серийно выпускается аппаратура АКУ-63, которая может применяться для калориферных установок любого типа. Регулируется температура воздуха в стволе шахты для вентиляторных калориферных установок изменением производительности вентиляторов, для безвентиляторных — изменением степени открытия ляды, стоящей на пути подогретого воздуха, с помощью импульсного регулятора, принципиальная схема которого приведена на рис. 12.2.

В качестве элемента, измеряющего температуру воздуха в стволе шахты, используется одна из обмоток трехобмоточного датчика температуры (*ТД*). Обмотка выполнена из медного провода, и с изменением температуры в стволе изменяется ее сопротивление. Так как обмотка включена в измерительный мост, состоящий из резисторов *III*, *Я2*, *Я3*, *Я4*, *Я5*, то с изменением температуры в стволе шахты будет происходить разбаланс моста и на выходной диагонали появится сигнал соответствующей полярности. Этот сигнал поступает на обмотку управления (*ОУ*) магнитного усилителя (*МУ*). С выхода *МУ* сигнал поступает на вход транзистора *VI* или *У2* в зависимости от полярности входного сигнала.

Например, если температура воздуха в стволе шахты выше заданной, будет открываться транзистор *VI* и сработает реле высокой температуры (*ВТ*). Если же температура воздуха в стволе ниже заданной, то сработает реле низкой температуры (*НТ*). Эти реле своими контактами выдают команду на включение привода направляющего аппарата ■ (или ляды) и включают контакты в цепи обмотки обратной связи *ОУ* магнитного усилителя. Здесь применяется отрицательная обратная связь, которая приведет к тому, что сигнал на выходе магнитного усилителя уменьшится до такой величины, что транзистор закроется, а реле обесточится. Реле отключит привод направляющего аппарата (или ляды) и разомкнет контакты в цепи отрицательной обратной связи. Если к этому времени температура в стволе шахты не стала равна заданной, опять произойдет усиление сигнала, поступающего с измерительного моста, снова сработает реле и включит привод направляющего аппарата (или ляды), при этом будет изменяться количество теплого воздуха, подаваемого в ствол шахты. Такое импульсное включение реле будет происходить до тех пор, пока не наступит равновесие измерительного моста, т. е. пока не наступит равенство действительной температуры и заданной.

Работу направляющих аппаратов в автоматическом режиме рассмотрим на схеме рис. 12.3. Включается автоматический выключатель (*АВ*), а универсальный переключатель (*УП*) режима работы ставится в положение *А*. Если температура воздуха в стволе шахты ниже заданной, то сработает реле *НТ*, которое включит реле открывания направляющего аппарата (*РО*). При действующем первом вентиляторе замкнут блок-контакт *КВ1* его пускателя, и при замыкании контакта *РО* включится контактор *К1* пускателя направляющего аппарата, который начнет открываться импульсно, так же как работает реле *НТ*.

2\* Если температура воздуха в стволе шахты достигнет заданной, перестанет включаться реле *НТ* и открываться направляющий аппарат. Если же температура воздуха будет оставаться ниже заданной, то направляющий аппарат первого вентилятора откроется полностью и концевым выключателем *КВ01* отключится привод направляющего аппарата и включится второй вентилятор. После включения второго вентилятора регулятор через реле *НТ* начнет импульсно включать привод направляющего аппарата этого вентилятора контактором *К3*. Теперь регулироваться температура воздуха будет направляющим аппаратом второго вентилятора.

-360 В

Автоматический  
Выключатель

Трансформатор

-В-

Регулятор

Регулятор

РО УП

К01 ПЦ К31\_ урн. —, м  
^И-й

Контакты  
привода  
направляющего  
аппарата  
Вентилятора 1

КВ32 / P3\_ УП

—А

■ ^ЩмР, К02 мК32 уГА  
К4' ..... 1.

■ КВ2 УП

Контакты  
привода  
направляющего  
аппарата  
Вентилятора 2

КВ31 ^P3 УП

^НТ' 1Л

Реле открывания  
направляющего аппарата

з- 'Я-

Реле закрывания

P3

X- ^М-

РА

Реле контроля  
давления пара

€  
€

.ЗКТ1

Реле контроля темпера-  
туры конденсата  
вентилятора 1

ЗКТ2

Рис. 12.3. Принципиальная электрическая схема управления направляющими аппаратами аппаратуры АКВ-вЗ

Если температура воздуха в стволе шахты станет выше заданной, то начнет импульсно включаться реле *ВТ*, которое будет включать свои контакты в цепи реле закрывания направляющих аппаратов (*РЗ*). Реле замыкает свои контакты в цепи контакторов *К2* и *К4* закрывания направляющих аппаратов. Сначала будет закрываться направляющий аппарат второго вентилятора, и, когда он полностью закроется, концевой выключатель *КВ32* отключит контактор *К4* и включит контактор *К2*. Направляющий аппарат первого вентилятора начнет закрываться.

Если давление пара снизится ниже допустимого значения, электроконтактный манометр (*ЭКМ*) замкнет цепь реле давления (*РД*), а последнее включит *РЗ*, которое включит контакторы закрывания направляющих аппаратов. Реле *РА1* и *РА2* контролируют температуру конденсата, и при падении ее ниже допустимой выдают сигнал диспетчеру.

12.4. Автоматизация проветривания  
тупиковых горных выработок  
вентиляторами местного проветривания

Автоматическая система проветривания тупиковой выработки выполняет следующие функции: автоматический непрерывный контроль поступления свежего воздуха в забой выработки; подачу электроэнергии через 5—10 мин после установления нормального режима проветривания выработки; автоматическое отключение электроэнергии с выдержкой времени 1—2 мин при нарушении нормального режима проветривания и невозможность ее включения до устранения этого нарушения; мгновенное отключение электроэнергии при отключении пускателя вентилятора местного проветривания; световую сигнализацию о нормальном и аварийном режимах проветривания забоя.

Для автоматизации проветривания тупиковых выработок Днепропетровским заводом шахтной автоматики выпускается аппаратура АКВ-2П. Аппаратура состоит из мембранного датчика скорости воздушной струи и релейного блока. Датчик имеет контактную систему, связанную с мембраной, прогибающейся под действием скоростного напора при работе вентиляторов в нормальном режиме. Регулируемым винтом можно изменять настройку предела срабатывания на различные скорости движения воздуха.

Релейный блок аппаратуры АКВ-2П (рис. 12.4) содержит стабилизированный трансформатор  $T$ , приемное реле  $K1$ , исполнительное реле  $K2$ , вспомогательное реле  $K3$ ; реле времени, собранное на транзисторах  $V5$  —  $V8$ , конденсаторе  $C3$  и стабилитронах  $V3$ ,  $V4$ .

Во время включения вентилятора, когда скоростной напор воздуха еще недостаточен, контакт датчика разомкнут и реле  $K1$  отключено. При этом все транзисторы заперты, реле  $K2$  и  $K3$  отключены, конденсатор  $C3$  заряжается по цепи: обмотка трансформатора  $T$ , стабилитрон  $V4$ , размыкающие контакты  $K2$  и  $K1$ , резистор  $R2$ , диод  $V2$ , обмотка трансформатора  $T$ , загорается красная лампа  $H2$ .

Когда достигнута установленная скорость воздуха, контакт датчика замыкается и от постоянной составляющей тока срабатывает

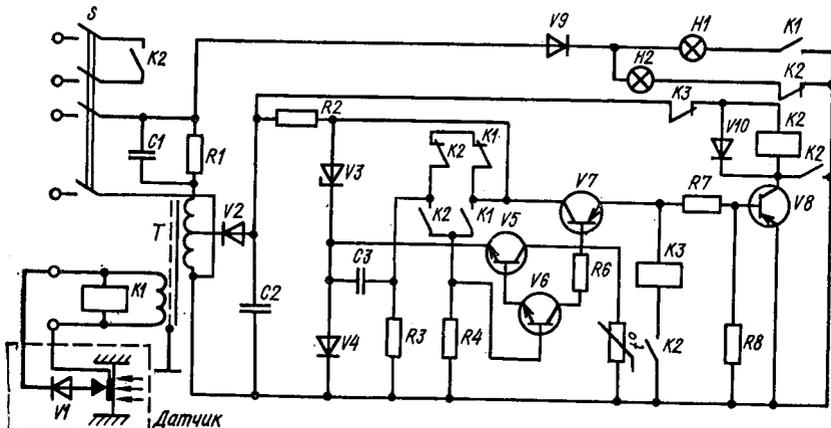


Рис. 12.4. Принципиальная электрическая схема аппаратуры АКВ-2П

реле *K1*, которое своим контактом включает зеленую лампу *H1*, сигнализирующую о рабочем режиме аппарата, а другими контактами переключает конденсатор *C3* на разряд по цепи: стабилитрон *У4*, резисторы *Я3* и *Я4*. Время разряда конденсатора обеспечивает выдержку времени на подачу электроэнергии к забойным механизмам. Через 10 мин на базе транзистора *У6* в результате перезаряда конденсатора *C3* возникнет положительный потенциал, что приведет к открыванию транзисторов *У5* — *У8* и срабатыванию реле *K2*. Реле *K2* замыкает контакты в цепи управления групповым пускателем забойных механизмов, размыкает контакты в цепи красной лампы *H2*, замыкает цепь самоблокировки. Кроме того, реле *K2* замыкает цепь заряда конденсатора *C3*, который, быстро перезарядившись до напряжения на стабилитроне *У3*, закроет транзисторы *У5* — *У8*. В связи с быстрым перезарядом конденсатора и запираанием транзисторов реле *K3* не успевает сработать при срабатывании *K2*.

С уменьшением скорости воздуха ниже установленного уровня размыкается контакт датчика скорости, реле *K1* отпускает свой якорь и гаснет зеленая лампа *H1*. Переключающие контакты реле *K1* разорвут цепь заряда конденсатора *C3*, который начнет разряжаться через резисторы *Я3*, *Я4* и стабилитрон *У4*, создавая выдержку времени. Через 1—2 мин транзисторы *У5* — *У8* открываются и срабатывает реле *K3*, которое своим размыкающим контактом разорвет цепь реле *K2*. Реле *K2* включит красную лампу *H2*, сигнализирующую об отсутствии требуемого напора воздуха, замкнет цепь разряда конденсатора *C3*, в результате чего все транзисторы закроются и схема приобретет исходное состояние.

#### 12.5. Автоматический контроль содержания метана в рудничной атмосфере

При построении САУП совершенно необходима автоматическая подсистема контроля состава рудничной атмосферы, определяющая содержание метана, углекислого газа, оксида углерода, оксида азота, сернистого газа, сероводорода и др.

Разработана и серийно выпускается заводом «Красный металлист» в трех модификациях аппаратура только для автоматического контроля содержания метана в рудничной атмосфере. Комплект АМТ-ЗТ для непрерывного автоматического контроля содержания метана в одной точке (например, в исходящей струе из очистного забоя или из подготовительной выработки) состоит из одного датчика метана ДМТ-ЗТ и аппарата сигнализации АС-ЗТ. Комплект АМТ-ЗУ состоит из трех датчиков метана ДМТ-ЗТ и аппарата сигнализации АС-ЗУ.

Датчики метана устанавливаются в местах контроля содержания метана, а аппараты сигнализации — обычно на распределительных пунктах. При достижении предельно допустимой концентрации метана в контролируемой точке (1,5 или 2 %) аппарат сигнализации автоматически отключает электрическое питание забойного оборудования. Комплект АМТ-ЗИ включает стойку приемников телеизмерения СПТ-ЗИ на шесть каналов телеизмерения, которая устанавливается у диспетчера на поверхности шахты, шесть комплектов АМТ-ЗТ и

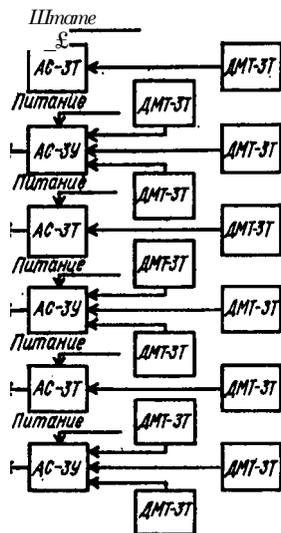


Рис. 12.5. Функциональная схема аппаратуры АМТ-3И

АМТ-3У в любом сочетании. Непрерывная информация о содержании метана передается диспетчеру только от одного датчика из каждых шести комплектов, подключенных к стойке СПТ-3И; информация о достижении предельной концентрации метана — от всех датчиков, входящих во все комплекты.

На рис. 12.5 показана функциональная схема комплекта АМТ-3И и входящих в его состав комплектов АМТ-3Т и АМТ-3У. На рис. 12.6. приведена упрощенная принципиальная схема комплекта АМТ-3Т. Чувствительный элемент датчика метана ДМТ-3Т состоит из рабочего  $R1$  и компенсационного  $R2$  терморезисторов, которые включены в смежные плечи измерительного моста, состоящего из двух резисторных, для которых плечи с терморезисторами общие. Соседними плечами первого моста являются резисторы  $R3$  и  $R4$ , а резистор  $R9$  служит для уравнивания.

Соседние плечи второго моста — резисторы  $R17$  и  $R18$ , а резистор  $R7$  необходим для уравнивания второго.

Терморезисторы представляют собой малогабаритные цилиндрики из оксида алюминия, на которые намотана платиновая проволока, разогревающая терморезисторы при протекании через нее тока до 360—400 °С. Поверхность рабочего терморезистора покрыта тонкой платинопалладиевой пленкой, которая является катализатором и обеспечивает при нагреве беспламенное горение метана на своей поверхности. При отсутствии в контролируемой атмосфере метана оба терморезистора находятся в одинаковых условиях, мост уравновешен. Когда появляется метан, он сгорает на поверхности рабочего терморезистора, температура и активное сопротивление которого повышаются, ток разбалансируется моста, измеряемый милливольтметром  $P1$ , пропорционален содержанию газа.

Терморезисторы размещены в специальном пластмассовом корпусе с окном под двумя теплоотводящими сетками, образующими взрывозащищенную камеру сгорания.

Комплект АJWT-3Т работает следующим образом. Включением выключателя  $S1$  подается питание на стабилизированный блок питания  $БП1$ , блок питания  $БП2$  сирены  $H5$ , выпрямительный мост  $V7 — V10$ , сигнальные лампы  $H3$  и  $H4$ . Напряжение 60 В с зажимов  $X5, X8$  аппарата АС-3Т подается на зажимы  $X1, X2$  датчика ДМТ-3Т (см. рис. 12.6). Загорается сигнальная лампа  $H2$ , указывающая на наличие питания схемы датчика. С блока питания  $БП3$  напряжение переменного тока 12 В подается на выпрямительный мост  $V3 — V6$ , и выпрямленное напряжение поступает на усилители — фазочувствительный УФЧ и на телеметрический УТМ. С других зажимов блока питания  $БП3$  через балластное сопротивление  $R14$  на измерительный мост подается

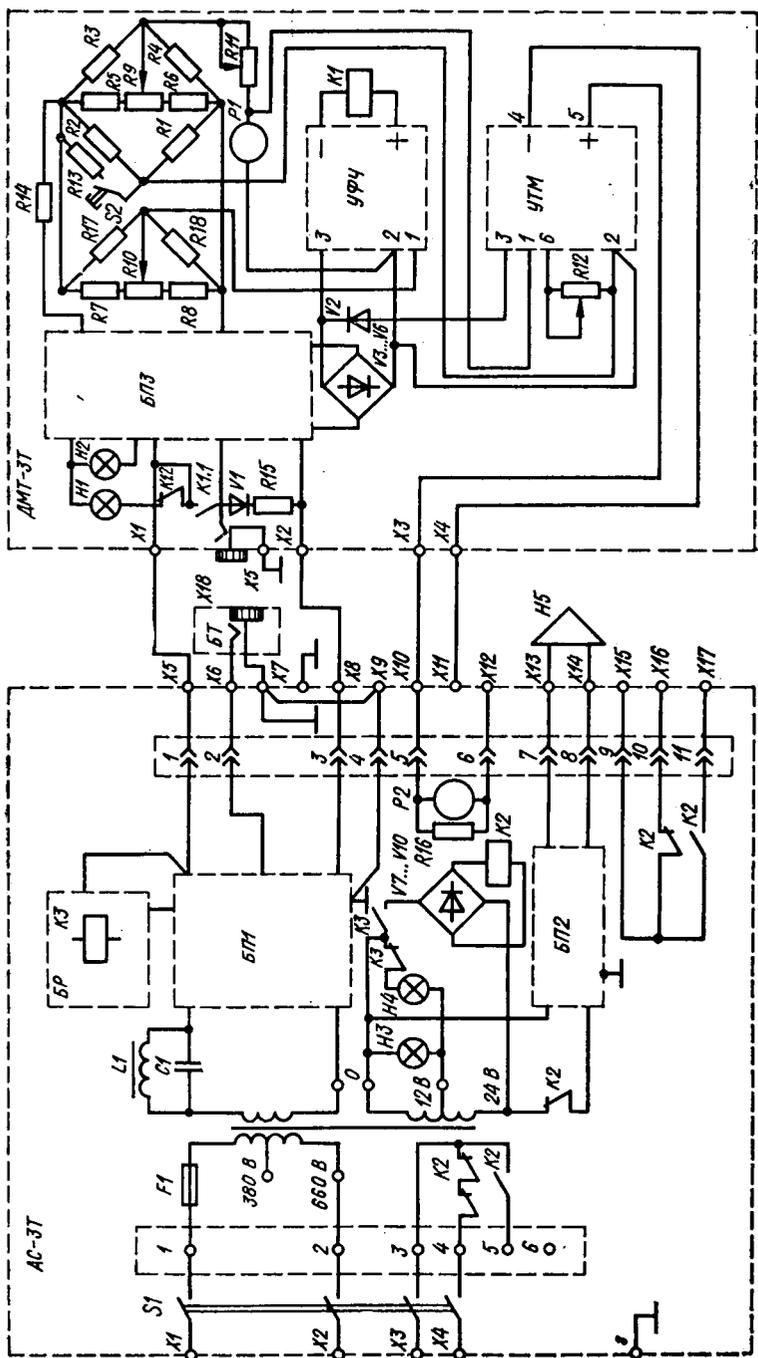


Рис. 12.8. Принципиальная электрическая схема аппаратуры АМТ-3Т

пульсирующее выпрямленное напряжение 2 В (двухполупериодное выпрямление).

Таким образом, на измерительный мост подается постоянная и переменная составляющие тока. Резисторы *Я4*, *Я5*, *Я6* подбираются так, чтобы при отсутствии в контролируемой атмосфере метана мост, в который включен телеметрический усилитель *УМТ*, был бы сбалансирован по постоянному току. Резисторы *Я7*, *Ц8*, *Я17*, *Я18* и уставка резистора *ШО* моста, в который включен фазочувствительный усилитель *УФЧ*, подбираются так, чтобы последний был сбалансирован по переменному току при предельно допустимом содержании метана.

Если содержание метана в атмосфере меньше предельно допустимого, переменная составляющая с диагонали моста подается на вход *УФЧ* (зажимы 1, 2). При этом срабатывает реле *К1*, подключенное к выходу *УФЧ*. Его замыкающий контакт *К1.1* по цепочке 1 — *Я15*—*БП1* подает выпрямленный ток на катушку реле *К3* в релейном блоке *БР*, которое на переменный ток не реагирует. Размыкающий контакт реле *К3* разрывает цепь питания лампы *Н4* аппарата сигнализации, а замыкающий включает реле *К2*, которое своими размыкающими контактами разрывает цепи питания сирены *Н5* и отключающей катушки фидерного автоматического выключателя (зажимы *Х3*, *Х4* аппарата АС-ЗТ), что позволяет включить участковый автоматический выключатель.

Если содержание метана в атмосфере увеличивается, амплитуда переменной составляющей, подаваемой на вход *УФЧ*, уменьшается и становится равной нулю при предельно допустимой концентрации. При этом отключается реле *К1* и своим замыкающим контактом разрывает цепь постоянного тока, питающего реле *К3* в релейном блоке *БР*, которое отключает замыкающим контактом реле *К2*. Это реле замыкающими контактами включает блок питания *БП2* сирены *Н5* и замыкает цепь отключающей катушки фидерного автоматического выключателя (зажимы *Х3*, *Х4* аппарата АС-ЗТ). Включается сирена и снимается напряжение с распределителя контролируемого забоя.

Если концентрация метана продолжает возрастать сверх допустимого предела, то амплитуда переменной составляющей на входе *УФЧ* снова начинает увеличиваться, но теперь эта составляющая оказывается сдвинутой по фазе на 180° по отношению к начальному состоянию. При этом напряжение на выходе *УФЧ* остается равным нулю, реле *К1* отключено.

Непрерывная телеметрическая информация о содержании метана в контролируемой точке поступает в аппарат сигнализации АС-ЗТ с выхода телеметрического усилителя *УТМ*, вход которого присоединен к измерительному мосту параллельно с измерительным прибором *Р1*, указывающим содержание метана в процентах. Передача информации о содержании метана диспетчеру может быть осуществлена телемеханической аппаратурой, подключаемой к зажимам *Х15*, *Х16*, *Х17* аппарата АС-ЗТ. Гнезда *Х5* датчика и *Х18* аппарата сигнализации служат для подключения микротелефонных трубок при телефонной связи между пунктами установки датчика и аппарата сигнализации.

Контролируется исправность релейной части датчика метана нажатием кнопки *Б2*. При этом нарушается равновесие мостовой схемы и реле *К1* отключается.

Связь между датчиком ДМТ-ЗТ и аппаратом сигнализации АС-ЗТ осуществляется по телефонному кабелю, имеющему четыре медных и одну стальную жилы. Аппарат сигнализации АС-ЗТ питается напряжением 380 или 660 В, которое подается кабелем к зажимам *X1, X2*.

Локальные системы автоматизации отдельных подсистем системы проветривания обеспечивают ощутимый технико-экономический эффект. Автоматизация главных вентиляторных установок приносит экономический эффект за счет сокращения обслуживающего персонала, повышения надежности работы установок и повышения оперативности управления при аварийных ситуациях. Автоматизация калориферных установок повышает надежность их работы и, кроме того, уменьшает расход пара, что особенно существенно для северных районов страны. Автоматический контроль параметров рудничной атмосферы и автоматизация вентиляторов местного проветривания и проветривания забоев подготовительных выработок повышает безопасность горных работ, снижает аварийность, что также дает существенный экономический эффект.

### *Контрольные вопросы*

1. Какие задачи решает автоматизация проветривания шахт?
2. Как действует система автоматизации вентиляторной установки УКАВ-2?
3. Как работает система автоматизации калориферной установки?
4. Как действует система автоматизации тупиковых горных выработок?
6. Как осуществляется автоматический контроль содержания метана в рудничной атмосфере?

## Г л а в а 13. ЦИФРОВЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

### 13.1. Основные понятия

Обобщенная структурная схема системы управления (см. рис. 3.1) отражает все возможные в ней связи, включая непрерывные каналы управления и регулирования.

На угольных шахтах и рудниках широко распространены дискретные системы управления, их входные переменные обычно представляют состояния разнообразных дискретных датчиков и органов управления, с которых снимается информация. Состояние исполнительных механизмов (реле, клапанов, переключателей и т. п.) с двумя устойчивыми состояниями соответствует внутренним переменным. Совокупность этих исполнительных механизмов образует своеобразную «память» системы. В системе имеются также датчики, контролирующие состояние исполнительных механизмов. Сигналы с них поступают в цепи обратной связи и определяют ход дальнейших событий в системе. Выходные переменные отражают состояние выходных элементов системы, не способных запоминать приходящие к ним сигналы. К данному классу дискретных систем можно отнести системы управления конвейерным, электровозным транспортом, водоотливом, вентиляторами главного и местного проветривания и др. В таких системах сигналы имеют всего два состояния, эквивалентные двоичным цифрам 0 и 1, поэтому их принято называть цифровыми.

Характерная особенность современных цифровых систем автоматики — высокое насыщение их вычислительными устройствами, интегральными микросхемами малой, средней и большой степени интеграции, развитой логической структурой, многослойный печатный монтаж. Разработка и эксплуатация таких систем требует от специалистов знания как традиционных методов построения цифровых управляющих устройств, так и методов программирования систем, реализованных на БИС ПЛМ или микропроцессорах.

Процесс проектирования сложных цифровых управляющих устройств (УУ) включает следующие этапы:

*составление алгоритма работы УУ* (техническое задание, с которого начинается проектирование, не содержит всей необходимой информации для написания алгоритма функционирования: переход от технического задания к алгоритму функционирования требует целого ряда уточнений);

*блочный синтез* (разрабатывается структурная схема устройства; все устройство разбивается на отдельные функциональные блоки, определяются решаемые каждым блоком задачи, намечается общий план обмена информацией между блоками; уточняются алгоритмы функционирования каждым блоком; если УУ несложные, этап блочного синтеза опускается, а если УУ сложные, то возможно неоднократное возвращение к этому этапу);

*логическое проектирование* (разработка функциональных и принципиальных схем УУ в целом и его блоков); принято логическое проектирование разделять на два подэтапа: абстрактного синтеза, на котором условия функционирования каждого блока записываются на выбранном формальном языке, устанавливаются входные и выходные сигналы, минимальное количество внутренних состояний и объем памяти; структурного синтеза (выбирается тип элементов памяти, получают уравнения, отражающие логическую зависимость выходных переменных от входных, и по этим уравнениям составляется функциональная схема, на которой показано графическое изображение структуры УУ, содержащее условное изображение блоков и элементов структуры, каналы передачи воздействий между ними, входами и выходами).

Техническое проектирование включает разработку основных видов технической документации для изготовления, отладки и испытания опытного образца. На этом этапе компоуются функциональные элементы в различных конструктивных единицах, трассируются печатные платы, составляются монтажные схемы.

В данной главе в основном уделяется внимание логическому проектированию, но при освещении конкретных примеров рассматриваются и первые два этапа.

Любая теория, идеализируя реальный мир, использует модели. При создании дискретных УУ на всех этапах синтеза также приходится иметь дело с различными моделями, которых существует много. Однако базовой моделью для всех остальных является модель конечного автомата, предложенная Клини [2]. Хотя эта модель не учитывает всех свойств реального УУ, ее рассмотрение позволит довольно просто и ясно описать основные свойства УУ, что облегчит анализ других моделей при самостоятельной работе.

Поведение любого дискретного УУ определяется изменением во времени некоторых физических величин на его входе, выходе и внутри самого устройства. Для электрических УУ такими величинами являются потенциалы на входных и выходных полюсах, а также на внутренних точках схемы.

Особенность функционирования дискретных УУ заключается в том, что на оси времени могут быть выделены интервалы, на которых входные, выходные и внутренние переменные сохраняют постоянное значение. Эти интервалы называются тактами работы. Таким образом, в каждый момент автоматного времени (такт) входные, выходные и внутренние переменные имеют вполне определенные значения. Набор входных (выходных) переменных в некоторый момент автоматного времени называют состоянием входа (выхода) УУ или буквой входного (выходного) алфавита.

Входной (выходной) алфавит УУ — совокупность всех возможных входных (выходных) состояний. Набор внутренних переменных в некотором такте называется внутренним состоянием УУ, а совокупность всех внутренних состояний составляет множество внутренних состояний УУ.

Наиболее общая модель устройства управления — абстрактный автомат, который можно задать шестью объектами:

множеством входных состояний (входной алфавит)

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\};$$

множеством выходных состояний (выходной алфавит)

$$Y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_n\};$$

множеством внутренних состояний

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\};$$

функцией переходов  $\delta$ , определяющей зависимость последующего значения внутренней переменной  $a$   $a_{i+1}$  от текущих значений входной переменной  $x$  и внутренней переменной  $a$  ( $i$ );

функцией выходов  $\gamma$ , определяющей зависимость выходной переменной  $y$  от текущих значений входной переменной  $x$  и внутренней переменной  $a$  ( $i$ );

начального состояния автомата  $a_0 \in A$ .

Абстрактный автомат изображается в виде «черного ящика» с одним входом и одним выходом (рис. 13.1).

В каждый момент автоматного времени  $t$  на вход автомата, находящегося в состоянии  $a$  ( $i$ ), поступает буква входного алфавита  $x$  ( $i$ ). В этот же момент на выходе находится буква выходного алфавита  $y$  ( $i$ ). В следующий такте автомат перейдет в новое состояние  $a$  ( $i+1$ ), определяемое функцией переходов.

Различают две модели автоматов: автомат Мили и автомат Мура, которые отличаются друг от друга функциями выходов. Поведение автомата Мили качественно описывается следующими уравнениями:

$$a_{i+1} = \delta(a_i, x_i);$$

$$y_i = \gamma(a_i, x_i);$$

$$A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$$

В автомате Мура функция выхода не зависит от входных переменных, и его уравнения выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned} a_{p+1} &= b[a(I), x(I)]; \\ y &= \%[a(0)]. \end{aligned}$$

Для автомата источники входных сигналов — внешняя среда, и ее состояние воспринимается автоматом через состояние его входов. В моменты смены такта внутренние состояния автомата и состояния его входов должны быть неизменными, т. е. моменты смены состояний внешней среды должны быть согласованы с моментами смены состояний автомата. Когда такт формируется внешним сигналом от специального устройства (генератора), общего как для внешней среды, так и для автомата, автомат называется *синхронным* [2].

Если же такт формируется внешней средой и его длительность определяется временем, в течение которого остается неизменным состояние входа, автомат называется *асинхронным*.

Если такт для внешней среды формируется автоматом, а такт для автомата — внешней средой, автомат называется *согласованным*.

В общем случае источник синхросигналов может рассматриваться как составная часть внешней среды. Тогда в синхронном автомате смена такта наступает каждый раз, когда происходит смена состояния входов автомата, т. е. автомат становится асинхронным. Поэтому любой синхронный автомат можно рассматривать как асинхронный; обратное в общем случае неверно, так как в произвольном асинхронном автомате не всегда можно выделить входные сигналы, формирующие смену такта.

### 13.2. Способы задания автоматов

Задать автомат — значит записать условия его работы на языке, позволяющем выполнять операции по анализу и синтезу, используя формальные правила. Исходные данные — обычно описательная форма задания автомата, которая не является строгим математическим понятием. При создании автомата необходимо выбрать какой-то формальный язык, позволяющий представить соответствия между конечными множествами входных и выходных сигналов, конечными формулами или таблицами.

Чтобы задать алгоритмы функционирования автомата, необходимо задать его функции переходов и выходов. Задать функцию переходов — значит задать определенный переход из внутреннего состояния  $u_i$  во внутреннее  $a_j$  при воздействии входного сигнала  $x_m$ . Задать функцию выходов означает, что каждой паре  $(x_m, u_i)$  соответствует состояние выхода  $g/\Gamma \in U$ .

Языки, позволяющие таким образом задавать функции переходов и выходов, называют *стандартными*. К ним относятся таблицы переходов, матрицы переходов, графы переходов, граф-схемы алгоритмов (ГСА), логические схемы алгоритмов (ЛСА).

Кроме стандартных существуют и другие языки для описания функционирования автоматов. Здесь рассматриваются лишь те, кото-

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
$x_1$	$a_1$	$a_3$	$a_1$	
$x_2$		$a_1$	$a_1$	
$x_3$	$a_4$		$a_2$	$a_4$
$x_4$	$a_2$			$a_1$

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
$x_1$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
$x_2$				
$x_3$	$a_4$			
$x_4$	$a_2$			

ры в общей теории построения автоматов нашли наибольшее применение.

При задании автоматов с помощью таблиц переходов и выходов каждая строка таблицы переходов соответствует определенному состоянию входа автомата, каждый столбец — внутреннему состоянию. На пересечении столбца  $u_i$  и строки  $x_k$  в таблице переходов ставится состояние, в которое автомат переходит из  $u_i$  под действием  $x_k$ . В качестве примера рассмотрим таблицы переходов и выходов абстрактных автоматов Мили и Мура.

Из таблицы переходов автомата Мили (табл. 13.1) видно, что под действием входного сигнала  $x_4$  автомат из состояния  $a_x$  переходит в  $a_2$ , из  $a_4$  в  $a_x$ .

Если в таблице переходов не все клетки заполнены, то такой автомат называется не полностью определенным или частичным. Неиспользуемые состояния в автомате обычно возникают из-за ограничения входных последовательностей.

В таблице выходов строки и столбцы обозначаются так же, как и таблицы переходов, только в клетках на пересечении строк и столбцов записывается выходной сигнал (табл. 13.2).

Таблицы переходов и выходов могут быть совмещены. Тогда в клетке на пересечении строки и столбца записывается номер состояния, в которое переходит автомат, и выходной сигнал, вырабатываемый автоматом (табл. 13.3).

Поскольку в автомате Мура выходной сигнал не зависит от входного, а определяется только внутренним состоянием, то в таблице

Таблица 13.3

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
$x_1$	$a_1$	$a_3$	$a_1$	
$x_2$		$a_1$	$a_1$	
$x_3$	$a_4$		$a_2$	$a_4$
$x_4$	$a_2$			$a_1$

Таблица 13.4

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
$x_1$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
$x_2$				
$x_3$	$a_4$			
$x_4$	$a_2$			

Таблица 13.5

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
$x_1$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
$x_2$				
$x_3$	$a_4$			
$x_4$	$a_2$			

	*1	^2	У*	Ух		У2	У2	У1
	"1	"1	"8	"4	*5	"6	"7.	"»
*1	©		34				"В	©
	«1	0			©			
"3		«3	(5		»«	©		
*4						*7	©	

переходов каждый столбец обозначен соответствующим выходным сигналом (табл. 13.4).

Алгоритм построения таблиц переходов сводится к тому, что ранее фиксируется начальное состояние  $a_u$  затем для каждого входного слова, состоящего из  $\xi$  букв, определяется  $\xi$  внутренних состояний

$\wedge 1. \wedge 2 \gg a \gg \dots \gg$

В автомате Мура каждому внутреннему состоянию ставится в соответствие буква выходного алфавита (выходной сигнал). Например, построить абстрактную таблицу переходов автомата Мура, условия работы которого заданы следующей таблицей соответствия:

$$*1. *2. *3 > *11. *8. *4 - \text{входное слово} \quad \text{Выходное слово} \quad \text{У2} > \text{У3. Уу Уа. У2. У2. У1.}$$

Каждой букве входного слова поставим в соответствие внутреннее состояние и выходной сигнал (табл. 13.5), после чего строим таблицу переходов заданного автомата (табл. 13.6). Из табл. 13.6 видно, что под действием входного сигнала  $x_2$  автомат из состояния  $a_2$  переходит в состояние  $a_2$ . Поскольку входной сигнал продолжает действовать и после перехода (например, сигналы от сработавших датчиков продолжают поступать на вход УУ), то возможен переход автомата под действием входного сигнала  $x_2$  из состояния  $a_2$  в любое другое. Такие переключения могут происходить до тех пор, пока не изменится входной сигнал (т. е. внутреннее состояние  $a_2$  неустойчивое). Чтобы состояния автомата были устойчивые, необходимы доопределения в таблице переходов, которые заключаются в том, что на пересечении строки  $x_2$  со столбцом  $u_2$  записывается состояние  $u_2$ . Доопределения в табл. 13.6 обведены кружком. Под действием входного сигнала  $x_2$  автомат из состояния  $a_x$  переходит в  $a_2$  и под действием того же входного сигнала  $x_2$  — из состояния  $a_2$  в  $a_2$ . Теперь произвольные переходы в таблице переходов исключены. От модели автомата Мура можно перейти к модели автомата Мили, при этом внутренним состояниям на пересечении строки и столбца приписывается соответствующее значение выходного сигнала (табл. 13.7).

Функционирование автомата можно изобразить в виде направленного графа, состоящего из вершин и направленных ребер. Число вершин графа равно числу внутренних состояний автомата.

	$a_1$	$\bullet^*$	$a_4$	$\bullet$	$\bullet^*$	$a_1$	
$*1$	$A$		$Y_{\text{л}}$	$X$		$V$	$Y$
	$V$	$\%$		$Y_{\text{г}}$	$Y_{\text{л}}$		
		$X$	$Y_{\text{г}}$		$Y_{\text{л}}$	$Y_{\text{г}}$	
$x_4$					$Y_{\text{л}}$	$Y_{\text{г}}$	$Y_{\text{л}}$

В автомате Мура каждой вершине приписывается соответствующий выходной сигнал, а ребра обозначаются входными переменными и указывают на направление переходов, осуществляемых в автомате под действием входных переменных.

На рис. 13.2 приведен граф автомата Мура. Граф автомата Мили (рис. 13.3) отличается от графа автомата Мура тем, что его вершины обозначены одной буквой, а ребра двумя, первая из которых обозначает входной сигнал, под действием которого осуществляется переход. Вторая буква обозначает выходной сигнал, который вырабатывает автомат при соответствующем переходе. Петля на графе соответствует устойчивому состоянию по этой переменной. Графическое задание автоматов нагляднее, чем таблицы переходов. Однако при большом количестве внутренних состояний этот способ задания автоматов становится громоздким и теряет свои преимущества.

Методы графов и таблиц переходов удачно дополняют друг друга и совместно обеспечивают достаточную наглядность, компактность и удобство структурного синтеза автомата. Рассмотренные методы задания являются основными при синтезе автоматов с небольшим количеством входных сигналов и внутренних состояний.

При проектировании автоматов удобно пользоваться матричным способом задания. Матрица переходов — математическая копия графа переходов, у которой строки и столбцы обозначены внутренними состояниями автомата. Элементы матрицы, которые находятся на пересе-

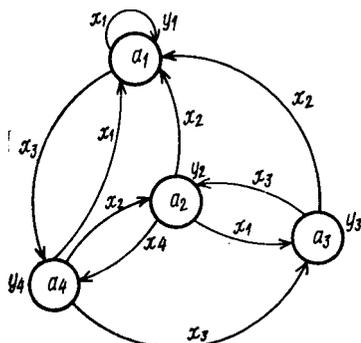


Рис. 13.2. Граф переходов автомата Мура

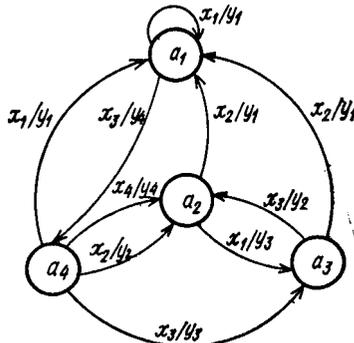


Рис. 13.3. Граф переходов автомата Мили

	*1			*4
л.	X	X	$\frac{Y}{y_x}$	$\frac{V}{y_x}$
а			$\frac{y}{y_k}$	у
		X		$\frac{y}{y_{2x}}$
*4	X	0		

чений строк и столбцов,— множество переходных сигналов, вызывающих переходы автомата из состояния  $u$  в  $a$ , и выходные сигналы, вырабатываемые автоматом на соответствующем переходе. Например, для рассмотренного на рис. 13.2 графа автомата Мура матрица переходов имеет вид, приведенный в табл. 13.8.

Описание процесса функционирования автомата можно изобразить в виде граф — схемы алгоритма. В этом случае каждой вершине графа соответствует некоторый оператор, реализующийся в этой вершине. Оператором может быть

формирование набора управляющих сигналов, вычисление некоторого выражения или другие действия, выполняемые с целью управления объектом.

Соединяющие вершины дуги указывают последовательность выполнения операторов. Для установления начала и конца последовательности выделяется начальный оператор (вершина), в который не входит ни одна дуга, а выходит одна, и конечный оператор (вершина), в который может входить несколько дуг, а выходить не будет ни одна.

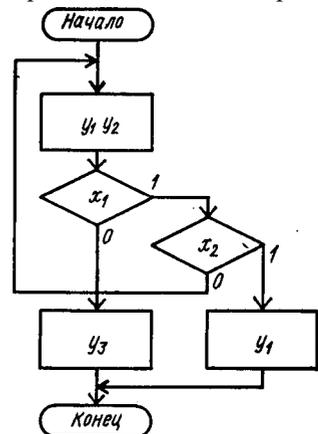
Остальные операторы подразделяются на функциональные [A] и логические [P].

Каждый функциональный оператор имеет единственную выходящую дугу, каждый логический — две выходящие, отмеченные символом 1 и 0.

Если логическое условие выполнено, то следующим выполняется оператор, в который ведет дуга с символом 1; если условие не выполнено, то переход осуществляется по дуге с символом 0. Образец языка ГСА приведен на рис. 13.4. Язык ГСА нашел широкое применение при описании микропрограммных моделей автоматов.

Более компактная форма записи условий работы автомата — логические схемы алгоритмов ЛСА. При этом сохраняются те же операторы, что в ГСА, но запись их производится в строку слева направо в порядке выполнения. Конечный оператор обозначим через букву K.

Порядок выполнения операторов в строке следующий: если выполняется оператор Лг, то следующим за ним идет оператор, стоящий в строке справа от Л\*. Если же выполняется логический оператор P, то дальнейшее выполнение алгоритма зависит от того, соблюдено ли условие, проверяемое этим оператором. Если условие  $P_1$  соблюдено, то следующим выполняется оператор, записанный справа от P, если  $Y^*$  не соблюдено, то следующим выполняется оператор, к которому ведет стрел-



ка от оператора  $P_c$ . Стрелка ставится справа от  $P\{$  вверх острием,, и над ней указывают индекс оператора  $P\}$ , а перед оператором, к которому идет эта стрелка, ставится стрелка вниз острием о темнее индексом.

Рассмотрим следующий пример:

$$A_x \setminus p_x \{ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \end{matrix} \} A_x \mid k.$$

Сначала выполняется оператор  $A_x$ , затем проверяется условие  $P_u$  если оно соблюдено, то следующим выполняется оператор  $P_x$ , если не соблюдено, производится возврат к выполнению  $P_x$ . Если  $P_x$  выполнен, за ним следуют  $L_2$  и оператор  $K$  (конец). В том случае,, если  $P_x$  не выполнен, сразу выполняется оператор  $K$ .

### 13.3. Минимизация числа внутренних I состояний автоматов

Под минимизацией числа внутренних состояний автомата понимается процесс, цель которого — получение автомата, имеющего минимальное число внутренних состояний среди всех автоматов, реализующих заданные условия работы.

Условиями работы автомата принято считать множество последовательностей состояний входа и состояний выхода. Например, заданы две последовательности

$$*1. y_1 \mid *a. y_2 \mid *1. —; \quad УЦ \quad (13.3)$$

$$*1. —; *2. y_2 \mid *1. y_3, y_4 \mid \quad (13.4)$$

Безразличному состоянию выхода (отмеченному тире) может соответствовать любое значение  $\{y_2$  или  $y_3\}$ . Две последовательности непротиворечивы, если в них не содержится ни одной пары  $(x_i, j/j)$ , у которых одному и тому же состоянию входа соответствуют различные состояния выхода. Приведенные выше две последовательности непротиворечивы. Два автомата, реализующие одни и те же заданные условия работы, называются эквивалентными. Одни и те же условия работы могут реализоваться несколькими эквивалентными автоматами, которые могут иметь различное число внутренних состояний. Задача минимизации и состоит в отыскании среди всех эквивалентных автоматов такого, который имеет минимальное число внутренних состояний.

Поскольку количество внутренних состояний автомата определяет количество элементов памяти, процесс минимизации числа внутренних состояний автомата иногда называют *процессом определения минимального числа элементов памяти*. Число элементов памяти автомата определяется по формуле

$$\langle r = ]l_0 \S 5[ \quad (13.5)$$

где  $]B[$  — число внутренних состояний автомата (скобки указывают на то, что округлять нужно в меньшую сторону).

Уменьшение количества внутренних состояний без сокращения элементов памяти в ряде случаев приводит к упрощению структуры автомата.

Минимизацию проводят двумя методами: 1) сначала берется автомат с одним внутренним состоянием, затем увеличивается число его

	*1	v*	**
x1	X		X
	X	$\bar{7}U_b$	X

внутренних состояний до тех пор, пока он не станет реализуемым; 2) сначала берется заведомо реализуемый автомат, затем минимизируется число внутренних состояний.

Наиболее разработан второй метод, когда автомат задан в виде таблицы переходов, реализующей заданный алгоритм работы. Поскольку между любыми двумя стандартными языками существует взаимнооднозначное соответствие,

то мы рассмотрим метод минимизации числа внутренних состояний автоматов, заданных таблицей переходов. Этот метод основан на выявлении и объединении эквивалентных, псевдоэквивалентных и совместимых внутренних состояний.

*Эквивалентными состояниями полностью определенного автомата* называются такие два состояния, которые удовлетворяют следующим условиям: 1) им соответствует одной то же состояние входа автомата; 2) им соответствует одно и то же состояние выхода автомата; 3) любой последовательности состояний входа автомата соответствует одна и та же последовательность его выхода независимо от того, какое из рассматриваемых состояний автомата принято за исходное.

Для недоопределенного автомата кроме понятия эквивалентности состояний введено понятие псевдоэквивалентности.

*Псевдоэквивалентными состояниями потенциального асинхронного автомата* называются такие два устойчивых состояния, которые удовлетворяют следующим условиям: 1) им соответствует одно и то же состояние входа; 2) им соответствует непротиворечивое состояние выхода; 3) любой допустимой последовательности состояний входа автомата соответствуют непротиворечивые последовательности состояний его выхода. Например, в таблице переходов (табл. 13.9) псевдоэквивалентны состояния  $a_x$  и  $a_2$ .

*Совместимыми внутренними состояниями* называются те, которым соответствуют столбцы с непротиворечивым размещением символов состояний, т. е. такие, которые в одной и той же строке отмечены либо одинаковыми символами состояний, либо одинаковыми символами состояний и свободными клетками. Из табл. 13.6 видно, что это не полностью определенный автомат и здесь возможно объединение столбцов и  $a_6, a_9$  и  $a_7, a_2$  и  $a_{11}$  и т. д.

Группа, объединенная в одно состояние, обозначается произвольно выбранной буквой, например 5. Эти условия необходимы, но недостаточны для минимизации. Достаточным условием будет наличие в одноименных строках объединяемых столбцов одинаковых символов  $B_s$ , получаемых вследствие преобразования групп символов состояний  $a^*$ , которые намечены к объединению.

Алгоритм минимизации состояний автомата Мура рассмотрим на примере табл. 13.6. Все символы внутренних состояний  $a^*$  разбиваем на  $K$  групп, количество которых равно числу попарно различных выходных символов  $y$ . В каждую группу вносятся только те символы  $a$  которые отмечены одинаковыми выходными буквами  $y_s$ . Полученные группы символов состояний обозначим произвольно выбранными символами  $S^{\wedge}$

В рассматриваемом при-  
мере групп символов  $u_i$  будет

три:  $a_2, a_4, a_8 - a_2, a_{11},$

Ш  $A_3, A_5 - 5_3.$

Вычерчиваем новую табли-  
цу (13.10) по форме табл. 13.6,  
куда заносим символы вме-  
сто  $u_i$ . Для наглядности со-  
храним и прежние символы  
состояний  $i1$ .

Анализируя табл. 13.10,  
видим, что намеченное ранее  
объединение столбцов и  $a_4$   
не может быть сделано в силу

отсутствия достаточных условий, так как у них в строке  $x_2$  находятся  
символы  $5_1$  и  $5_3$ . Поэтому столбец  $a_4$  исключается из указанной груп-  
пы и ему присваивается новый индекс. По аналогичным причинам из  
группы  $a_2, a_6, a_7$  выделяется столбец  $a_2$ , из группы  $a_3, a_6$  — столб-  
цы  $a_3, a_6$ .

Вторичное переобозначение будет выглядеть следующим образом:  
 $a_1 > \wedge 8 - \wedge 1 > \quad a_6 5_3; a_{11}, a_7 5_4; < 3_4 - 5_5; - 5_6$

В полученной табл. 13.11 уточняем возможности для дальнейшего  
объединения. Строим новую таблицу (табл. 13.12), которая позволяет  
сделать заключение, что число внутренних состояний автомата умень-  
шилось с 8 до 6. Из табл. 13.12 видно также, что дальнейшее объеди-  
нение столбцов невозможно, и эта таблица окончательная.

Автоматы Мили минимизируются также объединением столбцов  
совмещенной таблицы переходов. Необходимое условие для объедине-  
ния — наличие в одних и тех же строках объединяемых столбцов  
одинаковых выходных букв  $y_j$  либо одинаковых выходных букв и  
свободных клеток, либо только свободных клеток. Достаточное усло-  
вие — наличие в одноименных строках объединяемых столбцов одина-  
ковых символов  $5_i$ , полученных при преобразовании групп символов  
состояния  $u_i$  в неминимизированной таблице переходов. Рассмотрим  
пример минимизации автомата Мили на базе табл. 13.7. Из таблицы  
видно, что объединению в один столбец подлежат столбцы  $a_1, a_2, a_3,$   
 $a_7, a_8$ , а в другой —  $a_4, a_5, a_6$ . Таким образом, намечается объединить

	$Ux$	$Uz$	$y_3$	$Ux$	$Uz$	$Uz$	$y_1$	$v_i$
$a_x$	*1	*3	*3	*4	*5	*6	V	a,
		°3	*3		*3	*2		5
*1	V		*1	*1			*1	*1
*1	*2	*2		*3	*3			
*3			*3		*2	*2		
v						*2	*2	

Таблица 13.11

	$Ux$	$Uz$	$U^*$	$Ux$	$Uy$	$Uz$	$Uz$	
	$a_x$	$a_z$	*3	*4	*3	*4	*7	*8
	*1		*3	*5	*4	*4	*4	*4
*1	*1		*5	*5			*5	*1
*2	*2	*2		*6	*6			
*3				*4	4			
*4						*4	*4	

Таблица 13.12

	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_2$	$y_1$	$y_3$
	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$s_4$	$s_5$	$s_6$
$x_1$	$s_1$					
$x_2$	$s_2$	$s_2$			$s_6$	$s_6$
$x_3$		$s_3$	$s_3$	$s_4$	$s_4$	$s_4$
$x_4$				$s_4$		

	•1	»a	*3	*4	В!		a1	В»
		51	51	@a	5a	5a		81
V	V*		V*	M.			X,	X
■		X			X,			
*3			V;			X,		
*4						X	X	

все столбцы в две группы:

$$a_1 > a_3 > a_1 > a_8 \text{ — } *5^{\wedge};$$

$$*4 > *B > *e \text{ — } Na.$$

строим новую таблицу с переобозначенным состоянием при сохранении выходных символов на тех же местах, что и в табл. 13.7. Выполнив указанные операции, получим табл. 13.13.

Анализ табл. 13.13 показывает, что столбцы  $a_x$  и  $a_3$  не могут быть объединены, так как в строке  $x_1$  этих столбцов находятся различные символы состояний и  $5_2$ , что противоречит достаточным условиям. В то же время столбец  $a_3$  может быть объединен со столбцом  $a_4$ .

Вторичное переобозначение состояний выглядит следующим образом:

$$a_{\pm}, *2 > *7 > *8 \text{ — } *1 > a_3, *4 \text{ — } i2' \wedge 5, a_6 \text{ — } 5_8.$$

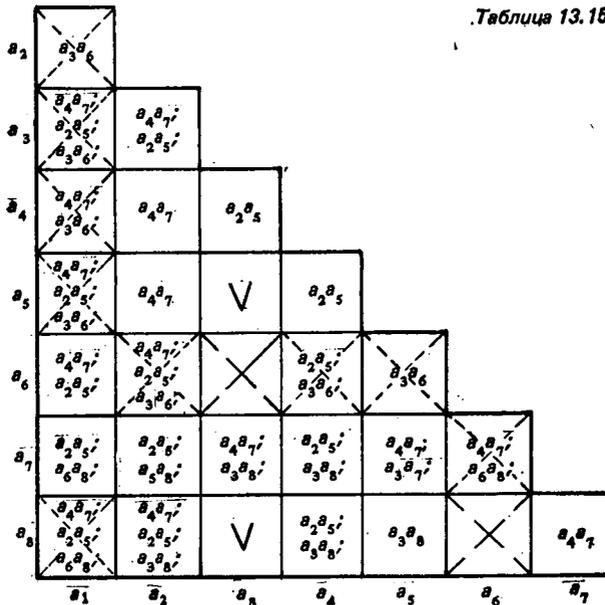
Анализ вторичного преобразования показывает, что на втором шаге выполняются необходимые и достаточные условия объединения столбцов. Объединив их, получим автомат, эквивалентный исходному, число состояний уменьшилось от 8 до 3. Число элементов памяти уменьшилось от 3 до 2. Следует заметить, что задача минимизации числа внутренних состояний, как правило, связана с перебором определенного количества вариантов и выбором из них приемлемого.

Когда эквивалентность или псевдоэквивалентность одних устойчивых состояний определяется через эквивалентность или псевдоэквивалентность других, выявление эквивалентных и совместимых внутренних состояний по таблицам переходов затруднено. В этом случае составляется треугольная таблица, строки и столбцы которой соответствуют внутренним состояниям автомата. На пересечении строки со столбцом ставится знак  $u$ , если обозначающие строку и столбец состояния эквивалентны или псевдоэквивалентны. Если эти состояния неэквивалентны (т. е. имеют противоречивые выходы), то в этой клетке проставляется знак  $x$  (крест). В остальных клетках таблицы указываются все внутренние состояния, которые необходимо объединить, чтобы рассматриваемые внутренние состояния могли быть совместимы.

Пусть автомат задан таблицей переходов (табл. 13.14). Из нее видно, что состояния  $a_8$  и  $a_8$  могут быть объединены в одно; аналогично совместимы состояния  $a_3$  и  $a_6$ , поэтому в клетке на пересечении строк и столбцов, обозначенных этими состояниями, в треугольной таблице

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$
$x_1$	$a_{11}$ $y_0$	$a_1$ $y_0$	$a_1$ —	$a_1$ —	$a_1$ —	$a_1$ —	$a_1$ —	$a_1$ —
$x_2$	$a_7$ —	$a_7$ —	$a_4$ —	$a_4$ $y_0$	$a_4$ —	$a_4$ —	$a_7$ $y_0$	$a_4$ —
$x_3$	$a_2$ —	$a_2$ $y_0$	$a_5$ —	$a_2$ —	$a_5$ $y_0$	$a_5$ —	$a_5$ —	$a_5$ —
$x_4$	$a_6$ —	$a_3$ —	$a_3$ $y_1$	$a_3$ —	$a_3$ —	$a_6$ $y_0$	$a_8$ —	$a_8$ $y_1$

Таблица 13.15



проставляем знак V (табл. 13.15). Состояния  $a_3$  и  $a_6$  несовместимы, поскольку по сигналу  $x_4$  автомат вырабатывает различные выходные сигналы. Поэтому в клетке на пересечении строки и столбца, обозначенных этими состояниями, проставляем знак X. Состояния  $a_4$  и  $a_7$ ,  $a_2$  и  $a_6$  можно объединить при условии, что состояния  $a_4$  и  $a_7$ ,  $a_2$  и  $a_6$  также эквивалентны или псевдоэквивалентны.

После того как треугольная таблица заполнена, в клетках, где записаны несовместимые состояния, проставляется знак X. В рассматриваемой табл. 13.15 этот знак необходимо проставить всюду, где есть пары состояний ( $a_i$  и  $a_j$ ) и ( $a_j$  и  $a_i$ ). После этого выявляются максимальные группы совместимых внутренних состояний, т. е. такие, в которые включены все возможные совместимые между собой состояния. Для этого составляется табл. 13.16, столбцы которой обозначены внутрен-

•*	*1		•4	z	V	•r	1»
V«	•V. •Л ** •Л •А  '*а*А	*3*4 яА •А- •А	*4*5 <sup>1</sup> ; •Л *Л	V» <sup>1</sup>  *5@a	—	V.	—

ними состояниями, а под каждым внутренним состоянием выписываются все пары совместимых состояний, в которые входит рассматриваемое внутреннее состояние. Например, из табл. 13.16 видно, что состояние  $\dot{y}x$  может быть объединено с состоянием  $a_6$ , а состояние  $a_2$  с  $a_8, a_4, a_6, \wedge 7 \wedge 8 \wedge \wedge \blacksquare \text{Д}^*$

Теперь рассмотрим возможность объединения групп в каждой колонке. В колонке  $a_{\dot{u}}$  для объединения двух пар  $a_6, a_7$  и  $a_{\dot{u}}, a_8$  в одну группу необходимо, чтобы все возможные пары внутренних состояний полученной укрупненной группы были совместимы. Для этого нужно обратиться к колонкам, расположенным справа от рассматриваемой. Если там имеются такие группы, объединение пар в одну группу возможно, если нет таких групп, объединение невозможно. Как видно из табл. 13.16, объединение пар  $a_6, a_7$  и  $a_{\dot{u}}, a_8$  возможно, поскольку в колонке  $a_7$  имеется пара  $a_7, a_8$ . Таким образом, пары  $a_5, c$ , и  $a_8, a_8$  могут быть объединены в группу  $a_7, a_7, a_8$ . Используя аналогичные правила, в колонке  $a_4$  сначала получим три группы —  $a_4, a_7, a_7, a_4, a_5, a_6 > a_4 > a_4 > a_6 >$  которые объединяются в одну —  $a_4, a_6, a_7, a_8$ . Окончательные объединения для всех колонок приведены в табл. 13.16. Вычеркнув все те группы, которые входят в другие, получим две максимальные группы  $a_u, a_8$  и  $a_2, a_3, a_4, a_6, a_7, a_8$  совместимых внутренних состояний.

После этого переобозначим каждую группу совместимых состояний буквой, соответствующей одному внутреннему состоянию:

«1»  $a_6 \text{—} \wedge 1 > a_2 > a_6 > a_4 * a_6 > a_7 >$

т. е. получаем автомат с двумя устойчивыми состояниями и строим таблицу переходов (табл. 13.17).

Таблица 13.17

	»1,	
$x_1$	<b>X</b>	*1
		<b>И</b>
*3		<b>K</b>
*4		<b>K</b>

#### 13.4. Кодирование внутренних состояний

Этап кодирования внутренних состояний занимает промежуточное положение между абстрактным и структурным синтезом. Для построения схемы включения элементов памяти и схемы формирования выходных сигналов необходимо знать

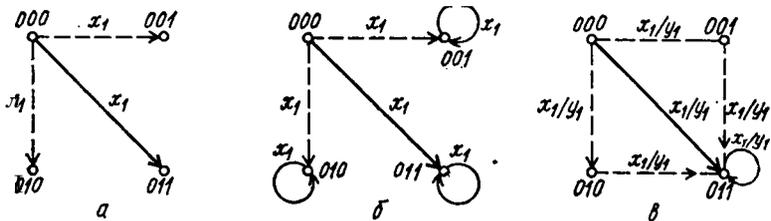


Рис. 13.5. Граф переходов:

*a* — общий; *б* — о критическими состязаниями; *в* — с некритическими состязаниями

какой набор состояний элементов памяти (ЭП) сопоставляется с тем или иным внутренним состоянием. В зависимости от того, как проведено это сопоставление, зависит сложность структуры автомата и его устойчивость в работе.

Процесс сопоставления каждому внутреннему состоянию автомата набора состояний элементов памяти называется *кодированием внутренних состояний*. Наборы двоичных переменных надо сопоставлять также состояниям входа и выхода. Однако во многих практических случаях состояния входа и выхода оказываются закодированными, поскольку они или являются соответственно входными и выходными сигналами других устройств, или их состояние строго определено условиями работы устройства.

При синтезе автоматов определяют одно из основных его свойств — устойчивость по отношению к состязанию элементов памяти. Например, каждому внутреннему состоянию автомата сопоставлен набор состояний ЭП, т. е. каждому внутреннему состоянию соответствует определенная кодовая комбинация. Пусть при произвольном сопоставлении четырем внутренним состояниям приписаны кодовые комбинации 000, 011, 010, 001. Изобразим эти кодовые комбинации в виде векторов (рис. 13.5).

Пусть по условию работы при появлении на входе автомата состояния  $Xx$  он должен перейти из внутреннего состояния 000 во внутреннее состояние 011 (этот переход показан сплошной линией). Кроме того, условиями работы не предусматривается переход автомата из внутреннего состояния 000 в остальные два состояния 001 и 010. Таким образом, при переходе из состояния 000 в состояние 011 в автомате должны сработать второй и третий ЭП. Однако из-за разброса времени срабатывания ЭП может сработать вначале второй или третий ЭП, в результате чего автомат попадает в одно из двух непредусмотренных в этом переходе состояний, которым приписаны кодовые комбинации 010 или 001 соответственно. На рис. 13.5, *a* эти переходы обозначены пунктиром. Аналогичные явления могут произойти и при отпуске ЭП. Принято считать, что в автомате, где внутренние состояния закодированы так, что в заданных условиях работы найдется хотя бы один переход, при котором должны одновременно сработать (переключиться) два и более ЭП, имеются состязания (гонки) элементов памяти.

Состязания ЭП различают критические и некритические. К критическим относятся такие состязания, которые могут исказить алгоритм функционирования автомата (т. е. его функцию переходов и выходов).

На рис. 13.6, б показан пример критических состязаний, так как автомат из состояния 001 и 010 при наличии входного сигнала никуда не должен переходить и из-за состязаний он не сможет перейти в состояние 011, как это предусмотрено условиями работы. В результате функции переходов автомата искажаются.

К некритическим состязаниям ЭП относятся такие, которые не приводят к искажениям ни функций переходов, ни функций выходов. Например, на рис. 13.5, в функция выходов не искажается, т. е. если автомат из-за состязаний ЭП перейдет в состояние 001 или 010, то при том же состоянии входа он из этих состояний перейдет затем в заданное условиями работы состояние 011. Если переходу  $000 \rightarrow 011$  сопоставлено значение выходного сигнала  $y = 1$ , то при некритических состязаниях переходу  $000 \rightarrow 010$  или  $000 \rightarrow 001$  должно быть сопоставлено значение выходного сигнала  $y = 1$ , т. е. при переходе  $000 \rightarrow 010$  или  $000 \rightarrow 001$  на выходе будет всегда 1 и при переходе  $000 \rightarrow 011$  также все время  $y = 1$ . Если же одному из переходов  $000 \rightarrow 010$  или  $000 \rightarrow 001$  сопоставлено значение выходного сигнала  $y = 0$ , то состязания будут критическими, так как при переходе  $000 \rightarrow 001$  или  $000 \rightarrow 010$  возникает кратковременное изменение выходного сигнала с  $y = 1$  на  $y = 0$  или наоборот, а это не предусмотрено таблицей выходов.

Можно заключить, что состязания вообще не возникнут в том автомате, в котором при переходе из одного внутреннего состояния в другое изменяется состояние только одного элемента памяти.

В теории автоматов разработаны методы кодирования внутренних состояний, которые позволяют так приписать кодовые комбинации внутренним состояниям, что в автомате на всех заданных условиях работы переходах не возникают критические состязания ЭП. Кодирование с устранением гонок (состязаний) называется противогоночным. Из рассмотренного ранее примера видно, что исключить состязания ЭП в автомате можно кодированием внутренних состояний соседними числами или числами с кодовым расстоянием  $\leq 1$ .

Однако кодирование смежных состояний соседними числами не всегда возможно. Эти возможности ограничены тем, что из имеющихся в наличии двоичных чисел не всегда удастся подобрать соседние для всех смежных состояний. Например, автомат имеет 6 состояний, в таком случае необходимо три элемента памяти. Кодовых комбинаций в этом случае  $K = 2^3 = 8$ . Из восьми комбинаций невозможно выбрать шесть с соседними кодовыми комбинациями. В таких случаях увеличивают число ЭП или число внутренних состояний автомата, которые закодированы неиспользуемыми кодовыми комбинациями.

Существуют и схемные методы устранения состязаний элементов памяти.

Один из таких методов заключается в тактировании входных сигналов автомата импульсами определенной длительности. Предполагается, что кроме входных каналов  $X_1, X_2, \dots, X_m$  имеется еще один канал  $C$  от генератора синхроимпульсов, по которому поступает сигнал  $C = 1$  в момент прихода импульса и  $C = 0$ , если он отсутствует. Таким образом, входным сигналом при переходе автомата из состояния  $i$  в  $a$  является не  $X_i$ , а  $CX_i^*$ . В таком случае если длительность импульса  $t_a$

меньше самого короткого пути прохождения тактированного сигнала обратной связи по комбинационной схеме, то к моменту перехода в промежуточное состояние сигнал  $C$  равен нулю и, следовательно,  $CX = \blacksquare 0$ , что исключает гонки.

Другой метод ликвидации гонок заключается во введении двойной памяти (рис. 13.6). В данном случае каждый элемент памяти дублируется, причем информация из триггера  $\Gamma_1$  в триггер  $T_2$  передается в момент отсутствия тактируемого импульса ( $C = -6$ ). Сигналы обратной связи для получения функций возбуждения и функций выходов автомата снимаются с  $\Gamma_2$ . Таким образом, состязания могут возникнуть только между триггерами  $\Gamma_1$ , сигналы обратной связи не могут измениться до тех пор, пока  $C = \blacksquare 0$ . Но тогда входной сигнал  $CX$  также равен нулю, а поэтому состязаний быть не может.

С целью повышения надежности дискретных УУ в их структуру вводится избыточность, т. е. дополнительные элементы. Так обеспечивается резервирование. Введение избыточности в автомат зависит от способа его кодирования. Простейшие способы резервирования (поэлементное и общее) требуют по крайней мере удвоения элементов автомата, а следовательно, длина кодовых векторов также удваивается.

Часто задача заключается в том, чтобы построить автомат, который способен нормально функционировать при наличии в схеме определенного заданного числа отказов. Такие автоматы принято называть защищенными от  $n$  — отказов (где  $n = 0, 1, 2, \dots$ ). Такой способ введения избыточности требует определенного способа кодирования входов, выходов и элементов памяти.

Различают два типа отказов элементов автомата: нулевые и единичные. Под нулевыми отказами понимают отказы типа  $1 \rightarrow 0$ , т. е. отказы элементов, приводящие к замене функции выхода с 1 на 0. Аналогично под единичным отказом понимают отказы типа  $0 \rightarrow 1$ . Всякая неисправность любого элемента автомата приводит к искажению соответствующих кодовых векторов и, как следствие, к ложным переходам. Чтобы исключить возможность перехода одного вектора в другой при появлении в схеме  $n$ -отказов, необходимо данные векторы разнести на кодовое расстояние  $\geq n$ . Это, в свою очередь, возможно благодаря введению дополнительных элементов в структуру автомата.

Задача кодирования внутренних состояний может быть рассмотрена как задача размещения состояний на вершинах единичного гиперкуба. Принято считать, что множество вершин гиперкуба является эквидистантным, если расстояние по Хемингу между любыми двумя вершинами этого множества одинаково.

Доказано, что размещение состояний, в котором каждому из них соответствует эквидистантный код, не содержит критических состояний.

Рассмотрим пример: нужно синтезировать автомат, обеспечивающий защиту от одиночных отказов, т. е.  $n = 1$ . Автомат задан

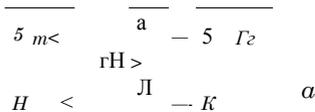


Рис. 18.6. Схема устранения состязаний в автомате с использованием удвоения элементов памяти

Таблица 13.18

	»	$a^*$	$a_3$	$a^*$
$x_2$	$v_1$	» <sub>2</sub>	$a_3$	$v_4$
$x_3$	$v_2$	$a_3$	$H$	$v_1$

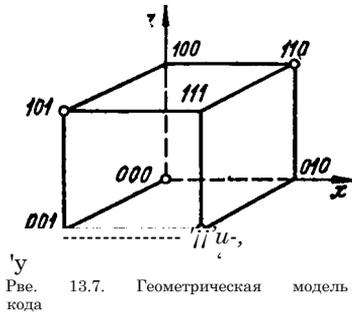


Рис. 13.7. Геометрическая модель кода

таблицей переходов (табл. 13.18). Известно, что кодовое расстояние при обнаружении и исправлении ошибок определяется выражением

$$\langle i = / \cdot + 5 + 1, \tag{13.6}$$

где  $\gamma$  — число обнаруживаемых ошибок; 5 — число исправляемых ошибок.

В рассматриваемом примере  $\delta = 0$ ,  $\varepsilon^* = 1$ , следовательно,  $c1 = 2$ .

Число кодирующих переменных определяется выражением  $K = 2^\circ - 1$ , где  $\langle 3 = ]10\delta_2]B[$ .

Поскольку число состояний заданного автомата  $B = 4$ , то  $\phi = 2$ , а  $K = 3$ .

Для наглядного рассмотрения кодирования эквидистантным кодом представим трехэлементный код в виде гиперкуба, на вершинах которого размещены кодовые комбинации (рис. 13.7). Поскольку  $c1 = 2$  (а каждое ребро  $(1 - 1)$ ), нетрудно выбрать четыре вершины, находящиеся на расстоянии двух ребер друг от друга. Если за начальное состояние принять кодовую комбинацию 000, то остальные три кодовые комбинации будут определены соответствующими кодовыми комбинациями 011, 110, 101 (на рис. 13.7 указаны крупными точками). С учетом принятых кодовых комбинаций строится кодированная таблица переходов.

### 13.5. Структурный синтез устройства управления

При структурном синтезе абстрактный автомат необходимо представить в так называемом каноническом виде (рис. 13.8). В этом случае выделяют внешние структурные входные сигналы  $x_1, \dots, x_m$ , структурные входные сигналы памяти  $\dots, u_k$ , структурное состояние памяти  $\dots, \phi^*$ , внешние структурные выходные сигналы  $y_1, \dots, y_n$ . Структурное состояние памяти характеризует структурное состояние автомата в целом.

Условия включения элементов памяти или функция возбуждения элементов памяти может быть записана в следующем виде:

$$* (0\text{-ПвЮ. *МБ} \tag{03.7}$$

Из этого выражения видно, какой структурный сигнал должен быть подан на вход памяти автомата, находящегося в состоянии  $\langle 3 (l)$ , если в тот же самый момент дискретного времени на внешние входные полюсы поданы сигналы  $x (l)$ .

Нетрудно заметить, что функция возбуждения элементов памяти и функция переходов автомата совпадает, т. е.

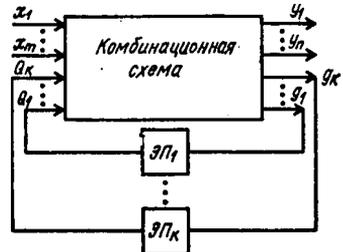


Рис. 13.8. Каноническая модель

$$\langle 3 (l + 1) = 6 [C3 (l), X (l)] = / [C (l), X (l)]. \tag{13.8} \text{устройства управления}$$

Структурный выходной сигнал для автомата Мили можно записать в виде

$$y(0) = MC(0, x) \quad (13.9)$$

а для автомата Мура

$$y(0) = \text{ЧОИ}. \quad (13.10)$$

В обоих случаях выходной сигнал формируется комбинационной схемой автомата. Таким образом, каноническое представление автомата в виде комбинационной схемы и памяти позволяет свести все вопросы синтеза произвольных устройств управления к синтезу автоматов без памяти, т. е. к синтезу комбинационной схемы.

После того как осуществлено кодирование внутренних состояний автомата, для получения уравнений функций возбуждения необходимо построить таблицу возбуждения элементов памяти. Эта таблица получается из абстрактной таблицы переходов путем замены каждого состояния входа комбинациями двоичных переменных  $x_1, \dots, x_m$ , а внутреннего состояния автомата на состояние элементарных автоматов

$\langle 1, \dots, \langle 2^* \rangle$ . Тогда функция возбуждения элементов памяти может быть записана в виде

$$B(\langle 1 \rangle \langle 2^* \rangle \dots \langle x_m \rangle \langle 1 \rangle \langle 0 \rangle \dots \langle \Phi \rangle). \quad (13.11)$$

Составляющая функции выходов автомата Мили записывается как

$$\langle 1 \rangle \langle 2^* \rangle \dots \langle x_m \rangle \langle 2 \rangle \dots \langle \Phi \rangle \quad (13.12)$$

а для автомата Мура

$$y_c(0) = \kappa \langle 0 \rangle \langle 2^* \rangle \dots \text{ад}. \quad (13.13)$$

Прежде чем строить таблицу возбуждения, необходимо выбрать тип элементов памяти. Наиболее часто в качестве элементов памяти в современных схемах устройств управления применяют триггеры, хотя для этих целей могут быть использованы и электромагнитные реле и различные элементы задержки. Наиболее распространены триггеры  $B, T, Я$  — 5, / — 6 типов. Исходя из уравнений этих триггеров (подразд. 3.12) для удобства получения таблицы возбуждения составим таблицу перекодировки структурной таблицы переходов для различных типов элементов памяти (табл. 13.19).

Таблица 13.19

Из таблицы видно, что при использовании в качестве элементов памяти О-триггеров таблица возбуждений элементов памяти совпадает со структурной таблицей переходов.

В случае использования Т-триггеров для получения таблицы возбуждений необходимо каж-

(Такты) Переходы		Типы триггеров					
Г	Г+1	Д	Т	Л	-5	/	-К
0	—0	0	0	«	0	0	*
0	—1	1	1	0	1	1	*
1	~0	0	1	1	0	*	1
1	—1	1	0	0	*	•	0

Таблица 13.20

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
$x_1$	$a_1 / \bar{y}_1$	$a_2 / \bar{y}_1$	$a_3 / \bar{y}_1$	$a_4 / \bar{y}_1$
$x_2$	$a_2 / \bar{y}_1$	$a_3 / \bar{y}_1$	$a_3 / \bar{y}_1$	$a_4 / \bar{y}_2$
$x_3$	$a_2 / \bar{y}_1$	$a_3 / \bar{y}_1$	$a_4 / \bar{y}_1$	$a_1 / y_1$
$x_4$	$a_1 / \bar{y}_4$	$a_1 / \bar{y}_1$	$a_1 / \bar{y}_1$	$a_1 / \bar{y}_1$

дую строку структурной таблицы возбуждений автомата сложить по модулю два ( $mod 2$ ) со строкой структурных состояний, обозначающую столбцы таблицы переходов.

Безразличные состояния входов ЭП, отмеченные знаком (\*), могут быть использованы для упрощения логических уравнений функций возбуждения.

По таблицам возбуждений автомата составляются логические уравнения функций возбуждения элементов памяти. Эти уравнения удобно записывать в совершенной дизъюнктивной нормальной

форме (СДНФ). Обычно конъюнкции СДНФ составляются следующим

образом. Сначала записываются входные сигналы  $x_1, \dots, x_m$  в том порядке, в каком они представлены в таблице возбуждений, а затем —

состояния элементарных автоматов памяти ...,  $\Phi^*$  в порядке записи в таблице. В общем виде число членов конъюнкции равно сумме чисел входных полюсов и элементов памяти автомата.

Рабочие конъюнкции составляются из букв, обозначающих строки и столбцы, на пересечении которых находятся клетки со значением функции, равной единице. Запрещенные конъюнкции составляются из букв, обозначающих строки и столбцы, на пересечении которых находятся клетки со значением составляющей функции, равной нулю. Наличие свободных клеток в таблице возбуждений не полностью определенных автоматов и безразличные состояния входов элементов памяти позволяют упростить уравнения функций возбуждения ЭП с помощью метода минимизации не полностью определенных булевых функций. Для получения уравнения функций выходов необходимо проделать аналогичные операции, используя структурную таблицу выходов.

Для получения уравнений функций возбуждений ЭП в минимизированном виде удобно таблицу возбуждения строить в виде матрицы Карно. Рассмотрим пример. Пусть задан автомат абстрактной совмещенной таблицей переходов (табл. 13.20). Нужно составить уравнения функций возбуждения элементов памяти для О-триггеров. Для реализации такого автомата необходимо два элемента памяти и два входных канала, которые создают четыре различных состояния входа.

Закодируем внутренние состояния автомата, входные и выходные сигналы:

$$a^* = 00; a_2 = 01; a_3 = 11; \text{—} 10;$$

$$x_1 = 00; x_2 = 01; x_3 = 11; x_4 = 10;$$

$$\langle 1 = 0; y_1 = 1.$$

Структурную таблицу переходов (она же и таблица возбуждения для  $\zeta$ -триггеров) можно представить в виде матрицы Карно (табл. 13.21, а). Поскольку элементов памяти два, то для того чтобы более удобно получить функцию возбуждения, отдельно для каждого

-е,

00/ /0	■%	У.	%
%	%	"П	%
%	У	%	
00/ /0	00/ /0	00/ /0	00/ /0

-2,

0	0	1	1
0	1	1	1
0	1	1	0
0	0	0	0

ал.

0	1	1	0
1	1	1	0
1	1	0	0
0	0	0	0

элемента памяти построим отдельные таблицы возбуждения элементов памяти (табл. 13.21, б и 13.21, в).

Уравнение функции возбуждения первого элемента памяти получаем из данных табл. 13.21, в

$$81 = \bar{1} \& 1 \bar{V} \vee Q2^{\wedge} \quad (13.14)$$

а из табл. 13.21, б — функцию возбуждения для второго элемента памяти

$$82 = *2^{\wedge} 2 \bar{V} *!?! \cdot \quad (13.15)$$

Последовательность всех этапов синтеза рассмотрим на примере построения системы управления шахтной водоотливной установкой. Нужно спроектировать систему управления шахтной водоотливной установкой, имеющей три насоса. Алгоритм работы водоотливной установки приведен в гл. 10. На этапе блочного синтеза структуру системы с целью упрощения целесообразно представить в виде трех идентичных блоков управления насосными агрегатами (НА1, НА2, НА3) и общего блока управления. Запускается система либо оператором с пульта управления, либо от датчиков уровня. Структурная схема системы управления водоотливной установкой после такого разделения изображена на рис. 13.9. Поскольку блоки управления насосными агрегатами (НА1, НА2, НА3) одинаковые, то мы рассмотрим синтез одного блока.

Структурная схема блока управления насосного агрегата представлена на рис. 13.10. Устройство управления (УУ) обеспечивает включение и отключение двигателя насоса (ДН), заливочного устройства (ЗУ) и привода задвижки (ПЗ) в зависимости от сигналов, поступающих на его вход от общего блока управления и от датчиков положения задвижки ДПЗ (О — открыто, З — закрыто). Состояние насосного агрегата контролируется датчиком производительности (ДП) и узлом защиты (УЗ), сигналы с которых поступают в общий блок автоматического управления (рис. 13.9).

Блок задержек (БЗ) формирует временные задержки  $t^{\wedge}$  и  $t_2$ , необходимые соответственно для заливки и набора производительности насосом Н.



Рис. 13.9. Структурная схема системы управления шахтной водоотливной установкой



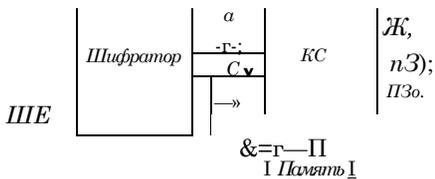


Рис. 13.11. Каноническая модель устройства управления насосным агрегатом

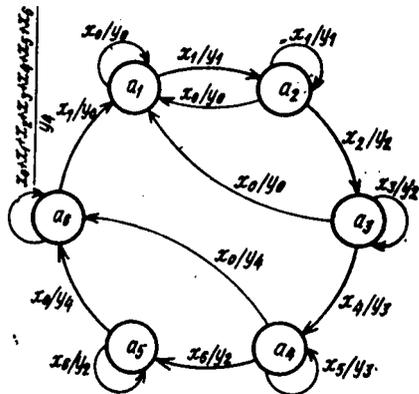


Рис. 13.12. Граф переходов устройства управления насосным агрегатом

Заливка контролируется выдержкой времени  $t_1$  по окончании которой на входе появляется сигнал  $x_2$  и автомат переходит в состояние  $a_3$ , включая двигатель насоса ДН (выходной сигнал  $g_2$ ). После набора производительности (выдержка времени  $t_2$ ) на входе автомата появляется сигнал  $x_4$  и автомат переходит в состояние  $a_4$ . При этом на выходе вырабатывается сигнал  $y_3$ , включающий привод задвижки на открывание.

Окончание открывания задвижки фиксируется датчиком положения задвижки ДПЗ<sub>0</sub>, на входе появляется сигнал  $x_2$ , и автомат переходит в состояние  $a_6$ , которое характеризует нормальную работу насосного агрегата. На выходе вырабатывается выходной сигнал  $y_2$ .

Когда вода в водосборнике достигает нижнего уровня или срабатывает узел защиты УЗ, общий блок управления вырабатывает сигнал «стоп» (на входе появляется сигнал  $x_0$ ) и автомат переходит в состояние  $a_8$ , при котором включается привод задвижки на закрывание (выходной сигнал  $g_4$ ).

По окончании закрытия задвижки на входе УУ появляется сигнал  $x_7$ , и автомат переходит в начальное состояние  $a_0$ , двигатель насоса при этом отключается (на выходе вырабатывается сигнал  $y_0$ ).

Если сигнал «стоп» поступит при состояниях  $a_2$  или  $a_3$ , автомат переходит в состояние  $a_{12}$  т. е. отключает двигатель насоса ДН. В том случае, если задвижка была уже открыта (состояние  $a_4$ ) и поступил сигнал «стоп» ( $x_0$ ), автомат переходит сначала в состояние  $a_7$ , и задвижка начнет закрываться (на выходе появится сигнал  $g_4$ ). После закрытия задвижки автомат переходит в исходное состояние  $a_0$ .

От графа перейдем к совмещенной абстрактной таблице переходов и выходов (табл. 13.24).

Используя понятия эквивалентности, псевдоэквивалентности и совместимости внутренних состоя-

Таблица 13.23

V. Выходной N. сигнал	ЗУ	ДН	"з"	ПЗ <sub>0</sub>
$y_N$				
$y^*$	0	0	0	0
$y_1$	1	0	0	0
$y_2$	0	1	0	0
$y_3$	0	1	1	0
$y_4$	0	0	0	1

X \ A	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>
x <sub>0</sub>	a <sub>1</sub> / y <sub>0</sub>	a <sub>1</sub> / y <sub>0</sub>	a <sub>1</sub> / y <sub>0</sub>	a <sub>2</sub> / y <sub>4</sub>	a <sub>3</sub> / y <sub>4</sub>	a <sub>4</sub> / y <sub>4</sub>
x <sub>1</sub>	a <sub>2</sub> / y <sub>1</sub>	a <sub>2</sub> / y <sub>1</sub>	—	—	—	a <sub>7</sub> / y <sub>4</sub>
x <sub>2</sub>	—	a <sub>3</sub> / y <sub>2</sub>	—	—	—	a <sub>4</sub> / y <sub>4</sub>
x <sub>3</sub>	—	—	a <sub>3</sub> / y <sub>2</sub>	—	—	a <sub>1</sub> / y <sub>4</sub>
x <sub>4</sub>	—	—	a <sub>4</sub> / y <sub>3</sub>	—	—	a <sub>3</sub> / y <sub>4</sub>
x <sub>5</sub>	—	—	—	a <sub>4</sub> / y <sub>3</sub>	—	a <sub>6</sub> / y <sub>4</sub>
x <sub>6</sub>	—	—	—	a <sub>5</sub> / y <sub>2</sub>	a <sub>5</sub> / y <sub>2</sub>	a <sub>6</sub> / y <sub>4</sub>
x <sub>7</sub>	—	—	—	—	—	a <sub>1</sub> / y <sub>0</sub>

	*I		
K			
	/K	y*	/y4
*1	y/		*. 7 7y4
	/	—	/y*
	** /y*	/	*. / /y*
\		—	** 7
	7		7y.
	—	** /y)	/ 7y*
	—	52/ 7 y*	53 /y*
	—	—	H 7 7y°

ний автомата, минимизируем абстрактную таблицу переходов и выходов.

Как видно из табл. 13.24, можно наметить к объединению состояния

$$a_1 a_2 < a_3 \wedge 1 > a_4 > a_5 a_2 > a_6 5_3.$$

С учетом этих обозначений получим табл. 13.25, от которой переходим к минимизированному графу (рис. 13.13, а).

Для определения числа элементов памяти (триггеров) воспользуемся формулой

$$\langle r = \lceil \log_2 B \rceil \quad (13.16)$$

(B — число состояний автомата).

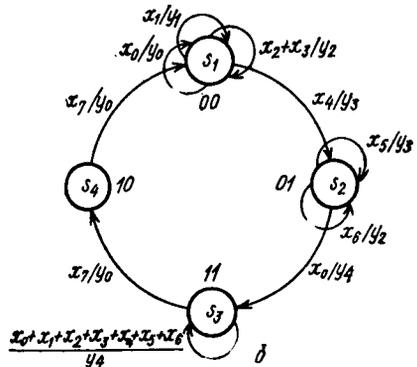
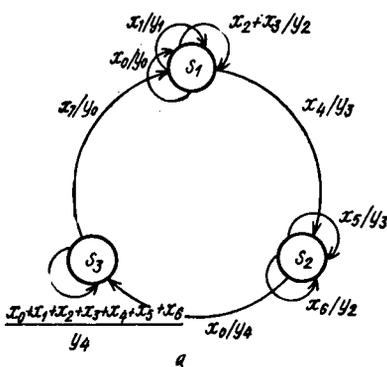


Рис. 13.13. Граф переходов устройства управления насосным агрегатом: а — минимизированный! б — расширенный

В нашем случае

$$\langle 2 = ]_{10_{8a}} 3[ = 2, \quad (13.17)$$

т. е. необходимо не менее двух триггеров.

Поскольку минимизированный граф имеет три состояния, а два элемента памяти — четыре возможных, то с целью упрощения кодирования состояний целесообразно в автомате ввести дополнительное четвертое неустойчивое состояние (рис. 13.13, б).

Данные табл. 13.26 соответствуют графу с дополнительным неустойчивым состоянием (рис. 13.13, б).

Структурный синтез начинается с выбора типа элементов памяти. Как правило, в качестве этих элементов используются *O*, *T*, *I*, *B* и *J*-триггеры.

Для нашего примера возьмем *B*-триггеры, работа которых описывается в табл. 13.19.

Закодируем состояния автомата соседними числами (табл. 13.27), исключая гонки при переключении элементов памяти.

Перейдем от абстрактной таблицы переходов и выходов к структурным таблицам, в которых, расположив строки и столбцы таким образом, как и в картах Карно, получим таблицы переходов и выходов, по которым можно непосредственно минимизировать функции переходов и выходов (табл. 13.27—13.28).

По структурной таблице переходов (табл. 13.27) строим таблицы возбуждения элементов памяти (табл. 13.29) и по ним записываем

Таблица 13.26

$X \backslash S$	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$s_4$
$x_0$	$s_1 / y_0$	$s_2 / y_4$	$s_3 / y_4$	—
$x_1$	$s_1 / y_1$	—	$s_3 / y_4$	—
$x_2$	$s_1 / y_2$	—	$s_3 / y_4$	—
$x_3$	$s_1 / y_2$	—	$s_3 / y_4$	—
$x_4$	$s_2 / y_3$	—	$s_3 / y_4$	—
$x_5$	—	$s_2 / y_3$	$s_3 / y_4$	—
$x_6$	—	$s_2 / y_2$	$s_3 / y_4$	—
$x_7$	—	—	$s_4 / y_0$	$s_1 / y_0$

Таблица 13.27

<i>abc</i>				
	<b>00</b>	<b>01</b>	<b>11</b>	<b>10</b>
<b>000</b>	<b>00</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	—
<b>001</b>	<b>00</b>	—	<b>11</b>	—
<b>010</b>	<b>00</b>	—	<b>11</b>	—
<b>011</b>	<b>00</b>	—	<b>11</b>	—
<b>100</b>	<b>01</b>	—	<b>11</b>	—
<b>101</b>	—	<b>01</b>	<b>11</b>	—
<b>110</b>	—	<b>01</b>		—
<b>111</b>	—	—	<b>10</b>	

Таблица, 13.28

<i>abc</i>	<i>ад</i>			
	<b>001</b>	<b>011</b>	<b>11</b>	<b>110</b>
<b>000</b>	<b>00 оц</b>	<b>0001</b>	<b>0001</b>	—
<b>001</b>	<b>1000</b>	—	<b>0001</b>	—
<b>010</b>	<b>01100</b>	—	<b>000,1</b>	—
<b>011</b>	<b>0100</b>	—	<b>0001</b>	—
<b>100</b>	<b>0,110</b>	—	<b>0001</b>	—
<b>101</b>	—	<b>0110</b>	<b>0001</b>	—
<b>110</b>	—	<b>0100</b>	<b>0001</b>	—
<b>111</b>	—	—	<b>0000</b>	<b>0000</b>

abc	B, A.			
	00	01	11	10
000	0	1	-	-
010	0	-	1	-
110	-	0	1	-
100	0	-	1	-
101	-	0	1	-
111	-	-	1	0
011	0	-	1	-
001	0	-	-	-

$$D1-c_1e_1+e_1B=\wedge D'и_1B$$

abc	QA			
	00	01	11	10
000	0	0	0	-
010	0	-	0	-
110	-	0	0	-
100	0	-	0	-
101	-	0	0	-
111	-	-	0	-
011	0	-	0	-
001	(1	-)	0	0

$$3Y=C,abc$$

уравнения функций возбуждения элементов памяти. При этом безразличные состояния (табл. 13.29), где необходимо, доопределяем единицами. Например, функция возбуждения первого триггера получается из табл. 13.29 применением правила де Моргана:

$$2?! - CxOa \vee C1^a - 0^2 \cdot Qi, a^{\wedge} \quad (13.18)$$

Аналогично получаем функцию возбуждения второго триггера

$$= ab \vee V *3ac = \sigma^* \cdot Q \blacksquare \zeta^a \cdot 0.2^{\wedge} \quad (13.19)$$

По табл. 13.28 составляем карты Карно для каждой функции выходов, по которым получаем окончательные уравнения выходов. Например, уравнение функции включения заливочного устройства (ЗУ) получим из табл. 13.30:

$$3Y = \mathcal{S} ab c. \quad (13.20)$$

Аналогичным образом получаем уравнения для остальных выходных функций

$$O \gg = (?1 a \vee Qlb = (M \cdot CBB, \quad (13.21)$$

$$P3_0 - C^{\wedge}aB - (^{\wedge}aB,$$

$$nз_3 - oГc \vee <3_2^a \vee YI^{ab} = <?1^c \cdot <3^a \cdot Уlob-$$

Если функции переходов и выходов имеют общие конъюнктивные члены, то это необходимо учитывать при синтезе комбинационной схемы для ее упрощения.

Функциональная схема устройства управления насосным агрегатом, реализованная в функционально полном базисе логических эле-

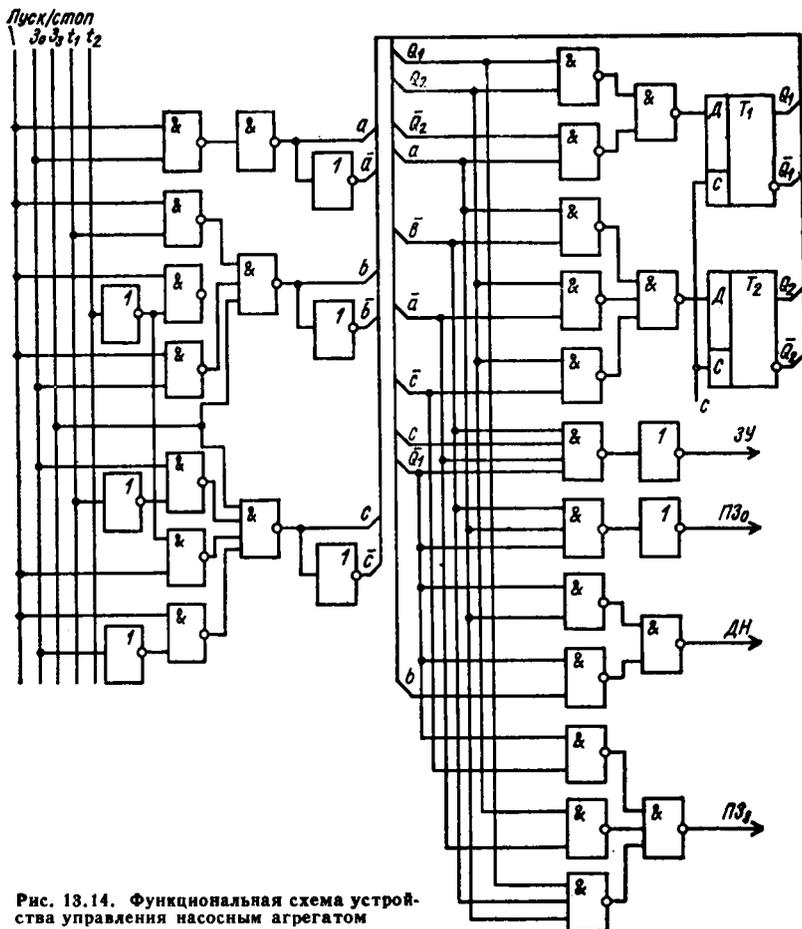


Рис. 13.14. Функциональная схема устройства управления насосным агрегатом

ментов И—НЕ по уравнениям (13.18) — (13.21), приведена на рис. 13.14.

Аналогичным образом может быть синтезирован и общий блок уравнения системы.

### 13.6. Синтез дискретных устройств управления на больших интегральных схемах (БИС)

В начале 50-х годов разработаны методы проектирования комбинационных и последовательных схем. Для их реализации в то время использовались только дискретные компоненты. Современные достижения в области технологии изготовления полупроводниковых приборов позволяют создавать большие интегральные схемы (БИС) со степенью интеграции до нескольких тысяч вентилях на кристалл. Увеличение степени интеграции существенно влияет как на постановку задачи минимизации при проектировании элементов интегральной

Адрес					Содержимое						Адрес					Содержимое						
О	«	в	с?	с?	$\gg$	И	О?	$\frac{m}{c}$	ч	ч	в	«	и	СУ	СУ	$\gg$	И	$\frac{m}{c}$	ПЗз	ч	е?	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1							
0	0	0	1	0								1	0	0	1	0						
0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1
0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	-	-	-	-	-	-	-
0	0	1	0	1							1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1
0	0	1	1	0							1	0	1	1	0							
0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0							
0	1	0	0	1							1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
0	1	0	1	0							1	1	0	1	0							
0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0							
0	1	1	0	1							1	1	1	0	1	-	-	-	-	-	-	-
0	1	1	1	0							1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	0						1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0

технологии, так и на постановку задач синтеза структур сложных устройств управления.

Каноническое представление устройства управления в виде комбинационной схемы и элементов памяти позволяет свести вопросы синтеза только к синтезу комбинационной схемы, т. е. к получению логических уравнений функций возбуждения и функций выходов. Вопросы реализации логических функций с использованием БИС, постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) и программируемой логической матрицы (ПЛМ) рассмотрены в гл. 3, поэтому синтез последовательностных устройств с применением этих БИС рассмотрим на примере реализации функций возбуждения и функций выходов устройства управления насосным агрегатом (см. подразд. 13.5).

Структурная схема УУ, реализованного на базе ПЗУ, изображена на рис. 13.15.

Комбинация сигналов  $a, B, c$ ,  $Y_2$  и  $\langle 3_2$  рассматривается как адрес ПЗУ, а  $DH, 3У, ПЗ_3, ПЗ_0, D_1, D_2$  как выходное слово ПЗУ.

$a$   
7

Матрица „И“

$ч_2$

Матрица „ИМ“

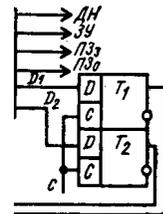
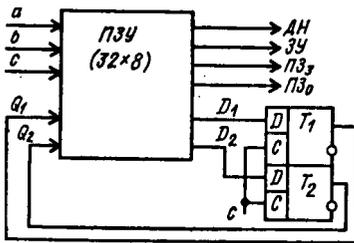


Рис. 13.16. Структурная схема УУ, реализованного на ПЛМ

Программа записи ПЗУ представлена в табл. 13.31, из которой видно, что в левой ее части — полный набор комбинаций входных сигналов, а в правой — соответствующие им **выходные слова**. Функциональная схема цифрового ПЗУ, реализованного на ПЛИС, показана на рис. 13.16. Ц. к. Внешним устройствам

Программируется ПЛИС по уравнениям функций возбуждения и функций ВЫХОДОВ (13.18)— (13.21), полученных на этапе структурного синтеза.

Перед тем как построить УУ насосным агрегатом на микропроцессоре, рассмотрим основы его работы, программирование и связь с внешними устройствами.

Сначала рассмотрим базисную структуру цифровой ЭВМ (рис. 13.17), содержащую запоминающее устройство (ЗУ), арифметико-логические устройства (АЛУ), устройство управления (УУ), устройство ввода-вывода (УВВ), осуществляющее связь с внешними устройствами (телетайп, дисплей, перфоратор и др.). В ЗУ хранятся команды и данные. Информация в нем организована в виде слов. Каждое слово однозначно определяется своим адресом, значение слова представлено двоичным кодом и называется содержимым.

УУ и АЛУ образуют центральный процессор, который выбирает команды и данные из ЗУ или отправляет их в ЗУ, задавая конкретный адрес и вырабатывая управляющий сигнал чтения (запись). После этого главная задача центрального процессора — дешифрация выбранной из памяти команды, проведение вычислений или выработка управляющих сигналов на внешние устройства, определяемых этой командой. Когда благодаря достижениям технологии производства БИС удалось УУ и АЛУ разместить в одном или нескольких кристаллах, получившиеся БИС стали называть микропроцессорами (МП).

С появлением МП изменились как методы синтеза дискретных УУ, так и сфера применения вычислительных средств. Функциональные особенности УУ обеспечиваются не логическим методом проектирования, а программированием набора функциональных модулей (отдельных БИС) на выполнение требуемых функций. Вместо аппаратных узлов из отдельных микросхем проектировщик должен использовать программные операции маскирования, сравнения, переходов, а вместо линий задержки и выдержек времени — программные циклы.

МП может быть реализован на базе одной или нескольких БИС. Однокристалльные МП имеют упрощенную архитектуру, фиксированный набор команд, ограниченный по количеству линий связи интерфейс. Такие МП применяются при создании самых различных УУ.

Многокристалльный или секционированный МП отличается развитым программным обеспечением, позволяет наращивать обрабатываемые слова и предназначен для традиционных сфер применения вычислительной техники и создания высокопроизводительных супер-ЭВМ. Отечественной промышленностью налажен серийный выпуск микропроцессорных БИС с широким диапазоном вычислительных возможностей. МП серий К536 и К581 относятся к узкоспециализированным и используются для построения конкретных моделей микро-ЭВМ.

МП серий К580 и К584 предназначены для построения самых различных УУ и микро-ЭВМ с фиксированной разрядностью данных; а МП серии К589 — для построения вычислительных машин с неограниченной разрядностью. Серии К587 и К588 используются для построения вычислительных средств с малым потреблением энергии и высокой помехоустойчивостью.

Функции, реализуемые МП, определяются не столько его структурой, сколько последовательностью команд, поступающих из ЗУ на входы МП. При изменении этой последовательности изменяется и функция, выполняемая МП. Поэтому в процессе разработки УУ необходимо учитывать не только структуру МП, но и возможности программной реализации функций. Для такой комплексной характеристики МП введено понятие архитектуры микропроцессора.

Архитектура МП — это его логическая организация, определяемая возможностями МП по аппаратной и программной реализации функций, необходимых для построения УУ или микро-ЭВМ, отражает его структуру, способы обращения ко всем доступным пользователю элементам, способы представления и форматы команд, виды адресации, форматы управляющих слов, реакцию МП на внешние сигналы.

Зная архитектуру МП и систему команд, можно составить программу, которая обеспечивает выполнение устройством управления данных функций. При МП реализации удобно использовать для задания условий работы УУ язык граф-схем алгоритмов (ГСА). В качестве примера рассмотрим архитектуру и систему команд однокристалльного микропроцессора серии К580.

Этот МП представляет собой параллельный восьмиразрядный центральный процессорный элемент, на одном кристалле которого размещены АЛУ, УУ, устройства внутренней синхронизации, обмена информацией микропроцессора с внешним устройством (ВУ) или памятью, буферные регистры данных (БРД) и адреса (БРА), внутренние шины данных и адреса, мультиплексоры и др.

Таким образом, МП — это сложное устройство, закон функционирования которого уже известен и изменению не подлежит. Поэтому структурную схему МП целесообразно представить в виде узлов, программно доступных для пользователя. Такая схема показана на рис. 13.18.

Рассмотрим назначение основных узлов МП. АЛУ предназначено для выполнения арифметических и логических операций по обработке информации. А — аккумулятор, восьмиразрядный реверсивный сдвиговый регистр, предназначен для хранения результатов операций, выполняемых в АЛУ. Наличие аккумулятора позволяет не указывать в команде адрес одного из операндов и результата операции, который всегда остается в аккумуляторе. РОН — регистры общего назначения. Всего их восемь. Программно доступных для пользователя шесть 8-разрядных регистров общего назначения — В, С, Д, Е, Н, \*Б и 2 специализированных 16-разрядных. УС — указатель стека и СК — счетчик команд. Назначение и принцип действия УС и СК рассмотрим позже.

Регистры общего назначения В, С, Д, Е, Н, Б используются как сверхоперативная память микропроцессора и предназначены для вре-

Регистр признака <i>o</i>				Аккумулятор			
CC'	z	P	*	B <sub>7</sub>	ЩИ <sub>4</sub> n <sub>3</sub>	Я	Во

Арифметико-логическое устройство



**K**  
Устройство управления

Регистр команд

**o**  
команды **штор** — формир.  
роботель машинного цикла

!\*  
& ^  
I 4

**M**

IV'	z
B	C
B	E
n	£
Указатель стека	
Счетчик команд	
Буферный регистр адреса	

Адрес (16)  
Управление

Рис. 18.18. Структурная схема микропроцессора

менного хранения промежуточных результатов или операндов (операнд — число, с которым производятся действия). Обращение к РОН — адресное. **СУР** — схема управления регистрами, которая осуществляет выбор РОН и совместно с сигналами внутренней шины управления задает режим работы: запись, чтение или хранение информации. РК — регистр команд, служит для приема команд. ДШК — дешифратор команды. ФМЦ — формирователь машинного цикла, режим работы которого зависит от типа поступающей команды в ДШК. РП — регистр признаков, предназначен для хранения и анализа признаков результата операции и служебных признаков. РП содержит пять триггеров: переноса из седьмого разряда аккумулятора; вспомогательного переноса из 3-го разряда аккумулятора; нулевого результата; знака; четности. ИД — схема инкремент-декремент, служит для увеличения или уменьшения на единицу кода адреса, поступающего на вход. Наличие ИД позволяет уменьшить время формирования адреса следующей команды. **M** — мультиплексор, предназначен для коммутирования входов и выходов РОН на шину данных. БРД — буферный регистр данных, служит для логического и электрического разделения внутренней и внешней шины данных. Буфер состоит из регистра и выходной схемы с тремя состояниями (рис. 13.19).

Принцип действия такой схемы можно пояснить с помощью переключателя **K**, имеющего три положения (рис. 13.19, *a*). В положении **1** переключатель соединен с плюсом источника питания и на проводе шины (в точке **A**, например) относительно «земли» установлен высокий потенциал (условно примем за 1). В положении **3** провод шины заземлен и на нем установлен низкий потенциал (условно 0). В положении **2** провод шины имеет большое сопротивление (высокоимпедансное состояние) как относительно плюса источника питания, так относительно земли (условное обозначение состояния бесконечно большого сопротивления — знак oo, рис. 13.19, *b*).

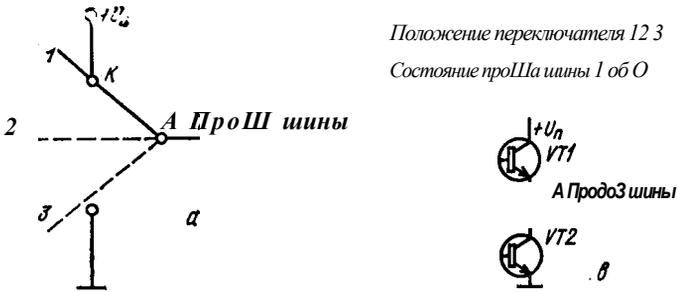


Рис. 13.19. Функциональная схема реализации шины с тремя состояниями: а — с помощью переключателя; б — таблица состояний; в — функциональная схема

Функциональная схема, реализующая такой ключ, может иметь вид, приведенный на рис. 13.19, в. Когда сигнал подается на вход  $X_1$ , открывается транзистор  $VT1$  и в точке  $A$  устанавливается потенциал  $+U_a$ , при подаче сигнала на вход  $X_2$  открывается транзистор  $VT2$  и точка  $A$  условно заземляется. Если же оба транзистора  $VT1$  и  $VT2$  закрыты, провод шины находится в высокоимпедансном состоянии относительно «земли». В МП каждый провод шины адреса и данных имеет такую схему с тремя состояниями т. е. 16 схем на шине адреса и 8 на шине данных. Как правило, МП с внешними устройствами  $ВУ$  связан общими шинами. В случае необходимости обмена информацией между  $ВУ$  без участия МП последний переводит свои выходы в высокоимпедансное состояние и не препятствует операции обмена. **БРА**, буферный регистр адреса, играет ту же роль для шин адреса, что и **БРД** для шин данных. **СК**, счетчик команд,— 16-разрядный регистр, предназначенный для хранения адреса команды. **УС**, указатель стека,— 16-разрядный регистр, в котором хранится адрес первой ячейки магазинной (стековой) памяти (стек от английского слова stack — магазин).

Принцип работы со стековой памятью упрощенно можно пояснить следующим образом: запись слов в стековую память производится последовательно друг за другом, а чтение идет в обратном порядке — то слово, которое было записано последним, будет прочитано первым. В **УС** находится только адрес первой ячейки стека. Поэтому при работе со стековой памятью не нужно в кодах команд указывать адрес всех ячеек памяти стека. Это позволяет сократить разрядность команд и время их выполнения. Обычно стек используется при работе с подпрограммами. В данном случае содержимое аккумулятора и **РОН** отправляется в стек, а после окончания подпрограммы восстанавливается. В рассматриваемом МП в качестве стековой памяти используется область оперативной памяти (ОЗУ).

Чтобы рассмотреть принцип работы **МП**, удобно раскрыть структуру внешней шины управления и проанализировать сигналы, поступающие в **МП**, которые он вырабатывает (рис. 13.20).

Электрические сигналы на шине адреса (ША) появляются одновременно в виде комбинации 16-разрядных двоичных чисел. Всего таких возможных комбинаций  $2^{16}$  — 65536.

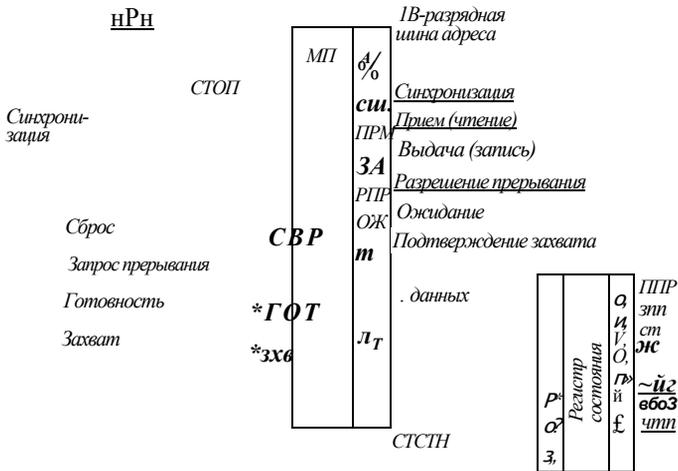


Рис. 13.20. Функциональная схема микропроцессора с регистром состояния

На шине данных (ШД) сигналы также появляются одновременно в виде комбинаций восьмиразрядного двоичного кода. Сигналы (**ПРМ**, **ВД**, **СИНХ**, **ППР**, **ОЖ**, **ПЗВХ**) на шине управления синхронизированы с работой **МП**, а другие (**ЗПР**, **ГОТ**, **ЗХВ**, **СБР**) поступают от внешних устройств в любой момент времени.

Характер сигналов на шинах адреса и данных полностью определяется программой работы системы, которая хранится в памяти, а сигналы на шине управления формируются аппаратными средствами системы. Таким образом, для ее нормального функционирования необходимо правильно организовать как программные, так и аппаратные средства.

Исходя из структуры ША **МП** может выставлять на ША 65536 шестнадцатиразрядных двоичных адресных кодовых комбинаций (адресных векторов). Если учесть, что в системе имеются устройства, которые работают только на ввод (например, датчики), а другие только на вывод (исполнительные механизмы), то, используя сигналы «Ввод», «Вывод» регистра состояния **МП** может адресоваться к  $2^8 = 256$  устройствам ввода и 256 устройствам вывода. В **МП** K580 при работе с внешними устройствами (**ВУ**) на шинах адреса  $A_0 - A_7$  выставляется адрес **ВУ**, а на  $A_8 - A_{15}$  этот адрес повторяется.

Работа **МП** разделена на такты, максимальная тактовая частота 2 МГц, т. е. минимальная длительность такта 0,5 мкс. Для выполнения команды требуется 1—5 машинных циклов (МЦ). Каждый из них содержит 3—5 тактов. Тактирование осуществляется двухфазным напряжением  $\Phi_1, \Phi_2$  с амплитудой 12 В (рис. 13.21).

Рассмотрим основной машинный цикл работы **МП**. Во время такта  $T_1$  **МП** выставляет на шине адреса код адреса очередной команды (адрес ячейки памяти или адрес внешнего устройства), на шине данных появляется информация о состоянии **МП** и в этом же такте  $T_x$  **МП** вырабатывает сигнал синхронизации **СИНХ** на внешней шине управления.

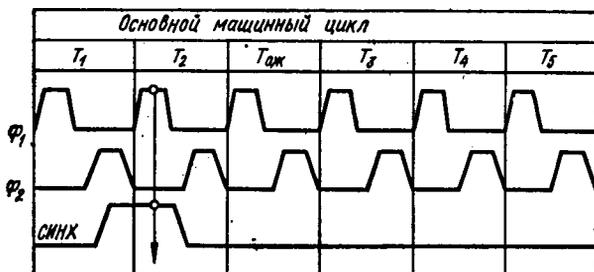


Рис. 13. 21. График временного анализа работы микропроцессора

В такте  $T_2$  МП по сигналам  $\Phi_2$  и *СИНХ* загружает слово состояния МП в регистр состояния РС и переводит шины данных в режим приема информации, информируя об этом внешние устройства и память сигналом *ПРМ*. Одновременно в этом же такте происходит анализ внешних сигналов готовности (*ГОТ*), внешних устройств или памяти для работы с МП, сигналов захвата шин (*ЗХВ*), схема ИД изменяет содержимое счетчика команд *СК*, формируется адрес следующей команды. Если внешние устройства готовы к работе, т. е. на входе *ГОТ* присутствует логическая единица, МП переходит к такту  $T_8$ . В такте  $T_8$  на шине данных МП появляется информация, выбранная из ячейки памяти или внешнего устройства, адрес которого указан на шине адреса, или информация, которая будет записана по указанному адресу, в зависимости от того, что должен выполнять МП — прием или выдачу информации.

Если внешние устройства не готовы к работе с МП, т. е. сигнал *ГОТ* равен нулю, МП переходит в такт ожидания *ТОЖ*, который длится до тех пор, пока не появится единичный сигнал на входе *ГОТ*. Этим сигналом обеспечивается асинхронность работы МП и внешних устройств, а также согласованность работы узлов системы с различным быстродействием. Такты  $T^{\wedge}$  и  $T_b$  необходимы для выполнения команды.

Простые команды выполняются в течение одного машинного цикла за 4 такта, сложные — за 5 машинных циклов. Таким образом, минимальное время выполнения одной команды 2 мкс, максимальное — 9 мкс.

В конце последнего машинного цикла каждой команды МП анализирует вход запроса прерывания (*ЗПР*), если запрос есть, то МП входит в специальный цикл *М1*, во время которого содержимое *СК* не изменяется и формируется сигнал подтверждения прерывания.

Команды МП содержат от одного до трех байтов. При этом первый байт всегда заносится в регистр команд (РК), а второй и третий в регистры  $У?$  —  $1$  соответственно.

С целью расширения функциональных возможностей систем управления, реализованных на МП, используется специальный прием мультиплексирования шины данных и представления внутреннего состояния МП на внешнем регистре состояния (рис. 13.20). МП в такте  $T_x$  каждого машинного цикла генерирует на шине данных слово состояния, информирующее систему о процессах, происходящих в МП. Слово состояния по сигналу *СИНХ* и  $\Phi_2$  заносится в регистр состояния.

	Информация о состоянии микропроцессора	Выборка команды	Чтение из памяти	Запись в память	Чтение из стека	Запись в стек *	Чтение из внешнего устройства	Запись во внешнее устройство	Разрешение пребывания	Разрешение останова.	Разрешение прерывания во время останова
		1	2	3	4	Б	в	7	8	9	10
я	ПНР	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
л	зп	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	ст	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
А	по	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
*4:	Вывод'	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
я,	М1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
Ч		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
а7.	ЧТП	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0

Сигналы на выходе 8-разрядного регистра состояния используются в качестве сигналов управления внешними устройствами системы. Всего в МП серии K580 десять таких слов состояния (табл. 13.32). Каждый разряд слова состояния несет информацию о том, что будет делать МП в данном машинном цикле. Таким образом, МП управляет всеми узлами микропроцессорной системы, используя сигналы шины управления, генерацию слова состояния, а также систему команд.

В процессе управления объектом МП все время обменивается информацией с памятью и внешними устройствами, выполняя при этом пять основных операций — пересылку информации: из МП в память; из памяти в МП; из МП во ВУ; из ВУ в МП; а также информации внутри МП.

В МП-системе выполняются и другие операции, которые рассматриваются ниже. Во всех этих пересылках участвуют как аппаратные, так и программные средства.

Сначала рассмотрим, как могут быть организованы пересылки с помощью аппаратных средств.

Самая простая МП-система организует пересылки между МП, памятью и внешними устройствами с помощью только двух сигналов «чтение» и «запись», вырабатываемых МП (рис. 13.22). В этом случае младшие разряды шины адреса

Адрес  
Чтение

ит

Запись  
Манные

(например,  $A_0$ — $A_1$ ) отводятся для адресации К памяти, а  $A_2$ — $A_3$  для адресации к внешним устройствам. Рис. 13.22. Функциональная схема организации пересылки между МП, памятью и внешними устройствами

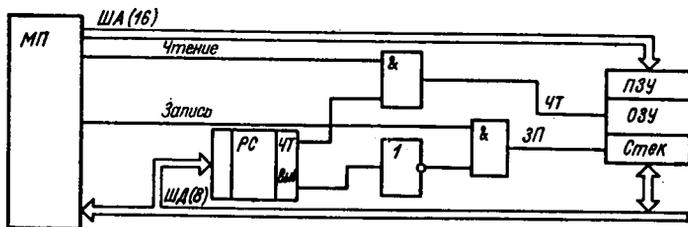
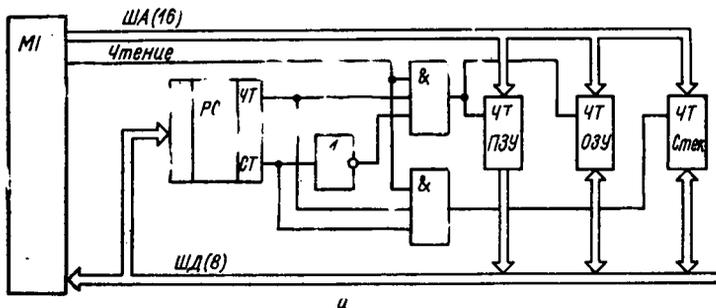


Рис. 13.23. Функциональная схема организации пересылок между памятью и МП с использованием сигналов регистра состояний



и

МП  
ША(16)  
Чтение  
Запись

И PC\em

ШД(8)

ад

I-

ЗП  
ОЗУ

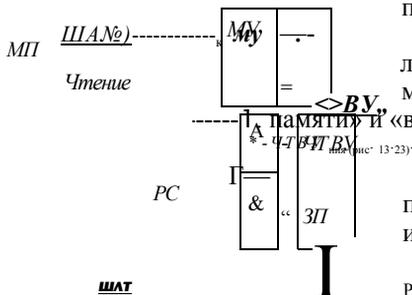
Iz.  
зп  
Стен  
7Г

Рис. 13.24. Функциональная схема организации пересылок между памятью и МП, когда стек находится вне ОЗУ:

а — из памяти в МП; б — из МП в память

для адресации к внешним устройствам. Следует помнить, что в этом случае для работы с внешними устройствами используются команды пересылок между памятью и МП. Если МП-система имеет стек в ОЗУ,

пересылки между МП и памятью организуются с использованием сигналов «чтение» и «запись», вырабатываемых в МП, а также сигналов «чтение памяти» и «вывод» с регистра состоя-



ША(16)

Если стек находится вне ОЗУ, то пересылки между памятью и МП производятся под действием сигналов

Рис. 13.26. Функциональная схема организации пересылок между МП и внешними устройствами

«чтение» и «запись», вырабатываемых МП, и сигналов «чтение памяти», стек и вывод с регистра состояния (рис. 13.24). Особенность такой системы в том, что емкость стека может быть равна 65 К.

Пересылки между МП и внешними устройствами осуществляются под действием сигналов «чтение» и «запись», вырабатываемых МП, и сигналов «ввод», «вывод» с регистра состояния (рис. 13.25).

### 13.7. Система команд микропроцессора серии K580

Программа состоит из последовательности команд, которые хранятся в памяти и выбираются для исполнения по мере необходимости. Информация в памяти может храниться только в двоичной системе счисления. Следовательно, команды должны быть представлены двоичным кодом. Подобная форма написания программы называется машинным языком. Использование такого языка всегда сопряжено с наличием ошибок, которые впоследствии трудно отыскивать.

С целью упрощения написания программ используются символические языки программирования, которые представляют команды и адреса при помощи алфавитно-цифровых символов. Принятые символы имеют мнемонический смысл, что облегчает их запоминание.

Для перевода (транслирования) программы, записанной с использованием символов, на машинный язык применяют специальную программу, которая называется **ассемблером**.

При рассмотрении системы команда МП серии K580 мы будем использовать как машинный язык, так и их символическое обозначение. Команды сгруппированы в соответствии с функциональным назначением. По этому признаку выделяют пять групп команд: пересылки информации; арифметические операции; логические операции; ветвления; управления.

Наименьшая единица информации, к которой может адресоваться МП, называется адресуемой единицей и представляет собой 8-разрядный байт. Форматы команд МП серии K580 показаны на рис. 13.26.

Формат			Команды
Однobaйтная команда			Регистровые, арифметические, логические сдвиги, операции со стеком, управление прерыванием, обмена информацией с памятью
o?	He B; Л#	Ro	
Код Адрес Адрес Операции получателя источника			
Двухбайтная команда			Ввода-вывода, с непосредственным операндом
¿	Код операции	Lo Байт1	
O,	Адрес Инициального устройства им операнд	Do Байт 2	
Трехбайтная команда   I <sub>7</sub>   Код операции \ C <sub>0</sub> \ Байт 1    P <sub>7</sub> \ Младший байт адреса \ I <sub>0</sub> \ Байт 2    Ю <sub>0</sub>   Старший байт адреса \ O <sub>0</sub> \ Байт 3			Переходов по программе, Вызова подпрограмм, загрузки памяти и регистров с прямой адресацией

Наиболее распространена косвенная регистровая адресация. При этом в некоторый регистр помещается не сам операнд, а его адрес во внешней памяти. Это позволяет в однобайтовой команде указать только адрес соответствующего РОН, хранящего 16-разрядный адрес ячейки памяти, где содержится операнд.

В командах с прямой адресацией поле адреса расположено во втором и третьем байте команды, а в командах с непосредственным операндом адресное поле второго байта содержит сам операнд. Хотя прямая адресация наиболее проста с точки зрения написания программ, однако многобайтовые команды требуют большего объема памяти и снижают производительность и быстродействие МП-системы. Поэтому предпочтение отдается косвенной регистровой адресации, обеспечивающей наибольшую производительность МП-системы.

Рассмотрим программные средства обеспечения пересылок в МП-системе.

Для пересылки данных в память из МП применяются следующие команды:

MOVМ,  $z$  — содержимое регистра (РОН) присылается в ячейку памяти, адрес которой находится в регистровой паре (Н — L).

Пр и м е р : MOVМ, С <Н — L> •\* - <С>.

MVIM — второй байт команды присылается в ячейку памяти, адрес которой находится в регистровой паре (Н — L).

Пр и м е р : MVIM, 7 (Н — L) ■\* - (7).

STA — содержимое аккумулятора пересылается в памяти по адресу, указанному во втором и третьем байтах команды.

Пр и м е р : STA 4-&H (\*0'Ф) <4\$> ч- (А).

STAX — содержимое аккумулятора пересылается в ячейку памяти, адрес которой указан регистровой парой В — С или Д — Е.

Пр и м е р : STAX В <В — С> ч- (А>).

Если выполнение программы прерывается микропроцессором (пересылка при работе со стеком), необходимо сохранить содержимое аккумулятора регистра признаков и РОН. В этом случае используется однобайтовая команда PUSH. По команде PUSHPSW содержимое аккумулятора и регистра признаков запоминается в стеке по адресу, который имеется в указателе стека (УС), при этом содержимое УС уменьшается на 2 (УС-2).

Команды PUSHВ, PUSHД, PUSHН пересылают содержимое регистровых пар В — С, D — E, Н — L в стек, и каждый раз содержимое УС уменьшается на 2.

При пересылках данных из МП во внешнее устройство источником всегда является аккумулятор (используется неявная адресация, адрес аккумулятора не указывается). Пересылки осуществляются двухбайтовой командой OUT. Во втором байте указывается адрес (номер) внешнего устройства, которому пересылаются данные.

Пр и м е р : OUT ЮН — содержимое аккумулятора пересылается во внешнее устройство с номером ЮН.

Для пересылки данных в МП из памяти используются команды:

MOVr, М — содержимое ячейки памяти, адрес которой находится в регистровой паре (Н — L), пересылается в РОН.

Пример: MOVВ, М <В> ч- <М>.

MVGr — второй байт команды пересылается в регистр r (РОН).

Пример! MVIV, 7 (В) ч- (7).

LDA — в аккумулятор пересылается содержимое ячейки памяти, адрес которой указан вторым и третьим байтом команды.

Пример: LDA 42 H A ч- (&Q) <42>.

LDAX — содержимое ячейки памяти, адрес которой указан регистровой парой В—С или D — E, пересылается в аккумулятор, команда однобайтовая.

Пример: LDAXB — <А> ч- <В — С>

LDAXD — <А> ч- <D — E>.

LXI — в регистровые пары ВС, DE, H за один цикл команды пересылается 16-разрядное число (например, адрес), которое находится во втором и третьем байтах команды <H — L> ч- (В<sub>8</sub>> <В<sub>2</sub>>).

Пример: LXIH, 1FH; LXIV, 21H; LXID, 23H.

В качестве стековой памяти обычно используется область ОЗУ. Начальный адрес области стековой памяти хранится в регистре указателя стека. Пересылка адреса осуществляется командой LXISP, по которой содержимое второго и третьего байтов пересылается в указатель стека (УС> ч- <В<sub>3</sub>> (В<sub>2</sub>>).

i Пересылка данных из стека в МП осуществляется по команде POP. При этом необходимо помнить порядок расположения данных в стеке. Обычно в стеке хранится содержимое аккумулятора и регистра признаков, содержимое РОН и счетчика команд СК.

Пример:

Нужно осуществить присылку данных стека в МП. Порядок расположения данных в стеке указан следующий:

УС-\*. <В>  
<D>  
<PSW>  
<СК>

POP В — по этой команде верхняя ячейка стека пересылается в регистровую пару В — С, содержимое указателя стека увеличивается на 2;

POPD — аналогично пересылается верхняя ячейка стека в пару D — E, содержимое указателя стека увеличивается еще на 2; УС = УС + 4.

POPSPW — верхняя ячейка стека пересылается в аккумулятор и регистр признаков, т. е. восстанавливается содержимое аккумулятора и регистра признаков, которое было до прерывания программы; содержимое УС увеличивается еще на 2 и равно УС + 6;

RET — верхняя ячейка стека пересылается в счетчик команд СК, таким образом восстанавливается адрес прерванной программы; в УС будет храниться начальный адрес стековой памяти. \_

Пересылки из внешних устройств в МП осуществляются командой IN, причем приемником всегда является аккумулятор, а номер (адрес) внешнего устройства указан во втором байте команды.

Поле кода команды (Код операции)    Поле адреса получателя    Поле адреса источника

Рис. 13.27. Структура однобайтовой команды

команда однобайтовая, в поле команды существуют поля адресации (рис. 13.27).

Пример:

MOVС, В — содержимое РОН <В> пересылается в РОН (С), содержимое В не изменяется (С) <-<В>; MOVА, В — содержимое РОН<В> пересылается в аккумулятор <А> (В).

Каждый РОН имеет свой адресный код: В — 000, С — 001, D — 010, E — 011, H — 100, L — 101, А — 111.

SPHL — по этой команде содержимое регистровой пары H — L пересылается в регистр УС;

РСНL — содержимое регистровой пары пересылается в счетчик команд СК, обе команды однобайтовые.

Следует помнить, что операции сложения, вычитания, сравнения, логические операции И, ИЛИ и исключающее ИЛИ, циклические сдвиги выполняются с содержимым аккумулятора и другим числом, находящимся в РОН или в памяти, и результат операции всегда остается в аккумуляторе. Поэтому, чтобы сложить два числа, одно из них необходимо переслать в аккумулятор, а другое, например, в РОН. Если результат сложения может быть еще использован, то его также необходимо переслать или в РОН, или в ОЗУ, используя команды MOV,., М или MOV<sub>r<sub>a</sub>,r<sub>s</sub></sub>. Основная программа управления системой хранится в ПЗУ. При включении напряжения питания поступает сигнал «сброс» на МП и содержимое счетчика команд СК становится равным нулю, т. е. МП начнет работу с нулевого адреса &&&&H. Программа управления пишется последовательно команда за командой, начиная с адреса 0000H. МП может выполнять программу последовательно, осуществлять ветвления в программе, прерывать основную программу и выполнять подпрограммы.

Подпрограммы могут располагаться в начале основной программы, в середине и в конце. Подпрограмма должна иметь начальный адрес и заканчиваться командой RET (возврат в основную программу). Обращение к подпрограмме может осуществляться многократно.

Поле адресов 16-разрядной шины адреса составляет от 0000H до FFFFH. Часть этого поля отводится под ОЗУ для хранения промежуточных данных, в поле адресов ОЗУ определенная область отводится под стек. Начальный адрес области стека необходимо занести в указатель стека.

Например, основная программа занимает адреса 0000 — 00FFH, т под ОЗУ отведены ячейки от 0F00H до FF00H, а стек занимает область в ОЗУ от 0F000 до F00. Подпрограмма запуска двигателя занимает семь ячеек памяти от FFF5H до FFFAH, а подпрограмма опроса системы от FFFBH до FFFFH.

Пример:

IN02H — содержимое внешнего устройства с номером 2 пересылается в аккумулятор.

Пересылка внутри МП осуществляется командами:

*fAGVr<sub>a</sub>r<sub>s</sub>* — содержимое РОН (r<sub>s</sub>) пересылается в другой РОН (r<sub>a</sub>),

Если МП выполняет программу последовательно, то содержимое счетчика команд (СК) автоматически наращивается с выполнением каждой команды (на 1, если однобайтовая команда, на 2, если двухбайтовая, или на 3, если трехбайтовая). Таким образом, в СК хранится адрес следующей команды. Последовательное выполнение программы может быть прервано программно или аппаратно по сигналу запроса прерывания от внешних устройств (например, датчиков).

Последовательное выполнение программы может быть прервано по командам условных или безусловных переходов и по командам вызова подпрограмм.

К командам условных или безусловных переходов относятся команды передачи управления по состоянию регистра признаков: перенос, знак, ноль, четность. По этим командам переход по программе осуществляется при условии, что содержимое одного из разрядов регистра признаков соответствует заданному условию. Все команды трехбайтовые, первый байт — код операции, второй — младший байт адреса перехода, третий — старший байт адреса перехода.

В МП К580 используются следующие команды переходов: JC — переход осуществляется, если триггер переноса (C) установлен в единицу; JNC — переход осуществляется, если триггер переноса (C) установлен в ноль; если не выполнено это условие, выполняется команда, следующая за JNC; JZ — переход осуществляется, если результат выполнения предыдущей операции равен нулю и признак нуля установлен в единицу; JNZ — переход осуществляется, если признак нулевого результата установлен в ноль; JM — переход осуществляется, если результат выполнения предыдущей операции отрицательный, триггер признака знака установлен в единицу; JP — переход осуществляется, если триггер знака установлен в ноль; JPE — переход осуществляется, если двоичный код результата предыдущей операции (т. е. содержимое аккумулятора) содержит четное число единиц, триггер четности установлен в единицу; JPO — переход осуществляется, если триггер четности установлен в ноль.

По команде JMP выполняется безусловный переход по адресу, указанному во втором и третьем байтах команды.

Прервать последовательное выполнение программы микропроцессором можно применением команды вызов подпрограммы (CALL). Команда трехбайтовая, первый байт — код операции, второй и третий — начальный адрес подпрограммы.

Подпрограммы вводятся в основную программу с целью экономии ячеек памяти тогда, когда одна и та же группа команд повторяется многократно (например, в основной программе подпрограмма опроса датчиков системы, подпрограмма вычисления к. п. д и др.).

При выполнении команды CALL производятся операции, необходимые для возвращения в основную программу после выполнения подпрограммы. В стек помещается адрес следующей команды, а в счетчик команд (СК) загружается адрес первой команды подпрограммы. Завершает подпрограмму команда RET (возврат), по которой содержимое верхних ячеек стека пересылается в СК. Следовательно, выполнение программы будет продолжено с команды, следующей за командой CALL.

1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | | i | 0 | 0 | 0 | 0 | s | s | »

Последовательное выполнение программы МП может быть приостановлено по запросу прерывания внешним устройством. Запрос на прерывание воспринимается МП, если триггер разрешения прерывания ТРП установлен в единицу. ТРП устанавливается в единицу командой EI. После обслуживания прерывания ТРП сбрасывается в нуль. Поэтому для обслуживания

<i>Код операции</i>	<i>Адрес регистра Н</i>	<b>ICB</b> <i>операции</i>	<i>Адрес регистра</i>
•Рис. 13.28. Структура команды сложения содержимого регистра и аккумулятора		Рис. 13.29. Структура команды сложения содержимого аккумулятора и ячейки памяти	

0 0 1 0 1 0 0 S S S

<i>КОП</i>	<i>Адрес регистра С</i>	<b>KOP</b>	<i>Адрес регистра</i>
Рис. 18.30. Структура команды увеличения на 1 содержимого регистра		Рис. 18.31. Структура команды логического «И»	

следующих прерываний ТРП необходимо установить снова в единицу.

Команда Д1 запрещает прерывания, т. е. запросы на входе ЗПР не воспринимаются микропроцессором.

Команды арифметических операций управляют выполнением арифметических операций над данными, которые находятся в РОН, во внешней памяти. В результате выполнения этих команд формируется ряд признаков в регистре признаков (РП).

Например, сложить содержимое регистра *z* с аккумулятором, ADD, <A> <A> + (г) (рис. 13.28).

Результат сложения остается в аккумуляторе. Содержимое аккумулятора сложить с содержимым ячейки памяти, адрес которой указан парой регистров Н — L (ADDM), (рис. 13.29).

INR, — увеличить на 1 содержимое регистра *z* (рис. 13.30), (г) ч-  
(f) + 1-

Команды логических операций реализуют поразрядные булевы операции над байтами, которые хранятся в РОН, в памяти или в регистре признаков.

ANA, — логическое «И» содержимого аккумулятора с содержимым регистра <A> (A) Д (*z*) (рис. 13.31).

ANI — сравнить содержимое аккумулятора с непосредственным операндом, который находится во втором байте команды, (A) (A) <B<sub>2</sub>> (рис. 13.32).

Команды циклических сдвигов выполняются только в аккумуляторе. Если необходима операция циклического сдвига над операндом, то его сначала нужно переслать в аккумулятор, а затем произвести сдвиг.

Содержимое аккумулятора *A* сдвигается циклически на один разряд в сторону старших или младших разрядов. Схематически циклические сдвиги показаны на рис. 13.33. HLT — стоп, по этой команде

<i>Операнд</i>	<i>байт 2</i>	<b>4ZHM:</b>	J С0Ш Илеов
{^}с. 13.32. Структура команды сравнения содержимого аккумулятора с непосредственным операндом		С-триггер переноса	П С1ш ^трак
		Рис. 13.33. Структура команды циклического сдвига	

Мнемокод	Описание команды	Код команды	К-во байтов
MOV $r_d, r_s$	Пересылка регистра в регистр		i
MOV $M, r_s$	Пересылка регистра в память $M$		i
MOV $r_d, M$	Пересылка памяти $M$ в регистр		i
MVI $r_d$	Непосредственная загрузка регистра		
MVIM	Непосредственная загрузка памяти $M$	36	
INR $r$	Приращение регистра		i
DCR $r$	Отрицательное приращение		i
INRM	Приращение памяти $M$	34	i
DCRM	Отрицательное приращение памяти	35	i
ADD $r$	Сложение регистра с $A$		i
ADC $r$	Сложение с $L$ с переносом		i
SUB $r_s$	Вычитание регистра из $A$		i
SBB $r$	Вычитание регистра из $L$ с переносом		i
ANA $r$	Конъюнкция регистра $A$		i
XRA $r$	Исключающая дизъюнкция регистра с $A$		i
ORA $r$	Дизъюнкция регистра с $A$		i
CMP $r_s$	Сравнение регистра с $A$		i
ADD $M$	Сложение памяти с $A$	86	i
ADC $M$	Сложение памяти с $A$ с переносом	8E	i
SUB $M$	Вычитание памяти из $A$	96	i
SBB $M$	Вычитание памяти из $A$ с переносом	9E	i
ANA $M$	Конъюнкция с $A$	A6	i
XRA $M$	Исключающая дизъюнкция с $A$	AE	i
ORA $M$	Дизъюнкция с $A$	B6	i
CMP $M$	Сравнение памяти с $A$	BE	i
ADI	Непосредственное сложение с $A$	C6	2
ACI	Непосредственное сложение с $A$ с переносом	CE	2
SUI	Непосредственное вычитание из $A$	D6	2
SBI	Непосредственное вычитание из $A$ с переносом	DE	2
ANI	Непосредственная конъюнкция с $A$	E6	2
XRI	Непосредственная исключающая дизъюнкция с $A$	EE	2
ORI	Непосредственная дизъюнкция с $A$	F6	2
CPI	Непосредственное сравнение с $A$	FE	2
RLC	Циклический сдвиг $A$ без переноса (лев.)	07	1
RRC	Циклический сдвиг $A$ без переноса (прав.)	0F	1
RAL	Циклический сдвиг $A$ с переносом (лев.)	17	1
RAR	Циклический сдвиг $A$ с переносом (прав.)	1F	1
JMP	Безусловный переход	C3	3
JC	Переход по переносу	DA	3
JNC	Переход по отсутствию переноса	D2	3
JZ	Переход по нулю	CA	3
JNZ	Переход по ненулю	C2	3
JP	Переход по плюсу	F2	3
JM	Переход по минусу	FA	3
JPE	Переход по четности	EA	3
JPO	Переход по нечетности	E2	3
CALL	Безусловный вызов	CD	3
CC	Вызов по переносу	DC	3
CNC	Вызов по отсутствию переноса	DA	3
CZ	Вызов по нулю	CC	3
CNZ	Вызов по ненулю	C4	3
CP	Вызов по плюсу	F4	3
CM	Вызов по минимуму	FC	3

Мнемокод	Описание команды	Код команды	К-в байт
CPE	Вызов по четности	EC	3
CPO	Вызов по нечетности	E4	3
RET	Возврат	C9	1
RC	Возврат по переносу	D8	1
RNC	Возврат по отсутствию переноса	DO	1
RZ	Возврат по нулю	C8	1
RNZ	Возврат по ненулю	CO	1
RP	Возврат по плюсу	F0	1
RM	Возврат по минусу	F8	1
RPE	Возврат по четности	E8	1
RPO	Возврат по нечетности	EO	1
RST	Рестарт		1
IN	Ввод	DB	2
OUT	Вывод	D3	2
LXI B	Непосредственная загрузка $B—C$	01	3
LXI D	Непосредственная загрузка $O—E$	11	3
LXI H	Непосредственная загрузка $H—$	21	3
LXI SP	Непосредственная загрузка $UC$	31	3
PUSH B	Ввод $B—C$ в стек	05	1
PUSH D	Ввод $\xi>—E$ в стек	D5	1
PUSH H	Ввод $H—\zeta$ в стек	E5	1
PUSH PSW	Ввод $A$ и признаков в стек	F5	1
POP B	Выбор $B—C$ из стека	C1	1
POP D	Выбор $O—\xi$ из стека	D1	1
POP H	Выбор $H—\zeta$ из стека	E1	t
POP PSW	Выбор $A$ и признаков из стека	F1	
STA	Прямое запоминание $A$	32	
LDA	Прямая загрузка $A$	3A	1
XCHD	Обмен между $O—E$ и $H—B$	EB	1
XTHL	Обмен вершины стека с $H$	E3	1
SPHL	Пересылка $H—B$ в $UC$	F9	1
PCHL	Пересылка $H—\zeta$ в $CK$	E9	t
DAD B	Сложение $B—C$ с $H—B$	09	1
DAD D	Сложение $\xi>—E$ с $H—B$	19	1
DAD H	Сложение $H—\zeta$ с $H—B$	29	1
DAD SP	Сложение $UC$ с $H—\zeta$	39	!
STAX B	Непрямое запоминание $A$	02	1
STAX D	Непрямое запоминание $A$	12	1
LDAX B	Непрямая загрузка $A$	0A	1
LDAX D	Непрямая загрузка $A$	1A	1
INX B	Приращение $B—C$	03	1
INX D	Приращение $O—E$	13	1
INX H	Приращение $H—\zeta$	23	1
INXSP	Приращение $UC$	33	1
DCX B	Отрицательное приращение $B—C$	OB	1
DCX D	Отрицательное приращение $\xi>—E$	1B	1
DCXH	Отрицательное приращение $H—\zeta$	2B	1
DCXSP	Отрицательное приращение $UC$	3B	1
CMA	Дополнение $A$	2F	1
STC	Установка переноса	2F	1
CMC	Дополнение переноса	37	1
DAA	Двоично-десятичное представление $A$	3F	1
SHLD	Прямое запоминание $H—\zeta$	27	3
LHLD	Прямая загрузка $H—$	22	3
EI	Разрешение прерываний	2A	1
		FB	

Мнемокод	Описание команды	Код команды	К-во байт/то»
D1	Блокировка прерываний	F3	1
HALT	Останов	76	
NOP	Отсутствие операции	00	1

управления МП останавливается, содержимое всех регистров не изменяется, при остановке проверяется правильность хода вычисления. NOP — пустая команда, применяется для пропуска одного процессорного цикла с целью формирования временных задержек. Чтобы получить задержку больше одного машинного цикла, в программу вставляется последовательность пустых операций (NOP) необходимой длины.

Полная система команд микропроцессора K580ИК80 приведена в табл. 13.33. В описании используются следующие обозначения и сокращения: *A* — аккумулятор; *M* — ячейка памяти, адрес которой указывается парой регистров; *C*, *S*, *Z*, *P*, *C'* — разряды регистра признаков; *C* — бит переноса («1», если есть перенос из 7-го разряда);

Таблица 13.34

Адрес ПЗУ в шестнадцатичной системе	Метка	Мнемоника	Комментарии
0000	L,	1N10	Ввод в аккумулятор из 10 внешнего устройства значения $*1, дс_2, дс_8, K^{\wedge}$
0001		RLC	Циклический сдвиг содержимого аккумулятора влево
0002		iNC	
0003			Если $I = 1$ , то осуществляем сдвиг влево, если $*1 = 0$ — переход по адресу метки $i_2$ , т. е. к анализу $x_3$
0004			
0005			
0006		RLC	Циклический сдвиг влево
0007		IC	Если $*1 = 1$ , то $y = x_1 x_2 = 1$ , дальше вывод $y = 1$ , т. е. переход на метку $i_2$
0008			
000A		RLC	
000B		iC	Если $*3 = 1$ , то переход на выход $y = 0$ , производим сдвиг влево
000C			
000D			
000E		RLC	
000F		iC	Если $дс_4 = 1$ , то $y = *3 X_4 = 1$ , дальше к выводу $y = 1$ , т. е. переход на метку $L_2$
0010			
0011			
0012		MV1	Пересылка $y = 1$ в аккумулятор
0013			
0014		OUT7	Выводим $y = 1$ , например, во внешнее устройство №7
0015			
0016	La	MV1	Пересылка $y = 0$ в аккумулятор
0017			
0018		OUT7	Вывод $y = 0$ во внешнее устройство № 7
0019			

2 — бит нулевого результата («1», если результат выполнения операции нуль); 5 — бит знака («1», если результат операции отрицательное число); *P* — бит четности («1», если число единиц результата операции четное число); *C*' — бит вспомогательного переноса («1», если есть перенос из 3-го разряда).

В качестве примера рассмотрим составление программы для реализации микропроцессором логической функции  $Y = X_1 \oplus X_2 \vee X_3 X_4$  (табл. 13.34), граф-схема алгоритма которой рассмотрена в гл. 3.

Анализ программы показывает, что рассмотренная логическая функция реализуется с помощью 13 команд МП, для чего требуется 26 ячеек памяти, затрачивается 38 машинных циклов, следовательно, время реализации логической функции примерно равно 75 мкс. В программе использованы команды ввода, вывода, циклического сдвига, пересылки, а также команды условных переходов.

В последнее время разработаны программные средства, позволяющие программировать МП-системы на языках более высокого уровня — БЕЙСИК, ФОРТРАН и др.

### 13.8. Примеры построения МП-систем

В процессе управления режимами работы технологического оборудования происходит обмен информацией между МП, памятью и внешними устройствами. Система шин, вспомогательных устройств и алгоритмов, реализованных на этих устройствах, предназначенная для организации обмена информацией между МП, памятью и внешними устройствами, называется *интерфейсом*. В функции интерфейса входят согласование форматов слов, синхронизация обмена информацией, электрическое согласование уровней сигналов, дешифрация кода адреса и команды и др. Структура интерфейса зависит от сложности системы управления и того оборудования, которым осуществляется управление.

В простейших случаях организация обмена между МП и памятью или внешними устройствами может быть осуществлена с помощью средств, имеющих только в МП. В других случаях интерфейс может быть построен на основе аппаратной логики или на БИС.

Различают три способа организации связи в МП-системах: программно-управляемый обмен информацией; использование прерывания; прямой доступ к памяти.

Сначала рассмотрим организацию связи МП с памятью, которая является внешним устройством для МП. В памяти хранятся команды, которые управляют работой МП, и данные, которые обрабатываются в процессе управления, и результаты обработки. Данные обычно хранятся в *ОЗУ*, а команды в *ПЗУ*.

Современные ОЗУ имеют двунаправленную шину данных, направление передачи информации по которой определяется значением управляющих сигналов записи/чтения (*ЗП/ЧТ*)

$$\begin{array}{l} \text{ОЗУ} \quad \text{Данные} \quad \text{ш/чх} \\ \text{С} \text{---}^{\wedge} \quad \text{стф} \quad \text{' ПЗУ} \quad \text{данные} \\ \text{* 1-} \quad \quad \quad \text{£ 1} \text{---} \end{array}$$

Рис. 13.34. Функциональные схемы ОЗУ и ПЗУ запись/чтение (*ЗП/ЧТ*) (рис. 13.34).

Какие сигналы могут быть поданы от МП. Сигналы  $x_1, x_2$  предназначены для выбора кристалла.

ПЗУ имеют однонаправленные шины адреса и данных потому, что в этом случае осуществляется только режим «чтение», при наличии сигналов выборки кристалла и кода адреса на шине данных процессора с ОЗУ и ПЗУ появляется код команды. Присоединение ОЗУ и ПЗУ к шинам МП показано на рис. 13.35.

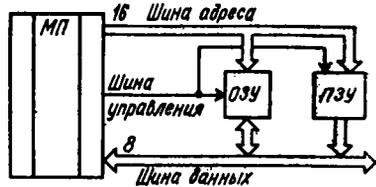


Рис. 13.35. Схема соединения микропроцессора с ОЗУ и ПЗУ

Внешние устройства (датчики, исполнительные механизмы, устройства индикации) сопрягаются с МП-системой при помощи унифицированных интерфейсных БИС. Универсальность применения достигается за счет программирования режимов работы БИС. Интерфейсные БИС бывают как параллельного, так и последовательного типа.

Программируемый параллельный интерфейс (ППИ) К580ИК55 представляет собой однокристалльное устройство ввода-вывода параллельной информации различного формата. ППИ может работать в трех режимах: режим 0 — основной ввод/вывод; режим 1 — стробируемый ввод/вывод; режим 2 — двунаправленная магистраль.

Режим работы ППИ устанавливается программно путем засылки в ППИ управляющего слова использованием команд ввода/вывода. Функциональные схемы ППИ в различных режимах приведены на рис. 13.36, а, б, в, г.

По сигналу «Сброс» (СБ) все порты ППИ устанавливаются на ввод. Режимы работы портов А и В могут быть заданы независимо. Порт С делится на две части — Сн и Св. В режиме 1 и 2 разряды порта С

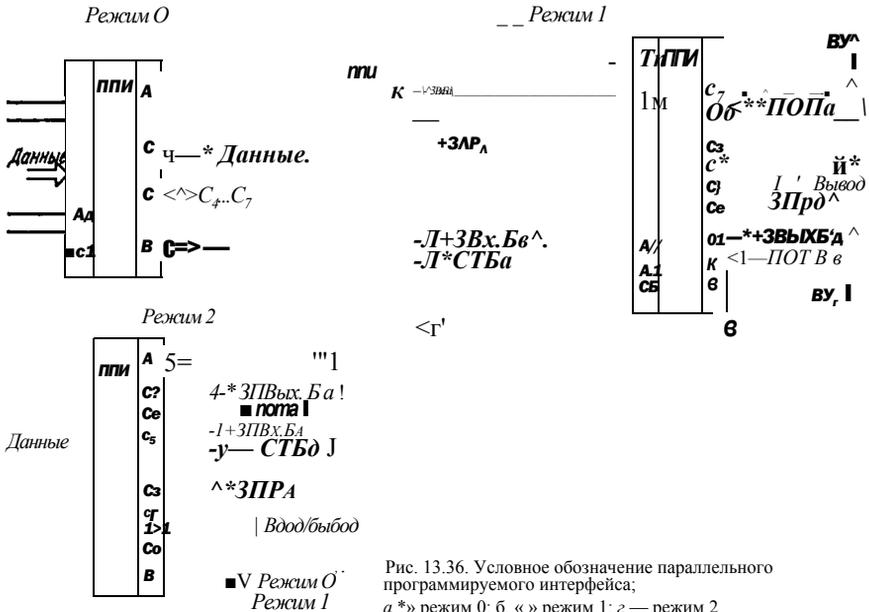


Рис. 13.36. Условное обозначение параллельного программируемого интерфейса; а \*» режим 0; б, « » режим 1; г — режим 2

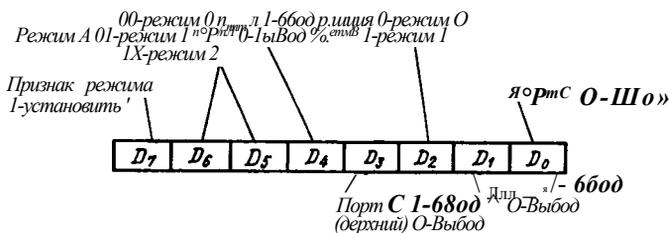


Рис. 13.37. Формат управляющего слова ППИ

используются как управляющие сигналы и распределены между портами **A** и **B**.

Формат управляющего слова для задания режима работы ППИ представлен на рис. 13.37, а сами слова — в табл. 13.35.

Разряды порта **C** могут быть установлены или сброшены программно, путем засылки в ППИ управляющего слова, формат которого приведен на рис. 13.38, а сами управляющие слова — в табл. 13.36. Этот режим используется при работе ППИ с прерываниями.

В режиме 0 шины ППИ разбиты на два 8-разрядных и два 4-разрядных порта (см. рис. 13.36, *а*). Любой порт может быть запрограммирован на ввод или вывод. Выходы защелкиваются, а входы нет. Пересылка информации в ППИ или из ППИ осуществляется по сигналам чтение ЧТ или ЗП инициируемых МП.

В режиме 1 все выходные шины ППИ разбиваются на две группы — **A** и **B**. В каждой группе содержится один 8-разрядный порт данных и четыре разряда порта **C**, которые могут быть использованы для управления или для передачи данных. Любой 8-разрядный порт данных может быть использован для ввода или вывода с защелкой, а разряды порта **C** — как управляющие сигналы или для указания состояния 8-разрядного порта данных. Распределение сигналов порта **C** при вводе информации приведено на рис. 13.36, *б*.

Таблица 13.35

Управляющие слова ППИ				Управляющие слова ППИ			
Код	Ввод	Вывод	Режим	Код	Ввод	Вывод	Режим
80H		A, B, Cн, Cв	0	90H	A	B, Cв, Cн	0
81H	Cн	A, B, Cв	0	91H	A, Cн	B, Cв	0
82H	<b>В</b>	A, Cв, Cн	0	92H	A, B	Cв, Cн	0
83H	B, Cн	A, Cв	0	93H	A, B, Cн	Cв	0
84H		A, B, Cн, Cв	<b>1</b>	94H	A	B, Cв, Cн	<b>1</b>
85H	Cн	A, B, Cв	<b>1</b>	95H	A, Cн	B, Cв	<b>1</b>
86H	B	A, Cв, Cн	<b>1</b>	96H	A, B	Cв, Cн	<b>1</b>
87H	B, Cн	A, Cв	<b>1</b>	97H	A, B, Cн	Cв •	<b>1</b>
88H	Cв	A, B, Cн	<b>0</b>	98H	A, Cв	B, Cн	<b>0</b>
-89H	Cн, Cв	A, B	0	99H	A, Cн, Cв	B	0
8AH	B, Cв	A, Cн	0	9AH	A, B, Cв	Cн	0
8BH	B, Cн	A, Cв	0	9BH	A, B, Cн, Cв		0
8CH	Cв	A, B, Cн	1	9CH	A, Cв	B, Cн	1
8DH	Cн, Cв	A, B	1	ЭДН	A, Cв, Cн	B	<b>1</b>
8EH	B, Cв	A, Cн	<b>1</b>	9ДЕ	A, B, Cв	Cн	<b>1</b>
8PH	B, Cв, Cн	A	<b>1</b>	9PH	A, B, Cн, Cв		<b>1</b>

	Номер разряда							
	0	1	2	3	4	6	6	7
Установка	0МН	03Н	05Н	07Н	Я<9Н	2ВН	0ДН	0ГН
Сброс	6\$	02Н	04Н	06Н	08Н	0АН	0СН	0ЕН

При готовности к вводу информации в ППИ внешнее устройство вырабатывает сигналы СТБ (строб). По срезу сигнала СТБ осуществляется запись входных данных в регистр ППИ. Одновременно с записью данных по срезу СТБ ППИ вырабатывает сигнал ЗВхБ (заполнение входного буфера). До тех пор пока на выходе ППИ присутствует сигнал ЗВхБ, внешнее устройство не должно вырабатывать сигнал СТБ и записывать следующие данные в ППИ.

По сигналу чтение, поступившему из МП, информация из регистра ППИ передается на шину данных для ввода в МП. По фронту сигнала ЧТ сбрасывается сигнал ЗВхБ, и ППИ снова готов к приему данных от внешнего устройства. Каждая группа портов **A** и **B** имеет триггер прерывания, который устанавливается в единицу программно с помощью управляющего слова в режиме установка/сброс разряда порта С. Для порта **A** триггер прерывания (ТРПа) управляется установкой/сбросом разряда С<sub>4</sub>, для порта **B** — разрядом С<sub>2</sub>. Если ППИ запрограммирован для работы с прерываниями (ТРПа и ТРПв установлены в 1), то по фронту сигналов СТБв будут вырабатываться сигналы ЗПРа или ЗПРв (запрос прерывания). Таким образом ППИ посылает запрос на обслуживание внешнего устройства по прерыванию простым стробированием входной информации в порт **A** или **B**.

В режиме 1 при вводе информации разряды С<sub>в</sub> и С<sub>с</sub> могут быть использованы для ввода или вывода информации. При выводе информации из МП во внешнее устройство в режиме 1 ППИ вырабатывает сигналы ЗВыхБа или ЗПВыхБв (заполнение выходного буфера), информирующие внешнее устройство, что данные, предназначенные для пересылки внешнему устройству, записаны в соответствующий порт **A** или **B**.

При выводе информации из МП во внешнее устройство в режиме 1 по сигналу «Запись» (ЗП) данные с шины данных записываются в соответствующий порт **A** или **B**. По фронту сигнала ЧТ ППИ вырабатывает сигналы ЗВыхБа или ЗВыхБв.

Внешнее устройство после получения данных вырабатывает для ППИ сигналы ПТВа или ПТВв (подтверждение), указывающие, что

*Признак режима*

*$\underline{By P( \underline{Ar} P4 P3 P2 \underline{Ar} I \underline{Bo} )}$*

*Не используются*

*Установка/сброс  
/ 1- установить  
— сбросить*

Номер разряда							
0	1	2	3	4	5	6	7
0	1	0	1	0	0	0	1
0	0	1	1	0	0	1	1
0	0	0	0	1	1	1	1

Рис. 13.38. Формат управляющего слова ППИ при установке (сбросе) разрядов порта С

данные внешним устройством приняты. По срезу сигналов ПоВа или ПоВв сбрасываются сигналы ЗВвыхБа или ЗВвыхБв.

Триггеры прерывания ТРПа и ТРПв при работе в режиме 1 на вывод информации управляются программно с помощью управляющего слова в режиме установки/сброс разряда порта С. ТРПа управляется установкой) сбросом  $C_{3n}$ , а ТРПв —  $C_2$ .

Разряды  $C_4$  и  $C_6$  могут быть использованы для ввода или вывода информации. Распределение сигналов порта С в режиме 1 при работе ППИ на вывод приведены на рис. 13.36, б. Кроме того, с помощью управляющих слов можно запрограммировать, например, порт А на ввод, а порт В на вывод или наоборот. Соответствие сигналов порта С портам А и В будет таким же, как на рис. 13.36, б, в. В режиме 2 порт А работает как двунаправленная магистраль (рис. 13.36, з). Пять старших разрядов порта С используются для указания состояния и управления двунаправленной магистралью порта Л. Порт В может работать как в режиме 0, так и в режиме 1. Если порт В работает в режиме 0, то три разряда порта  $C_0, C_{1n}, C_2$  могут быть использованы для ввода или вывода информации. При работе порта В в режиме 1 разряды  $C_0, C_1, C_2$  используются для передачи управляющих сигналов, обеспечивающих работу порта В. Назначение управляющих сигналов порта С в режиме 2 аналогично их назначению в режиме 1. Триггер прерывания порта В (ТРПв) управляется программно, путем установки/ сброса разряда  $C_4$ .

Пример: необходимо узнать состояние дискретного датчика (сработал, не сработал), подключенного к порту В (разряд  $V_4$ ). Программа опроса датчика выглядит следующим образом;

```

МУ1А, 82 Н; пересылка управляющего слова ППИ (табл. 13.35) из ПЗУ в аккумулятор;
ОиТОЗН; вывод управляющего слова в ППИ с номером 3;
1Л Ш 01Н; ввод информации с порта В в аккумулятор;
АЖ ЮН; логическое умножение (наложение маски) содержимого аккумулятора и второго байта команды, во втором байте содержится число 10Я;
ЛЫ2Ы; логический переход на метку  $i,1$ , если результат логического умножения не равен нулю.
    
```

Программируемый последовательный интерфейс (ПСИ) К580ИК51 представляет собой однокристальное программируемое устройство для синхронно-асинхронной передачи информации. Под воздействием команд МП ПСИ осуществляет прием информации, представленной последовательным кодом, преобразование ее в стандартный параллельный 8-разрядный код, а также передачу байта данных, представленного параллельным кодом, в последовательном коде о соответствующими информационными и контрольными символами (битами).

Структурная схема ПСИ приведена на рис. 13.39. Шина данных (ШД) подсоединяется в ПСИ через буферные регистры с тремя



Рис. 13.39. Условное обозначение последовательного интерфейса

состояниями. По сигналу запись (*317*) МП записывает в *ПСИ* данные или управляющее слово, а по сигналу чтение (*ЧТ*) МП считывает из *ПСИ* данные или информацию о состоянии внешних устройств. Сигнал на входе *Д/У* информирует *ПСИ* о том, какого рода информацию он принимает — управляющее слово (при 1) или данные (при 0). Режимы записи или чтения возможны только при наличии управляющего сигнала на входе *ВК* (выбор кристалла). Как правило, выбор производится нулем. Состояние *ПСИ* можно контролировать как программно, так и по сигналам, вырабатываемым в *ПСИ*. Сигнализация о готовности внешних устройств и *ПСИ* к обмену информацией осуществляется сигналами управления, передачей и приемом.

В системах управления приходится решать задачи организации временных задержек, которые определяются законом управления и динамикой объекта. Например, управляющее воздействие к объекту должно прикладываться в течение конкретного промежутка времени.

В МП-системах временные задержки можно реализовать с помощью аппаратных и программных средств. Если длительность задержек не велика, то их целесообразно выполнить программно. При этом используются программные циклы, организованные в РОН, ОЗУ или с использованием команд NOP (пустая операция).

Организация временной задержки в РОН. Для реализации определенной задержки в РОН заносится соответствующее число, а затем это число уменьшается с помощью команд декрементирования. В данном случае задержка пропорциональна числу, занесенному в РОН. Программа должна фиксировать начало задержки, длительность ее и конец. Для организации указанной выше задержки используется ППИ, в частности, установка и сброс разряда  $C_4$  порта С. Фрагмент программы в этом случае имеет вид:

FF00 BX1D; загрузить регистровую пару  
FF01 2 с Д — Е числом 2C1FH;  
FF02 1F  
FF03 MVIA; загрузить А управляющим словом;  
FF04 09H 09H (установка разряда  $C_4$  в 1);  
FF05 OUT; переслать управляющее слово в ППИ № 0;  
FF06 03H; по этой команде устанавливается разряд  $C_4$  в 1 и формируется начало задержки;  
L<sub>1</sub>: FF07 ДСЯЕ; уменьшить содержимое регистра Е на единицу;  
FF08 JNZ; если не ноль, перейти на метку L<sub>j</sub> (по адресу FF07), т. е. продолжать ДСРЕ;  
FF0A  
L<sub>2</sub>: FF0B ДСВД; уменьшить содержимое регистра Д на единицу; команда ДСЯ выполняется непосредственно в регистрах, без участия А.  
FF0C JNZ; если не ноль, перейти на метку L<sub>a</sub> (по адресу FF0B),  
FF0F L<sub>2</sub> т. е. продолжать ДСНД;  
FF0E  
FF0F MVIA; загрузить А управляющим словом 08H (сброс разряда  $C_4$  в ноль);  
FF10 08H  
FF11 0UT; переслать управляющее слово в ППИ № 0 3; по этой команде  
FF12 03H устанавливается разряд  $C_4$  в ноль и формируется конец задержки.

Организация временных задержек в ОЗУ. В этом случае в определенной области ОЗУ организуется программный счетчик. Для адресации используется режим косвенной регистровой адресации с помощью пары регистров Н — Л. Фрагмент программы в данном случае имеет вид:

1000 LXIH; загрузка регистровой пары H — L вторым и третьим байтом  
 1001 ОС команды (ОС 13H — адрес ячейки памяти, куда заносится число, пропорциональное времени задержки);  
 1002 /3H  
 1003 MV/.A; загрузка A числом 77H, находящимся во втором байте команды  
 1004 77H (число 77H пропорционально времени задержки);  
 ЮО6МОУМ.A; загрузка ячейки памяти числом 77H по адресу, указанному в паре H — L, т. е. по адресу ОС13H;  
 1006 MVIA; загрузка A командой ЮН, находящейся во втором  
 1007 /ОН байте команды (команда «Включить»);  
 1008 OUT пересылка команды «Включить» в ППИ № 01 порт В, т. е. начало задержки;  
 L<sub>1</sub>; 100A ДСИМ; уменьшение на единицу числа 77H, находящегося в ячейке с адресом, содержащимся в паре H — L (ОС13H);  
 100B переход на метку L<sub>1</sub> (адрес 100A), если не нуль;  
 100C т. е. число 77H декрементируется до нуля, чем обеспечивается  
 100D задержка;  
 100EXRA A; обнулить A (сложение по модулю 2 содержимого A с самим собой);  
 100F OUT; пересылка команды «Выключить» (нули в A) в ППИ № 01 (нуль)  
 1010 0/H порт В, т. е. конец задержки.

Организация временных задержек в ПЗУ. В этом случае используется команда NOP (пустая операция), длительность которой состав\* ляет 2 мкс. Фрагмент программы в этом случае имеет вид: #

2000 MVIA; загрузка A командой «Включить»;  
 2001 ЮН;  
 2002 OUT; пересылка команды «Включить» в ППИ № 0 порт В, т. е.  
 2003 01H начало задержки;  
 2004 NOP; пустая операция; *j*

202F NOP; пустая операция  
 2030 XRA A; обнуление A, т. е. команда «Выключить»;  
 2031 OUT; пересылка команды «Выключить» (нули в A), т. е.,  
 2032 01H конец задержки.

Если в МП-системе необходимо получать несколько временных задержек большой длительности, то для этого целесообразно использовать БИС программируемого таймера КР580 ВИ53 (ПТ).

ПТ обеспечивает шесть режимов работы:

режим 0 — программируемый таймер;  
 режим 1 — программируемый одновибратор;  
 режим 2 — делитель частоты (генератор программируемой частоты);  
 режим 3 — генератор прямоугольных импульсов со скважностью 2 (меандр);  
 режим 4 — формирование одиночного строба о программным запуском;  
 режим 5 — формирование одиночного строба о аппаратным запуском.

ПТ содержит три независимых 16-разрядных счетчика (0, 1, 2), которые работают на вычитание в двоичном или двоично-десятичном кодах. Тактовые импульсы с частотой до 2 МГц подаются на входы счетчиков CLK0, CLK1, CLK2 только при наличии сигналов стробирования GATE0, GATE1, GATE2. Начальное значение содержимого счетчиков загружается из МП по шине данных командой OUT. После

этого по сигналу GATE (высокий уровень) начинается вычитание содержимого счетчика тактовыми импульсами CLK. Как только содержимое счетчика становится равным нулю, на выходе счетчика (OUT0, OUT1, OUT2) вырабатывается сигнал (высокий уровень), фиксирующий конец временного интервала, который может быть использован для запроса прерывания. Режим работы каждого счетчика устанавливается программно, независимо друг от друга, с помощью управляющих слов.

Управляющее слово определяет режим работы ПТ, номер счетчика, один или два байта содержимого счетчика, двоичную или двоично-десятичную систему счисления. Сначала в ПТ командой OUT заносится управляющее слово, а затем содержимое счетчика. Если в счетчик заносят два байта, то они пересылаются последовательно один за другим командой OUT с одинаковым адресом. Содержимое любого счетчика может быть считано микропроцессором программно двумя способами.

Первый способ предусматривает остановку процесса считывания содержимого счетчика сигналами GATE или CLK и пересылки содержимого счетчика в МП командой IN. Второй предполагает пересылку в ПТ управляющего слова, которое устанавливает режим «счет на лету», не нарушая режима считывания содержимого счетчика. Затем командой IN текущее значение содержимого счетчика пересылается в МП.

В режиме 0 счетчик работает как программируемый таймер (программируемая задержка). После задания режима на выходе OUT устанавливается низкий уровень сигнала. Длительность задержки определяется числом, которое заносится в счетчик. Максимальная задержка соответствует числу  $2^{16}$  в двоичном коде. Изменяя частоту сигналов CLK и содержимое счетчика длительность задержки можно регулировать в широких пределах. Начало работы счетчика фиксируется по высокому уровню сигнала GATE (начало временной задержки). Когда содержимое счетчика станет равным нулю, на выходе OUT устанавливается высокий уровень сигнала (конец временной задержки). Процесс счета можно прекратить, установив сигнал GATE низкого уровня, содержимое счетчика в данном случае сохраняется. Если после этого снова установить высокий уровень сигнала GATE, счет будет продолжен с того значения, на котором он был остановлен. Если во время работы счетчика занести его новое содержимое, то после загрузки первого байта счет прекращается, а после второго возобновляется с нового значения содержимого.

В режиме 1 счетчик используется в качестве программируемого одновибратора. В счетчик загружено начальное значение N. После первого сигнала CLK, следующего за установлением высокого уровня GATE, на выходе OUT формируется отрицательный импульс длительностью  $T_{\text{и}}, N$ , где  $T_{\text{и}}$  — период тактовых импульсов CLK. На выходе OUT высокий уровень появится только после завершения счета. Если во время счета в счетчик будет загружена новая счетная величина, то она не повлияет на длительность текущего импульса одновибратора до следующего запуска. Одновибратор является «перезапускаемым», т. е. отрицательный импульс на выходе сохраняет продолжительность от любого фронта на входе GATE.

В режиме 2 счетчик работает как делитель входной частоты (генератор программируемой частоты) на  $N$  ( $N$  — число, записанное в счетчик). После первого сигнала CLK, следующего за установлением высокого уровня GATE на выходе OUT с частотой  $f_m N$  устанавливается напряжение логического нуля на время одного периода сигнала CLK. Когда счетчик перезагружается, текущий период не изменяется, однако последующий период будет соответствовать уже новой счетной величине.

При подаче на вход GATE низкого уровня на выходе OUT устанавливается высокий уровень, а с последующим переходом GATE на высокий уровень счетчик начнет отсчет от начальной величины счета. Поэтому вход GATE можно использовать для синхронизации работы счетчика с внешними устройствами. При задании режима 2 высокий уровень OUT сохраняется до загрузки, чем обеспечивается программная синхронизация генератора.

В режиме 3 счетчик используется как генератор меандра. Период выходного сигнала равен  $NT_{\text{ТМ}}$ , как и в предыдущем режиме. Однако выход OUT имеет высокий уровень в течение  $NT_{\text{ТМ}}/2$ , если  $N$  — четное, или  $(N + 1) T_{\text{УИ}}/2$ , если  $N$  — нечетное. При перезагрузке счетчика новое значение  $N$  учитывается после первого изменения уровня сигнала OUT.

Режим 4 — формирование одиночного строба с программным запуском. После занесения в ПТ управляющего слова, определяющего этот режим, на выходе OUT устанавливается высокий уровень. На входе GATE предварительно установлен высокий уровень. После занесения числа  $N$  в счетчик по сигналу WR (запись) первым фронтом сигнала CLK начинается считывание содержимого счетчика. Как только содержимое счетчика станет равным нулю, на выходе OUT формируется отрицательный импульс длительностью  $T_{\text{СК}}$  равной длительности периода сигнала CLK.

Режим 5 — формирование одиночного строба с аппаратным запуском. Этот режим аналогичен режиму 4. Только начало счета в режиме 4 осуществляется программно по занесению числа  $N$  в счетчик, а в режиме 5 — по сигналу GATE, который формируется аппаратно, например, по срабатыванию какого-либо датчика. Счетчик можно перезапустить сигналом GATE.

Для программирования таймера необходимо определиться с адресами. ПТ для МП является внешним устройством. Поэтому можно адресоваться к нему как к памяти. В этом случае разряды  $A_0$  и  $A_x$  шины адреса адресуются прямо к ПТ (признак управляющего слова), остальные — выбор номера ПТ через (ДШВУ) с помощью сигнала CS.

#### Программирование режимов работы таймера

0700 MVI A, 70H;	пересылка управляющего слова в аккумулятор;
0702 OUT 33H;	пересылка управляющего слова в таймер № 5;
0704 MVI A, 700;	пересылка в аккумулятор временной задержки;
0706 OUT 31H;	пересылка временной задержки в счетчик 2 таймера № 5;
0708 MVI A, 07H;	пересылка в аккумулятор управляющего слова установки разряда $C_3$ ;
070A OUT 03H;	пересылка управляющего слова в ПШИО (GATE);

## Счет на лету в режиме 0

0300 MVI A, 90H;	пересылка в аккумулятор управляющего слова (порт A, ввод);
0302 OUT 06H;	пересылка управляющего слова в ППИ2
0304 MVI A, 70H	пересылка в аккумулятор управляющего слова (режим 0);
0306 OUT 23H;	пересылка управляющего слова в таймер № 2;
0308 MVI A, 500	пересылка в аккумулятор временной задержки;
030A OUT 21H;	пересылка временной задержки в счетчик 1 таймера № 1;
030C MVI A, 07H	пересылка в аккумулятор управляющего слова установки разряда C <sub>3</sub> ;
030E OUT 03H;	пересылка управляющего слова в ППИ0 (GATE);
0310 MVI A, 40H;	пересылка в аккумулятор управляющего слова счета на лету;
0312 OUT 23H;	пересылка управляющего слова в таймер № 1;
0314 IN 21H;	пересылка в аккумулятор содержимого счетчика в таймер № 1;
0316 OUT 08H;	пересылка содержимого счетчика 1 в порт ППИ.

Программа управления объектом связана с вводом информации от датчиков и пультов управления, расчетом управляющих воздействий и выводом команд управления на исполнительные механизмы и сигнальные устройства. При этом обмен информацией между внешними устройствами (датчиками, исполнительными механизмами, пультами и т. д.) и микропроцессором (МП) может быть организован программно или с использованием режима прерываний. Если внешние устройства всегда готовы к обмену данными с МП, то этот обмен лучше всего производить с использованием команд IN и OUT. Такой обмен называют *синхронным*.

Однако в системах управления часто возникает необходимость убедиться в готовности внешних устройств к обмену информацией с МП. Например, в системе автоматической стабилизации необходимо сравнивать действительное значение регулируемой величины с заданным. Таким образом, нужно постоянно осуществлять ввод информации с датчика, который контролирует регулируемую величину. Как правило, регулируемая величина имеет непрерывный характер. Следовательно, для ввода сигнала с датчика нужен аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Пусть время преобразования АЦП равно 10 мс. Это значит, что пока преобразование аналогового сигнала в цифровую форму не закончилось, показания с АЦП вводить в МП нельзя. Окончание преобразования в АЦП всегда фиксируется сигналом «конец преобразования». Этот сигнал можно использовать как готовность внешнего устройства к обмену данными с МП.

Следовательно, МП все время должен проверять готовность внешнего устройства к обмену. И если в системе организован программный обмен, то программа должна будет находиться в цикле ожидания, пока не получит сигнал готовности.

Если взять среднее время выполнения одной команды для МП КР580 равным 5 мкс, то его производительность равна 200 тыс. команд в секунду. Значит, за 1 мс он выполнит 200 команд, за время преобразования АЦП, равное 10 мс, МП сможет выполнить 2000 команд. Этот пример свидетельствует о том, что программный обмен информацией между внешними устройствами и МП приводит к непроизводительным потерям времени микропроцессора в циклах ожидания. В автоматических системах таких медленно действующих устройств

много. Например, исполнительные механизмы в виде электрогидроклапана имеют время срабатывания 0,1—0,3 с, включают магнитные пускатели и реле и др.

Непроизводительные потери времени МП можно уменьшить, если организовать обмен информацией в системе с использованием прерываний. В этом случае при готовности внешнего устройства к обмену оно посылает в МП сигнал запроса прерывания (INR) или запроса на обслуживание. Сигнал INR может появиться в любой момент времени, т. е. асинхронно по отношению к работе МП.

Таким образом, заранее неизвестно, в каком месте программы и какие внешние устройства запросят прерывания, поэтому пользоваться программным обменом в этом случае не представляется возможным.

Для организации обмена по прерываниям МП, получив от внешнего устройства сигнал запроса INR, вырабатывает сигнал подтверждения прерывания INRE, прерывает выполнение основной программы и переходит к выполнению подпрограммы обслуживания внешнего устройства. После окончания подпрограммы МП возобновляет выполнение прерванной программы.

Внешнее устройство должно сохранять сигнал запроса INR до получения сигнала подтверждения прерывания INRE. Сигнал запроса прерывания для обслуживания АЦП лучше реализовать с использованием параллельного интерфейса КР580ИК55 в режиме 1.

Сигнал «конец преобразования» используется как сигнал стробирования СТБ поступления данных с АЦП в приемный буфер данных порта А через вход порта С<sub>4</sub>. После того как данные поступили в приемный буфер порта А, разряд С<sub>3</sub> устанавливается в единицу, который и используется как сигнал запроса INR.

В процессе выполнения основной программы в РОН, аккумуляторе и регистре признаков МП хранится промежуточная информация, а в счетчике команд — адрес следующей команды. При прерывании микропроцессор переходит к подпрограмме обслуживания внешнего устройства, которая тоже использует РОН, аккумулятор. Следовательно, промежуточную информацию РОН, аккумулятора, РП и адрес, в котором прерывалась основная программа, нужно запомнить.

При прерывании содержимое счетчика команд (адрес) автоматически запоминается в стеке, а содержимое РОН, аккумулятора и регистра РП необходимо программно пересылать в стек, чтобы по окончании подпрограммы обслуживания внешнего устройства восстановить прерванную программу.

Как правило, в автоматических системах несколько устройств нуждаются в работе с прерываниями, а МП имеет всего один вход запроса прерывания. Поэтому в системе необходимо устройство, которое объединяло бы все запросы прерываний, анализировало важность (приоритет) каждого запроса и вырабатывало сигнал запроса для микропроцессора. В МП серии К58-э эти функции выполняет программируемый контроллер прерываний (ПКП). Его целесообразно использовать в МП-системах, в которых в процессе управления необходимо изменять приоритет отдельных устройств, разрешать или запрещать прерывания отдельным устройствам в какие-то моменты времени, а всем остальным устройствам присваивать одинаковый приоритет.

Контроллер обеспечивает обслуживание 8 запросов прерываний от внешних устройств (IR0—IR7). С помощью сигналов каскадирования (CAS0 — CAS2) и сигналов SP количество запросов прерываний может быть доведено до 64.

При запросе прерывания внешним устройством на один из входов (IR0 — IR7) подается высокий уровень сигнала (в потенциальной или импульсной форме). ПКП воспринимает этот запрос, анализирует приоритет внешнего устройства и вырабатывает сигнал INR запроса прерывания МП.

МП в такте  $T_2$  последнего машинного цикла текущей команды анализирует свой вход INR, и если триггер прерываний (ТПП) находится в единице (прерывания разрешены командой EI), то по завершению этой команды вырабатывает сигнал подтверждения прерываний (INRE) для ПКП. Получив сигнал INRE, ПКП выставляет на шину данных (DO — D7) код операции команды CALL (вызов подпрограммы).

По сигналу RD код операции команды CALL пересылается в МП и декодируется. Получив код операции команды CALL от ПКП, МП вырабатывает еще два сигнала подтверждения прерываний (INRE) для ввода второго и третьего байта команды CALL (адресной части команды), которые вырабатывает ПКП и представляют собой начальный адрес подпрограммы обслуживания внешнего устройства. После этого управление в системе передается подпрограмме, а после ее завершения возвращается к прерванной программе. Запросы прерываний воспринимаются и запоминаются в регистре запросов (РЗП). Обслуживаемые прерывания запоминаются в регистре РОП, в регистре РМ запоминается маска прерываний. Управление режимами ПКП осуществляется программно с помощью управляющих слов — команд инициализации (КИ) и команд управления (КУ), которые засылаются микропроцессором в ПКП по команде OUT.

Управляющие слова хранятся в регистрах команд инициализации (РКИ) и команд управления (РКУ). В регистре состояния (РС) хранится информация о состоянии регистров РЗП, РМ, РОП.

По фронту сигнала запроса прерываний от внешних устройств (IR0 — IR7) ПКП вырабатывает сигнал INR. После получения первого сигнала подтверждения прерываний INRE от МП, этот запрос прерываний от внешнего устройства запоминается в регистре РЗП.

После третьего сигнала INRE, полученного от МП, контроллер устанавливает соответствующий разряд РОП в единицу и сбрасывает установленный запросом разряд регистра РЗП. Установка разряда в единицу в РОП предотвращает повторное прерывание от данного входа и всех других входов с меньшими приоритетами. Сброс разряда регистра РОП осуществляется программно с помощью команд управления в конце подпрограммы обслуживания прерываний.

Если в процессе управления необходимо запретить прерывание какому-либо устройству, то для этого используется маскирование данного входа IR. Код маски с помощью управляющего слова КУ пересылается микропроцессором в ПКП и запоминается в регистре РМ. Сигнал запроса прерываний фиксируется в регистре РЗП, но если этот запрос замаскирован, ПКП не вырабатывает сигнал INR для МП.

При использовании режима маскирования не запрещаются прерывания с меньшими приоритетами. Сигналы чтения RD и запись Wft для ПКП формируются с использованием сигналов ввода и вывода регистра состояния МП. Сигнал выборки кристалла CS подается от дешифратора внешних устройств, но адресоваться к ПКП можно и как к ячейке памяти.

На вход АО подается сигнал с нулевого разряда шины адреса (АО). При подаче на вход SP высокого уровня сигнала (+5 В) ПКП работает в режиме ведущего. Если вход SP заземлить, то ПКП работает как ведомый, а входы каскадирования CAS0—CAS2 подсоединяются к ведущему ПКП и являются входными сигналами. После включения напряжения питания в ПКП пересылаются команды инициализации КИ-1, КИ-2, КИ-3, которые определяют наличие в системе одного или нескольких контроллеров, интервал между начальными адресами подпрограмм обслуживания прерываний. При пересылках команд инициализации из МП в ПКП прерывания МП должны быть запрещены командой DI. При пересылке в ПКП команды КИ-1 обнуляются все регистры, входу ЗПО автоматически присваивается высший приоритет, а ЗП7 — низший.

Каждому входу запроса прерываний (IR) соответствует определенный адрес в памяти, который выдает ПКП на шину данных после получения от МП сигнала INRE. Начальные адреса, соответствующие запросам прерываний (ЗП) расположены равномерно через 4 или 8 байтов и определяются командой КИ-1. Всего команд КИ-1 ПКП имеет 32. На каждую команду КИ-1 ПКП вырабатывает восемь младших байтов адреса подпрограммы обслуживания. Каждый младший байт адреса соответствует определенному запросу прерывания (IR). Старший байт адреса подпрограммы обслуживания определяется командой КИ-2. С помощью этой команды подпрограммы обслуживания прерываний можно располагать в любой области памяти. Если в системе один ПКП, то команда КИ-3 не используется, если несколько ПКП, то в ведущий ПКП пересылается команда КН-ЗFFH, а в ведомые от ООН до 07H в зависимости от номера ПКП. Каждый ведомый ПКП может быть запрограммирован на работу в любом режиме. Команды инициализации пересылаются в ПКП последовательно одна за другой — КИ-1, КИ-2, КИ-3 командами OUT. После этого ПКП запрограммирован для работы в режиме вложенных прерываний, т. е. запрос с высшим приоритетом прерывает подпрограмму обслуживания с низшим.

Рассмотрим пример программирования ПКП, адрес которого 74H, с интервалом между начальными адресами, равным 8 байтов.

OFOO DI;	запретить	прерывания микропроцессора;
OFOI MVIА, 92H; пересылка		КИ-1 (12H) в аккумулятор
OF03 OUT 40H; пересылка		КИ-1 в ПКП
OF05 MVIА, 0FH; пересылка		КИ-2 (старшего байта адреса подпрограммы) в аккумулятор
OF07 OUT 41H; пересылка		КИ-2 (08H) в ПКП
OF09 EI;	разрешить	прерывания микропроцессора.

Если, например, после этого появится сигнал запроса прерывания

на входе  $IR_3$ , то ПКП после получения первого сигнала подтверждения прерывания  $INRE$  от МП на шину данных выдает код операции команды  $CALL$  после второго сигнала  $INRE$ , на шину данных ПКП выдает младший байт адреса ( $18H$ ), а после третьего сигнала  $INRE$  — старший байт адреса ( $08H$ ) подпрограммы обслуживания прерываний, соответствующей запросу прерывания ( $IR_3$ ).

В процессе управления часто возникает необходимость изменить приоритеты внешних устройств (ВУ) или запретить прерывания. Для этого используются команды управления  $KY-1$ ,  $KY-2$  и  $KY-3$ , которые заносятся в ПКП микропроцессором по команде  $OUT$ . С помощью команды  $KY-1$  устанавливается маска на запросы прерываний. Маска — это восьмиразрядное слово, каждый разряд которого соответствует определенному запросу прерываний. Если в каком-либо разряде маски установлена единица, то соответствующий запрос считается замаскированным и необслуженным останется до тех пор, пока маска не будет снята.

Для обеспечения повторного обслуживания какого-либо запроса прерываний в режиме вложенных прерываний в конце каждой подпрограммы с помощью команды  $KY-2$  ( $20H$ ) сбрасывается бит  $POП$ , соответствующий максимальному приоритету. Для других режимов ПКП сброс бита  $POП$  осуществляется с помощью  $KY-2$ , ( $60H$  —  $67H$ ), при этом номер бита  $POП$  указывается полем команды. С помощью команд  $KY-2$  ( $C0H$  —  $C7H$ ) можно установить низший приоритет входу запроса прерывания, номер которого тоже указывается полем команды. Состояние регистра  $POП$  при этом не изменяется, приоритет остальных запросов циклически сдвигается. Командами  $KY-2$  можно задать режим циклического приоритета. По команде  $A$ - $\&H$  сбрасывается бит  $POП$  с максимальным приоритетом и этому входу устанавливается низший приоритет. Приоритеты остальных входов циклически сдвигаются.

С помощью команд  $E0H$  —  $E7H$  сбрасывается бит  $POП$ , определяемый командой, ему присваивается низший приоритет, а у остальных входов приоритеты циклически сдвигаются по часовой стрелке.

В процессе управления может возникнуть необходимость в разрешении прерываний устройствами, которые имеют низший приоритет по сравнению с обслуживаемым. Такой режим можно обеспечить установкой в ПКП режима спецмаскирования командой  $KY-3$  ( $68H$  или  $78H$ ). Отменяется режим спецмаскирования командами  $KY-3$   $48H$  или  $C8H$ .

В системах управления встречается режим, при котором микропроцессор программно опрашивает запросы прерываний, поступающие от внешних устройств, и если запросы поступили, то МП определяет номер запроса, его приоритет и производит обслуживание запроса прерывания. Этот режим обеспечивает ПКП, если в него занести управляющие слова  $KY-3$   $0CH$  и  $8CH$ . В данном режиме микропроцессор опрашивает не сами внешние устройства, а контроллер, который может работать в любом режиме. ПКП принимает запросы от внешних устройств и формирует слово состояние опроса, в котором разряд  $D7$  определяет наличие запросов, а три разряда  $D0$  —  $D2$  указывают номер запроса с наивысшим приоритетом. Слово состояние опроса ПКП выставляет на шину данных.

По команде IN микропроцессор считывает слово состояния опроса с ПКП, программно дешифрует его и переходит к соответствующей подпрограмме обслуживания внешнего устройства. Если запросы на прерывания от внешних устройств отсутствуют, слово состояния имеет значение 07H. Во время выполнения режима программного опроса прерывания МП запрещаются командой D1. Состояние ПКП определяется содержимым регистров запросов прерывания (РЗП), обслуживаемых прерываний (РОП) и регистра масок (РМ).

Определяется содержимое РЗП засылкой управляющего слова КУ-3 (8АН или ОАН) в ПКГ1 командой ОУТ с последующим считыванием содержимого РЗП командой IN. Аналогично определяется содержимое РОП только с помощью управляющих слов КУ-3 8ВН или#ВН. Содержимое регистра маски (РМ) считывается по команде IN, при этом в адресе ПКП должно быть учтено то, что АО = 1.

Если число внешних устройств, которые обслуживаются по прерываниям, больше восьми, то используется каскадное включение ПКП. В этом случае на вход SP ведущего ПКП подается единица (+5В), а у ведомых данные входы заземляются.

Входы каскадирования CAS0 — CAS2 соединяются параллельно и для ведущего Г1КП они являются выходными, а для ведомых — входными. Поскольку шина каскадирования трехрядная, следовательно, к ведущему ПКП может быть подсоединено восемь (2<sup>3</sup>) ведомых ПКП, и число запросов на прерывания расширяется до 64. При каскадном включении контроллеров режим каждого из них устанавливается с помощью трех соответствующих команд инициализации (КИ-1, КИ-2 и КИ-3).

Фрагмент программы установки режимов ПКП при каскадном включении приведен ниже:

```

1000 DI          запретить прерывания
1001 MV1A; переслать КИ-1 ( ^ ) в аккумулятор
1002 OUT; переслать КИ-1 ( / ) в ведущий ПКП0
1004 MV1A; пересылка КИ-2 ( • ) в аккумулятор
1006 OUT; пересылка КИ-2 ( ) в ведущий ПКП0
1008 MV1A;
100A OUT; пересылка КИ-3 в ведущий ПКП0
100C MV1A;
100E OUT; пересылка КИ-1 в ведомый ПКП-1
1010 MV1;
1012 OUT; пересылка КИ-2 в ведомый ПКП-1
1014 MV1;
1016 OUT; пересылка КИ-3 в ведомый ПКП-1
1018 MV1;
101A OUT; пересылка КИ-1 для ведомого ПКП-2
101C MV1;
101E OUT; пересылка КИ-2 для ведомого ПКП-2
1020 MV1;
1022 OUT; пересылка КИ-3 для ведомого ПКП-3
1040 EI;          подпрограмма обслуживания
                  разрешить прерывания

```

Самый высокий приоритет имеет вход IR0 ведущего контроллера, а самый низкий IR7 тоже ведущего ПКП. При наличии сигнала запроса прерывания IR на входе ведомого ПКП последний выставляет сигнал запроса INR для ведущего ПКП, который анализирует приори-

тет этого запроса и выставляет сигнал запроса прерывания INRE к микропроцессору.

После получения первого сигнала подтверждения прерывания INRE от МП ведущий ПКП выдает на шину данных микропроцессора код операции команды CALL, а на шине CASO — CAS2 код ведомого ПКП, который запросил прерывания. По второму и третьему сигналам INRE, вырабатываемым микропроцессором, ведомый ПКП выдает на шине данных второй и третий байт адреса команды CALL, т. е. адрес подпрограммы, соответствующей входу, запросившему прерывания. В это же время устанавливаются в единицу соответствующие биты регистров обслуживаемых прерываний (РОП) как в ведущем ПКП, так и в ведомом.

Каскадное включение ПКП при разработке подпрограмм обслуживания прерываний вносит свои особенности. После засылки в ПКП команд инициализации КИ-1, КИ-2 и КИ-3 еще не обеспечивается режим вложенных прерываний. Это объясняется тем, что при обслуживании прерывания ведомого контроллера в ведущем ПКП соответствующий бит РОП установлен в единицу. Если во время данного обслуживания в ведомом ПКП запрашивает прерывания вход, имеющий более высокий приоритет, то он обслужен не будет, поскольку не сброшен бит РОП ведущего ПКП. Для устранения такого недостатка в подпрограмме обслуживания прерывания внешнего устройства, подключенного к ведомому ПКП, необходимо замаскировать входы ведущего ПКП с меньшим приоритетом по отношению ко входу, к которому подключен ведомый, и сбросить бит РОП того входа, к которому подключен ведомый ПКП командами 60H — 67H.

Размаскирование входов ведущего ПКП осуществляется в конце подпрограммы обслуживания прерывания с наименьшим приоритетом ведомого контроллера. Следовательно, в подпрограммах обслуживания прерываний ведомых ПКП нужно предусмотреть временное запоминание в ОЗУ или РОН содержимого регистра масок (PM) ведущего ПКП и с последующим восстановлением его содержимого.

В автоматических системах объекты управления могут находиться на значительных расстояниях друг от друга и от центрального управляющего устройства. Обмен информацией в параллельном формате в этих случаях затруднен как с технической точки зрения, так и с экономической.

Поскольку с увеличением расстояния возрастает емкость кабеля, это приводит к искажениям фронтов импульсов и потере информации. С экономической точки зрения параллельный обмен не целесообразен, так как на каждый разряд кодовой комбинации необходим отдельный провод, и при значительных расстояниях стоимость такого канала связи будет неоправданно высокой. Поэтому в подобных случаях наиболее целесообразно применение последовательного обмена. С другой стороны, обмен информацией между узлами в системе в последовательном формате накладывает ограничения на быстрдействие системы.

Налажен серийный выпуск БИС, обеспечивающих преобразование параллельного формата в последовательный и наоборот. Одно из наиболее характерных устройств последовательного обмена — БИС

К580ИК51, представляющая собой универсальный синхронно-асинхронный приемопередатчик (УСАПП). Эта БИС осуществляет синхронный или асинхронный обмен данными между МП и внешними устройствами в последовательном формате. Скорость передачи, форматы передаваемых данных и режим работы БИС устанавливаются программно с помощью управляющих слов, которые заносятся микропроцессором в нее по команде OUT перед началом работы.

Обмен информацией между УСАПП и внешними устройствами (терминалами или модемами) осуществляется в последовательном формате по сигналам «Запрос» и «Готовность». Эти сигналы обеспечивают асинхронный обмен между медленно действующими терминалами и УСАПП. Таким образом, УСАПП выполняет функции связи внешних устройств (ВУ) с МП, являясь буфером и последовательно-параллельным преобразователем информации.

Скорость обмена между МП и УСАПП определяется сигналами  $\overline{WR}$  и RD, а между УСАПП и ВУ — частотой сигналов синхронизации приемника или передатчика ( $СП_p$ ,  $СП_d$ ), которая имеет максимальное значение 56 кГц. Следовательно, один байт информации из МП и УСАПП передается за 5 мкс, а из УСАПП в ВУ — 150 мкс, т. е. в 30 раз медленнее. На этом основании наиболее целесообразно использовать режим прерываний при последовательном обмене. Для этого применяются сигналы «Готовность передатчика» и «Готовность приемника» как запросы на прерывание в программируемый контроллер прерываний.

Поскольку ВУ имеют различное быстродействие, частоту сигналов синхронизации  $СП_d$  и  $СП_p$  целесообразно задавать с помощью таймера в режиме генератора программируемой частоты. Когда УСАПП работает только на линию связи (терминалы и модели отсутствуют), сигналы управления обменом между УСАПП и терминалом (модемом) не используются.

Процесс обмена информацией в последовательном формате может быть организован с помощью как минимум двух УСАПП, один из которых будет работать в режиме передачи, другой — в режиме приема.

В асинхронном режиме для синхронизации работы двух УСАПП перед каждым словом данных БИС устанавливает стартовый бит, а в конце слова стоповый. При этом число стоповых бит может быть 1; 1,5; 2 и задается программно. Длина передаваемого слова устанавливается программно и может составлять 5,6,7 или 8 бит. Асинхронный режим обеспечивает скорость передачи до 9,6 К бит/с, синхронный до 56 К бит/с. Если длина передаваемого слова менее 8 бит, то неиспользуемые биты заполняются нулями. Для надежности обмена информацией в УСАПП предусмотрен режим с контролем на четность (и без него).

Таким образом, в асинхронном режиме при передаче 8 бит информации с контролем на четность УСАПП выдает в линию связи 11 бит, т. е. 27 % сигналов являются контрольными, а 73 % информационными, а при длине передаваемого слова в 5 бит контрольных сигналов передается 37 %. Поэтому асинхронный режим наиболее целесообразно использовать для передачи информационных массивов небольшой размерности (менее 100 бит). В остальных случаях более выгодным явля-

ется синхронный режим. В синхронном режиме данные передаются целыми массивами. Для синхронизации работы приемника используется один или два восьмиразрядных слова (синхросимволы), которые всегда передаются в начале массива.

Передачик в синхронном режиме работает постоянно, и если данные в УСАПП отсутствуют, то на выход передачика (в линию связи) выдаются синхросимволы. В блок управления из МП пересылаются управляющие слова и команды, которые хранятся в регистре управления и регистре команд и определяют режим работы УСАПП. Состояние УСАПП в процессе работы может измениться при наличии сбоев и ошибок и будет отличаться от установленного в начале работы. Для того чтобы узнать состояние УСАПП в любой момент времени, в нем предусмотрен регистр состояния.

Разряд Д5 регистра состояния устанавливается в единицу, если в конце посылки не обнаруживаются биты останова. Д4 устанавливается в единицу, если МП вовремя не считал данные с УСАПП (переполнение). Д3 устанавливается в единицу, если в принятых данных при проверке на четность (нечетность) обнаруживается ошибка. Каждая из ошибок не прерывает работы УСАПП. Биты ошибок (Д5, Д4, Д3) устанавливаются в исходное состояние инструкцией команды.

При передаче информации из МП в УСАПП она поступает в регистр передачика, а затем в сдвиговый регистр, откуда выталкивается в линию связи с частотой сигнала синхронизации передачика (СП<sub>д</sub>). Таким образом, передачик преобразует поступивший из МП параллельный 8-разрядный код в последовательный с добавлением бита четности (нечетности), а в асинхронном режиме — еще стартового и стопового битов.

Информация из линии связи в УСАПП поступает на вход приемника в последовательном коде. При синхронном режиме УСАПП приемник находится в активном ожидании, т. е. побитно с частотой сигналов СП<sub>д</sub> принимает поступающую информацию и сравнивает содержимое регистров синхросимволов и сдвиговых. При совпадении содержимого этих регистров схема сравнения выдает через схему «И» сигнал разрешения на прием данных из линии связи и преобразование их в параллельный формат в регистре приемника. Таким образом, символами синхронизации осуществляется адресация передачика к УСАПП из линии связи. Принятая информация пересылается из регистра приемника в МП или по командам ввода с внешних устройств (Ш) или по командам пересылки из памяти в МП.

УСАПП позволяет осуществлять обмен информации между МП и внешними устройствами как в режиме прерываний с использованием сигналов ГП<sub>р</sub> и ГП<sub>д</sub>, КП,, ВидСНХ, так и программно-управляемый обмен с использованием программного считывания слова состояния. Считывание слова состояния приводится при единичном уровне сигнала на входе У/Д.

При передаче в асинхронном режиме перед засылкой данных в УСАПП последний должен быть запрограммирован управляющим словом, определяющим режим работы. В данном случае программируется количество стоп битов (1; 1,5; 2) и коэффициент деления частоты сигналов СП<sub>д</sub>. После записи данных в УСАПП в параллельном'

формате производится автоматическое присоединение к каждой посылке старт-бита и стоп-бита. Бит контроля четности вводится перед стоп-битом и может иметь единичное или нулевое значение.

Посылка в виде потока последовательных данных выталкивается на выход передатчика (Вых П<sub>д</sub>) с частотой, кратной 1 : 1, 1 : 16; 1 : 64 части частоты сигналов СП<sub>д</sub>. Если УСАПП не содержит данных для передачи внешнему устройству, то на выходе «Вых П<sub>д</sub>» устанавливается напряжение логической единицы. При установке в УСАПП режима останова на выходе «Вых П<sub>д</sub>» устанавливается напряжение логической единицы.

В режиме асинхронного приема, если на входе приемника «Вх П<sub>р</sub>» присутствует напряжение логической единицы, это свидетельствует, что в данный момент информация в приемник не поступает. Появление на входе «Вх П<sub>р</sub>» напряжения логического нуля свидетельствует о приходе старт-бита, истинность которого проверяется вторично стробированием в его середине. При подтверждении старт-бита запускается счетчик бита, который позволяет определять конец бита данных, бит контроля на четность, количество стоп-битов. Если старт-бит не подтверждается, прием прекращается, и УСАПП возвращается в исходное состояние. Если прием произведен правильно, стоп-бит сигнализирует, что данные находятся в регистре приемника, на выходе ГП<sub>р</sub> устанавливается напряжение логической единицы, свидетельствующее о том, что УСАПП готов передать данные в МП. Этот сигнал может быть использован как запрос на прерывание в ПКП. Если по какой-либо причине данные из УСАПП микропроцессором не выбраны, то принятые новые данные заменяют старые (т. е. предыдущие теряются), а в регистре состояния бит переполнения Д4 устанавливается равным единице.

При передаче в синхронном режиме после записи в УСАПП управляющего слова, определяющего режим работы (количество синхросимволов, вид синхронизации), самих синхросимволов, данных и инструкции команды 01Н и при наличии на входе сигнала ГП<sub>рТ</sub> напряжения логического нуля, передатчик начнет выталкивать из регистра передатчика на выход «Вых П<sub>д</sub>» информацию со скоростью сигналов СП<sub>д</sub>. Первыми выталкиваются в линию связи синхросимволы, а затем данные.

Если на какое-то время МП не передает в УСАПП очередные данные, то для предотвращения потери синхронизации между двумя УСАПП или УСАПП и модемами в поток данных автоматически вставляются синхросимволы, а на выходе КП<sub>д</sub> устанавливается напряжение логической единицы, информирующее МП о том, что в УСАПП отсутствуют данные для передачи. При наличии данных в УСАПП сигнал КП<sub>д</sub> сбрасывается в ноль.

В синхронном режиме прием может осуществляться как с внутренней, так и с внешней синхронизацией. В режиме с внутренней синхронизацией работа УСАПП начинается с поиска синхросимволов. В данном случае непрерывно сравнивается содержимое регистров сдвига и регистров синхросимволов. Если содержимое двух регистров не одинаково, то УСАПП принимает следующий бит информации и сравнение повторяется.

Когда содержимое регистров синхросимволов и сдвиговых регистров становится одинаковым, на выходе «Вид СНХ» устанавливается напряжение логической единицы, свидетельствующее о наступлении синхронизма, и что данные предназначены для этого УСАПП1. В данном случае схема сравнения выдает сигнал разрешения через схему «И» на прием данных из линии связи в регистр с приемника. Формат посылки при приеме аналогичен формату при передаче. Если УСАПП запрограммирован для работы с внешней синхронизацией, то вывод «Вид СНХ» является входом для сигналов внешней синхронизации, которые поступают от внешнего устройства (терминала, модема). Этот сигнал разрешает прием информации по входу приемника с частотой СП<sub>р</sub>. При этом длительность внешнего сигнала, подаваемого на вход «Вид СНХ», должна быть больше или равна периоду сигналов СП<sub>р</sub>. Ошибки четности и переполнения фиксируются в регистре состояния УСАПП аналогично асинхронному режиму.

В МП-системах управления, контроля и обработки информации в некоторых случаях появляется необходимость пересылать информацию между памятью и внешними устройствами, но при этом МП не должен отвлекаться для выполнения данных пересылок. Этот режим называют прямым доступом к памяти (ПДП). Он может оказаться очень выгодным, когда в МП-системе необходимо часто снимать показания каких-либо датчиков, формировать из них массивы, которые затем будут обрабатывать микропроцессором.

Режим ПДП целесообразно использовать во многопроцессорных МП-системах, когда программа работы каждого микропроцессора задается и пересылается центральным процессорным блоком.

Обмен данными в режиме ПДП широко применяется в вычислительных машинах при пересылке информации во внешнюю память, например, накопитель на гибких магнитных дисках (НГМД). Обеспечивается режим ПДП как аппаратными, так и программными средствами. Аппаратные средства называют контроллерами ПДП.

Внешние устройства (ВУ) выставляют запросы на прямой доступ к памяти на вход контроллера ПДП (ЗПДП). После анализа приоритетности запросов контроллер ПДП выставляет на выходе сигнал разрешения ПДП соответствующему устройству (РПДП<sub>у</sub>).

Контроллер ПДП обеспечивает двунаправленный обмен информацией между внешними устройствами и памятью путем выдачи в адресный канал МП-системы массива адресов ячеек памяти, в которые будет записываться (или считываться), а также вырабатывает управляющие сигналы, обеспечивающие этот обмен.

В микропроцессорном комплекте серии К580 выпускается БИС программируемый контроллер прямого доступа к памяти (ПКПДП) КР580ВТ57. В процессе обмена информацией между памятью и внешними устройствами ПКПДП вырабатывает управляющие сигналы, обеспечивающие обмен и формирует последовательность адресов, куда записывается информация или где считывается. Контроллер содержит четыре независимых канала обмена (канал 0 — канал 3). В каждом канале имеется 16-разрядный регистр адреса, в котором хранится начальный адрес памяти для передаваемого массива и 16-разрядный регистр управления, 14 разрядов (АО — А13) которого

определяют длину передаваемого массива (число передаваемых циклов прямого доступа). Разряды A14 — A15 регистра управления определяют режим обмена (00 — контроль, 01 — запись в память, 10 — чтение памяти, 11 — запрещенная комбинация).

Запись информации в регистры адреса и управления осуществляется микропроцессором по командам OUT, причем для записи 16-разрядных чисел необходимо команду OUT выполнить два раза подряд при одних и тех же значениях сигналов шины адреса АО — А3.

Считывание содержимого регистров адреса и регистров управления производится по команде IN с одним и тем же значением сигналов АО — А3. Сначала будет считан младший байт, затем — старший. Следует помнить, что при программировании режимов работы ПКПДП следования в системе должны быть запрещены. В регистре режима хранится управляющее слово. Состояние каналов ПКПДП хранится в регистре состояния. Информация в регистр режима только записывается, а из регистра состояния только считывается.

Сигналы при программировании ПКПДП на разрядах АО — А3 шины адреса определяют адресацию к регистрам ПКПДП, а А4 — А7 используется для формирования сигналов ВК.

А3 = 0 — адресация к регистрам адреса и управления;

А3 =\* 1 — адресация к регистрам режима и состояния;

А2 и А1 — определяют один из четырех каналов (00 — канал 0; 01 — канал 1; 10 — канал 2; 11 — канал 3);

АО = 0 — адресация к регистру адреса;

АО = 1 — адресация к регистру управления.

Например, состояние сигналов АО — А3 следующее: 1010. Это значит, что информация пересылается в регистр управления канала 2. Каждый канал воспринимает свой входной сигнал запроса «ЗПДП<sub>н</sub>» и выдает соответствующий выходной сигнал «подтверждение запроса» «РПДП<sub>н</sub>». Если нет режима циклического сдвига приоритета, то вход «ЗПДПО» — наивысший приоритет, а «ЗПДПЗ» — наименьший.

По сигналу сброс «СВР» все внутренние узлы БИС устанавливаются в исходное состояние и маскируются все входы ЗПДПО — ЗПДПЗ. Тактирование работы ПКПДП осуществляется по входу «СИНХ» обычно импульсами фазы Ф2 ТТЛ-уровнем. Входной сигнал «ГОТ» (готовность) указывает на готовность памяти и внешних устройств к приему информации. С помощью этого сигнала можно удлинить циклы чтения или записи в состоянии ожидания тогда, когда этого требует медленно действующая память.

Сигнал «КС» указывает, что текущий цикл ПДП последний. На выходе «КБ» ПКПДП вырабатывается сигнал, когда до конца передаваемого массива осталось число циклов ПДП, кратное 128.

При поступлении от внешних устройств сигналов запросов на прямой доступ к памяти ПКПДП вырабатывает сигнал захвата шин (ЗХВ) для МП. Сигналом «ПЗХВ» микропроцессор подтверждает, что он отключился от шин системы, а контроллер при этом вырабатывает сигнал запрета («ЗПТ»), блокирующий другие узлы в системе от связи с шинами. После этого ПКПДП выдает внешнему устройству, выставившему запрос сигнал разрешения (РПДП) и выставляет адрес ЗУ, причем младший байт адреса устанавливается на шине адреса (АО — А7), а старший байт адреса на шине данных и по сигналу стробирования

СТ через буферный регистр передается на старшие разряды — А8 — А15 шины адреса

Сигналами ЧТЗУ, ЗПЗУ, ЧТВВ, ЗПВВ ПКПДП пересылает байт данных от внешнего устройства в память (или из памяти во внешнее устройство) по адресу, указанному на его шине. В первом цикле ПД на шине адреса выставляется начальный адрес памяти, а в последующих циклах адрес увеличивается на единицу до тех пор, пока число циклов ПДП не станет равным заданному в регистре управления. ПКПДП передает информацию до тех пор, пока внешнее устройство вырабатывает сигнал ЗПДП. Если запросы ПД отсутствуют, контроллер находится в состоянии ожидания. В зависимости от состояния разрядов А14 — А15 регистра управления возможны три различных режима: режим чтения, в котором осуществляется передача данных из памяти во внешнее устройство; режим записи — информация пересылается из внешнего устройства в память и режим контроля.

В режиме контроля ПКПДП работает так же, как и в первых двух режимах, т. е. осуществляет захват шин, только не вырабатывает сигналы ЧТЗУ, ЗПЗУ, ЧТВВ, ЗПВВ, и данные не передаются. Сигналы РПДГ1, вырабатываемые при этом ПКПДГ1, могут быть использованы внешним устройством для проверки правильности принятых данных.

Запросы на ПД воспринимаются контроллером только в том случае, если с помощью управляющего слова размаскирован соответствующий канал. Размаскирование осуществляется установкой единичных сигналов в разрядах Д0 — Д3 управляющего слова.

В процессе передачи данных из памяти или в память ПКПДП по одному из каналов с помощью управляющего слова можно установить режим отключения канала ( $D_6 = * 1$ ). В этом случае после появления сигнала КС канал будет замаскирован и для повторного реагирования контроллера ПДП на запрос обслуженного внешнего устройства необходимо программно размаскировать канал. При установке режима циклического приоритета после каждого цикла ПД приоритет каждого канала изменяется циклически, т. е. канал, обслуженный последним, имеет самый низкий приоритет. Режим расширенной записи (в управляющем слове  $D_5 = 1$ ) используется при работе с быстродействующими внешними устройствами. Сигналы ЗПДП и ЧТВВ в этом режиме вырабатываются несколько раньше и тем самым исключаются такты ожидания ПКПДП и увеличивается пропускная способность системы.

Режим автоматической загрузки в ПКПДП используется тогда, когда необходимо обеспечить повторную передачу массива (например, при проверке методом накопления). В этом режиме при программировании канала 2 в регистры канала 3 записывается та же информация, что и в канал 2 (начальный адрес, количество циклов ПД, режим передачи).

После передачи первого массива данных через канал 2 и появления сигнала КС на выходе ПКПДП, информация, находящаяся в регистрах канала 3, автоматически загружается в регистры канала 2. Содержимое регистров канала 3 при этом не изменяется.

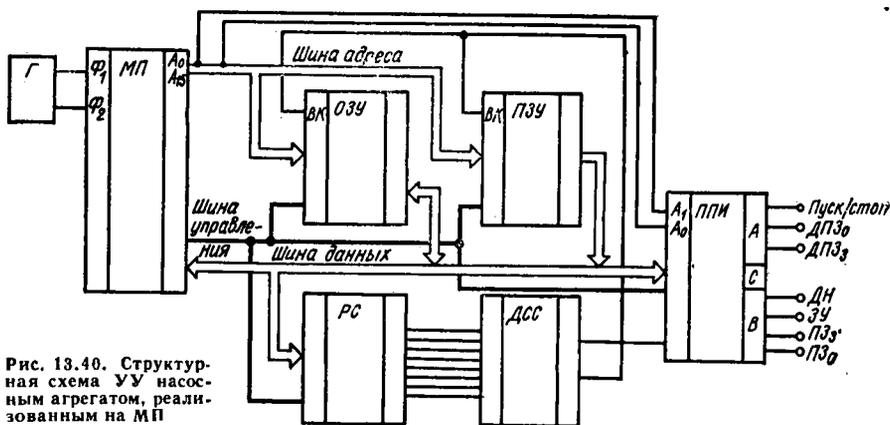


Рис. 13.40. Структурная схема УУ насосным агрегатом, реализованным на МП

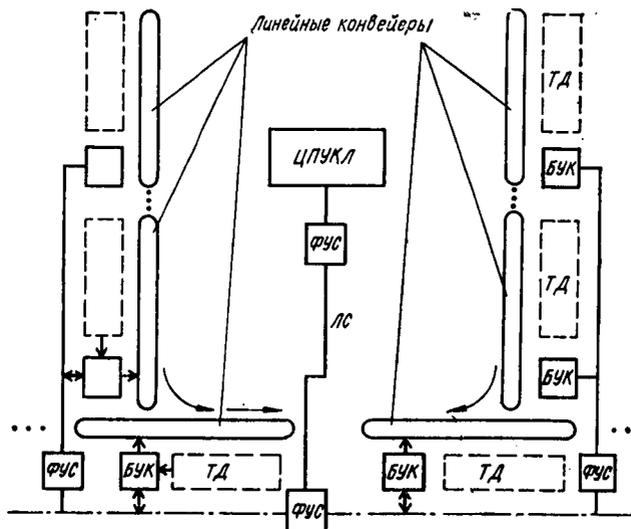
В каналы 2 и 3 может быть записана различная информация, но канал 2 должен быть загружен первым. В режиме автозагрузки канал 3 может участвовать автономно в организации прямого доступа, если размаскирован вход ЗПДП канала 3. Режим автозагрузки может быть использован также для регистрации изображения на электронно-лучевой трубке и передачи цепочек данных. В последнем случае содержимое регистров канала 3 должно все время заменяться новыми параметрами.

Организацию интерфейса в МП-системе рассмотрим на примере устройства управления насосным агрегатом (реализованного на МП серии К580 и БИС этого комплекта) К580ИК55 (рис. 13.40).

На рис. 13.40 видно, что сигналы от датчиков подключены к каналу А, следовательно, данный канал должен быть программно установлен на ввод. Исполнительные механизмы подключаются к каналу В, который устанавливается на вывод. Сигналы выбора кристалла для ППИ, ОЗУ и ПЗУ формируются деширатором внешних устройств (ДВУ). Если МП в данном машинном цикле работает с памятью, то сигнал В К появляется на входах ОЗУ и ПЗУ, если же МП работает с внешними устройствами (ВУ), то сигнал ВК появляется на входе ППИ. Слово состояния хранится в регистре состояния РС и заносится туда во время второго такта  $T_2$  в каждом машинном цикле. Сигналы ЧТ, ЗП вырабатываются МП и показаны в виде шины управления (ШУ). Сигналы временных задержек реализуются программно использованием пустых команд (NOP). Перед тем как написать программу работы УУ, необходимо составить ГСА, отражающую порядок обработки информации.

Рассмотрим возможность реализации системы управления конвейерным транспортом шахт и рудников на микропроцессорах. Современные горные предприятия имеют мощную разветвленную конвейерную сеть. В отдельных случаях число конвейеров превышает 100 единиц, а число ответвлений от магистральных направлений доходит до 25. В этих случаях к системам предъявляются повышенные требования.

Кроме общеизвестных требований по управлению пуском и остановкой конвейерной линии предъявляются требования по обеспечению поиска и индикации неисправностей, стабилизации грузопотоков.



[ Рис. 13.41. Структурная схема микропроцессорной системы управления конвейерной линией

САУ должна обладать достаточной гибкостью и универсальностью, информационной совместимостью с другими звеньями АСУ шахт. САУ управления конвейерными линиями можно расчленить на две подсистемы — верхнего и нижнего уровней. Подсистема нижнего уровня выполняет функции управления индивидуальным конвейером, который является достаточно сложным механизмом, оснащенным рядом технологических датчиков. На высшем уровне осуществляется управление всей транспортной сетью, выбираются необходимые маршруты движения груза, формируются команды на включение или отключение отдельных конвейеров, контролируется работа всей системы целиком.

Архитектура такой системы приведена на рис. 13.41. Центральный пульт управления (ЦПУ) посредством линии связи (ЛС) связан с каждым блоком управления конвейером (БУК). Все необходимые команды в ЦПУ, осведомительная и диагностическая информация от БУК подаются по ЛС.

БУК посредством технологических датчиков связан с управляемым конвейером. Кроме того, им же вырабатываются и команды на исполнительные механизмы. В БУК поступает информация от следующих технологических датчиков: защиты электропривода; скорости приводных барабанов; скорости ленты; завала мест перегруза; температуры приводных барабанов; схода ленты в сторону от направляющих; кабеля тросовых выключателей; предельного положения натяжной станции; наличия воды в системе орошения; наличия звуковой сигнализации.

Структурную схему системы управления конвейером можно представить в виде, приведенном на рис. 13.42, а. Сигналы от технологических датчиков (ТД) и от пульта управления (ПУ) поступают на вход блока гальванической развязки и нормализации, в которой они пре-

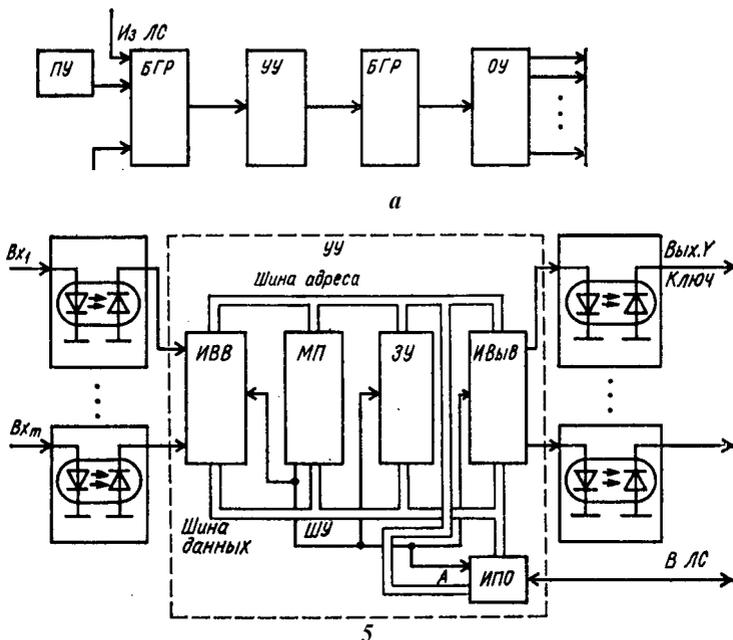


Рис. 13.42. Схема блока управления конвейером, реализованная на микропроцессоре:

а — структурная; б — функциональная

образуются к виду, удобному для введения в УУ. Устройство управления анализирует создавшуюся ситуацию и принимает соответствующее решение. Для гальванической развязки, усиления и приведения к нужному виду команда проходит через блок гальванической развязки и нормализации (усиления) выходных сигналов (БГР).

Структурная схема устройства управления конвейером, реализованная на микропроцессоре, приведена на рис. 13.42, б. На этом рисунке показан также один из вариантов построения блоков гальванической развязки и нормализации входных и выходных сигналов.

УУ состоит из следующих основных узлов: интерфейса ввода (ИВВ); микропроцессора (МП) запоминающего устройства (ЗУ); интерфейса последовательного обмена (ИПО). Все указанные устройства соединены между собой шинами данных, адреса и управления. Центральный узел УУ — микропроцессор. Он перерабатывает поступающую информацию от внешних устройств, вырабатывает все необходимые управляющие сигналы. МП также управляет входящими в УУ узлами.

Обрабатывается информация микропроцессором в соответствии с программой, заложенной в запоминающем устройстве. ЗУ содержит также команды для управления входным, выходным интерфейсами и интерфейсом последовательного обмена. Через ИПО осуществляется связь УУ с центральным пультом управления.

Построение ЦПУ аналогично построению УУ конвейером. ЦПУ связано с управляемыми конвейерами через ИПО.

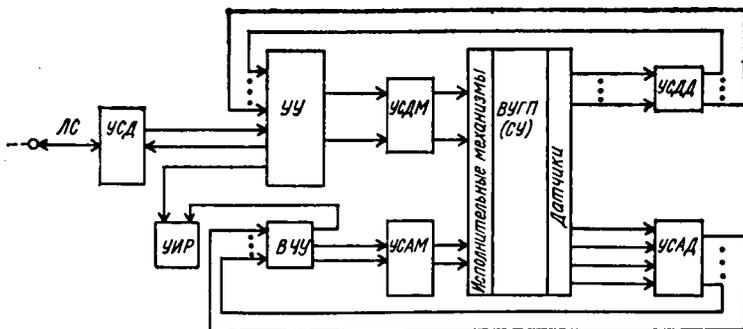


Рис. 13.43. Структурная схема системы управления вентилятором главного про« ветривания шахты

В последние годы требования к системам управления вентиляторными установками главного проветривания (ВУГП) значительно возросли. Это связано с увеличением глубины шахт, что, в свою очередь, требует повышения мощности электропривода, надежности и экономичности работы ВУГП.

Кроме функций, выполняемых комплектной аппаратурой автоматизации (УКАВ) вентиляторных установок, современная САУ должна стабилизировать производительность вентилятора и обеспечивать экономичные с точки зрения энергопотребления режимы его работы, иметь возможность включать ее в иерархическую структуру АСУ проветриванием, диагностировать работу оборудования, а также выполнять самодиагностику, обладать универсальностью использования, высокой надежностью и ремонтпригодностью. Структурная схема такой САУ приведена на рис. 13.43.

Сигналы дискретных датчиков, контролирующих работу технологического оборудования **ВУГП**, через устройство сопряжения дискретных входных сигналов (**УСАД**) поступают на вход устройства управления (**УУ**). В **УУ** в соответствии с жесткой программой управления (алгоритмом управления) сигналы дискретных датчиков преобразуются в сигналы управления, которые поступают через устройство сопряжения дискретных сигналов управления (**УСАМ**) на исполнительные механизмы **ВУГП**. Сигналы аналоговых датчиков, контролирующих производительность, депрессию  $H$  и скорость вращения вала вентилятора, а также перепад температуры воздуха, проходящего через канал вентиляторной установки, поступают через устройство сопряжения аналоговых входных сигналов (**УСАД**) на вход вычислительного устройства (**ВЧУ**). Последнее предназначено для реализации закона регулирования, обеспечивающего заданную производительность вентилятора и работу его с высокими энергетическими показателями. Сигналы управления, сформированные **ВЧУ**, поступают на исполнительные механизмы **ВУГП** через устройство сопряжения аналоговых сигналов управления (**УСАМ**). Отображает и регистрирует информацию о режимах работы ВУГП устройство индикации и регистрации (**УИР**), информация на которое поступает после соответствующей обработки от **УУ** или **ВЧУ**. Для организации обмена информацией с другими звеньями или уровнями АСУ проветриванием служит

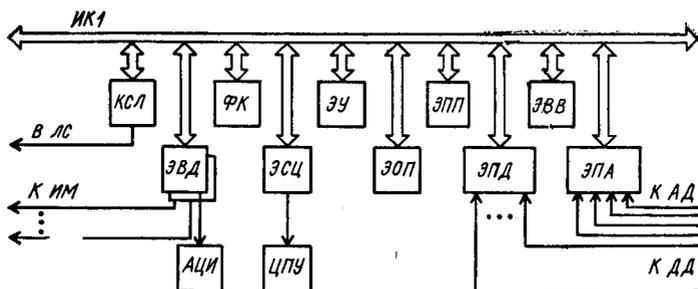


Рис. 13.44. Функциональная схема микропроцессорного устройства управления вентиляторами главного проветривания

устройство связи с диспетчером (*УСД*), непосредственно связанное с *УУ*.

На современном уровне развития средств вычислительной техники реализацию этой САУ целесообразно выполнять с помощью микропроцессоров.

Исходя из требований надежности, универсальности, а также с учетом простоты разработки элементной базой может быть использован агрегатированный комплекс КТС ЛИУС-2.

Функциональная схема САУ, построенная на базе этого комплекса, представлена на рис. 13.44. Функции *УУ* и *ЧУ* здесь выполняет микро-ЭВМ, в состав которой входят элемент управления (*ЭУ*), реализованный на базе микропроцессора K580ИК80 и предназначенный для выполнения логических и арифметических операций, предусмотренных программой, которая записана в элементе перепрограммируемой памяти (*ЭПП*) емкостью 8 Кбайт; элемента оперативной памяти (*ЭОП*) емкостью 1 Кбайт и элемента ввода-вывода сигналов времени, предназначенный для получения различных временных интервалов. Сигналы от аналоговых<sup>^</sup> и дискретных датчиков ВУГП поступают в *ЭУ* соответственно через элемент ввода аналоговых сигналов (*ЭПА*), служащий для коммутации и преобразования аналоговых сигналов, и элемент ввода дискретных сигналов (*ЭПД*), выполняющий гальваническую развязку и формирование сигналов. Сигналы управления от *ЭУ* поступают к ИМ ВУГП через элемент вывода дискретных сигналов (*ВД*), предназначенный для гальванической развязки и усиления по мощности этих сигналов. Для обмена информацией между *ЭУ* и другими подобными системами, удаленными на расстояние до 5 км, используется контроллер связи линейного типа (*КСЛ*). Связь между отдельными элементами системы осуществляется посредством интерфейсной магистрали *ИК.1*.

Функции *УИР* выполняют устройства, не входящие в состав КТС ЛИУС-2, — цифрочитающее устройство МП16 (*ЦПУ*) и алфавитно-цифровой индикатор ПИУ (*АЦИ*), которые подключены к системе через элементы КТС ЛИУС-2 (*ЭСЦ* и *ЭВД* соответственно). Для управления работой самой системы используется функциональная клавиатура (*ФК*).

В состав программного обеспечения САУ, выполненной на базе КТС ЛИУС-2, входят основные программы контроля и управления

ВУГП, реализующие требования по управлению ВУГП, и сервисные подпрограммы, необходимые для обеспечения надежной и бесперебойной работы самой системы.

### ***Контрольные вопросы***

1. По какому признаку производят разделение устройства управления на блоки?
2. На основании каких данных составляется входной и выходной алфавит устройства управления?
3. Зачем нужны таблицы переходов и выходов?
4. Что лежит в основе минимизации числа внутренних состояний автомата?
5. Что такое гонки в автомате и каковы методы их устранения?
6. В чем заключается разница между абстрактной и структурной моделями автомата?
7. Какие основные операции выполняются микропроцессором при управлении?
8. Какие виды адресации применяются в микропроцессоре K580?
9. Какие виды адресации используются в командах передачи управления?
10. Почему использование стека в ОЗУ является наиболее быстродействующим алгоритмом передачи данных в микропроцессор?

## Г л а в а 14. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

### 14.1. Общие положения

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и до 2000 года», принятых XXVII съездом КПСС записано! «...обеспечить в 1990 году добычу 780—800 млн. тонн угля. Получить весь прирост продукции за счет повышения производительности труда». «...Опережающими темпами развивать добычу угля прогрессивным открытым способом, повысить его долю в общей добыче не менее чем до 46 процентов».

Из этого следует, что более 50 % угля будет добываться подземным способом. Так как прирост его добычи должен быть получен за счет повышения производительности труда, нужно всемерно развивать механизацию и автоматизацию технологических процессов. Об этом в цитируемом документе записано следующее! «Шире применять системы автоматизированного оборудования для шахт и обогатительных фабрик. Довести уровень добычи угля из комплексно-механизированных очистных забоев до 78—80 процентов, комбайновой проходки горных выработок до 48—50 процентов»\*.

В двенадцатой пятилетке предстоит освоить выпуск средств шахтной автоматизации на микропроцессорной элементной базе, широко внедрять гибкие переналаживаемые производства, робототехнические комплексы. Это откроет путь к существенному расширению функциональных возможностей техники, обеспечению и эксплуатации в оптимальных режимах.

Основные усилия научно-исследовательских, проектно-конструкторских и производственных организаций должны быть сконцентрированы на автоматизации машин, предназначенных для работы на

\* Материалы XXVII съезда КПСС.— М., : Политиздат, 1986.— С. 295.

тонких, пологих и крутых пластах. Причем акцент необходимо делать на комплексной автоматизации всех производственных процессов. Предусматривается создание ряда автоматизированных комплексов с микропроцессорным управлением. В 1986 г. начались испытания автоматизированного комплекса КМ-138 на шахте «Распадская» в Кузбассе и бурильной установки УБШ-251 на шахте им. Засядько производственного объединения Донецкуголь.

В настоящее время средствами автоматизации оснащены 90 % очистных и 24 % проходческих комбайнов, все серийно выпускаемые струговые установки, около 27 % буровых станков и бурильных машин. Освоен выпуск оборудования, работающего только в режимах автоматизированного или дистанционного управления. Это очистные комбайны К-103, КД-80, КС-75, проходческие 4ПП-2М, буровые станки «Стрела-77», имеющие большие потенциальные возможности. Но реализовать их можно лишь при условии, что техника будет быстро и квалифицированно освоена горняками.

Итак, основные да и вспомогательные процессы подземных горных работ автоматизированы далеко не все, а некоторые, хотя и автоматизированы, но многие средства и системы морально устарели и требуют замены.

Основные средства в двенадцатой пятилетке будут вкладываться главным образом не в строительство новых шахт, а в реконструкцию, техническое перевооружение действующего шахтного фонда. Выпускники вузов должны быть активными участниками этого большого дела и готовиться к такой деятельности. Работа предстоит огромная.

#### 14.2. Автоматизация проходческих и очистных работ

Развитие автоматизации проходческих работ сдерживается их недостаточной механизацией. Проходческие комбайны применяются для проведения выработок в относительно легких горно-геологических условиях — в породах с коэффициентом крепости, не превышающим 4 по шкале проф. М. М. Протодяконова, при угле наклона выработок не более  $10^\circ$ . Даже в этих условиях, согласно данным ИГД им. А. А.Скочинского, только 50—60 % таких выработок по техническим и экономическим показателям могут успешно проводиться комбайновым способом. Разрабатывается конструкция комбайна, предназначенного для разрушения механическим способом пород с коэффициентом крепости достигающим 6 по той же шкале. Для создания комбайна, способного проходить выработки в породах любой крепости, необходим принципиально новый, более эффективный способ разрушения крепких горных пород. Исследования в этом направлении ведутся.

В современных комбайнах со стреловым исполнительным органом не автоматизировано управление движением по заданному направлению из-за отсутствия средств автоматического управления поступательным движением. Кроме того, комбайн недостаточно устойчив и при движении сползает в сторону параллельно продольной оси. Чтобы устранить эти недостатки необходимо коренным образом менять конструкцию комбайна.

При комбайновой проходке в горной выработке сохраняется достаточно большой объем тяжелых ручных работ: возведение временной и постоянной крепи, настилка рельсовых путей, транспортирование рельсов, шпал, элементов арочной крепи и др. Данные работы могут успешно выполнять манипуляторы и промышленные роботы. Создание такой техники — очень важная и сложная проблема. Ее решением в текущей, двенадцатой пятилетке заняты ряд проектно-исследовательских институтов Минуглепрома СССР и некоторые горные вузы страны.

Большинство горных выработок на шахтах и рудниках проводится буровзрывным способом с применением ручного труда. Этот процесс можно механизировать с помощью буровых кареток с автоматическим управлением или автоматических буровых станков, но их пока промышленность выпускает недостаточно. Перевод породопогрузочных машин с ручного на автоматическое управление намного облегчит работу обслуживающего персонала. Крепление выработки и выполнение тяжелых вспомогательных работ возможно с помощью робототехнического комплекса, который предстоит выпускать в двенадцатой пятилетке.

Много нерешенных задач по автоматизации очистных работ, подчиненных единой цели — безлюдной выемке полезного ископаемого, т. е. без постоянного присутствия людей в забое. Для этого необходимо перевести большое количество операций на автоматическое управление, ввести дополнительные защиты и блокировки, разработать дополнительные средства получения информации о состоянии и работе оборудования.

Очистные комбайны предусмотрено оборудовать регулируемые приводами резания и подачи с автоматическим управлением, системами автоматического управления положением рабочих органов по скрытой границе уголь — порода, металлические крепи — автоматическим управлением с дистанционным контролем. Успешно разрабатывается радио и инфракрасное управление механизмами в лаве из штрека или на расстоянии, позволяющем человеку находиться в безопасной зоне.

Предполагается также применение специальных агрегатов, бурошнековых установок с автоматическим управлением, специально приспособленных для безлюдной выемки.

Дальнейшая перспектива автоматизации проходческих и очистных работ связана, как уже отмечалось, с переходом на управление машинами с помощью встроенных микропроцессорных цифровых систем.

### 14.3. Автоматизация подземного транспорта и шахтного подъема

Развитие конвейерного транспорта идет по пути использования высокопрочных резинотросовых и синтетических лент, унифицированных узлов конструкций конвейера и привода. Последний в ряде случаев выполняется как многодвигательный.

Минуглепромом СССР в 1980 г. утверждены новые требования к автоматизации конвейерных линий, которые сводятся в основном к увеличению объема оперативной информации, выводимой на пульты управления. Аппаратура автоматизации конвейерных линий, серийно

выпускаемая заводами шахтной автоматики Минуглепрома СССР, этим требованиям отвечает не полностью.

По заказу Пермгипрогормаша Днепропетровский горный институт разработал для калийных шахт автоматическую микропроцессорную систему управления конвейерными линиями, отвечающую новым требованиям Минуглепрома СССР, система прошла промышленные испытания. Готовится опытная партия такой аппаратуры.

Угольная промышленность могла бы использовать эту разработку, тем более, что дополнительного финансирования не требуется. Следует предполагать, что в ближайшем будущем проектный конструкторский институт (Донгипроуглемаш) начнет разработку автоматических микропроцессорных систем управления конвейерными линиями для угольных шахт.

Серийно выпускаемая аппаратура автоматизации рельсового транспорта может, в принципе, обеспечить любой требуемый уровень автоматизации. Однако в реальных условиях вождение электровозов без машиниста, которое предусматривается комплексом «Старт-1», далеко не всегда возможно из-за отсутствия средств обнаружения препятствий на пути следования. Ныне автоматическое движение поездов без машиниста обеспечивается лишь в специальных выработках, где запрещено движение людей. Первые попытки создать средства обнаружения препятствий на рельсах окончились безуспешно.

Усовершенствования автоматизации шахтного подъема касаются главным образом подъемов с асинхронным приводом. В последнее время разработана и вскоре будет внедрена система автоматического подчиненного регулирования подъема с асинхронным приводом, которая позволяет применять единый унифицированный подход к автоматизации подъемов постоянного и переменного тока.

Для управления сопротивлением в цепи ротора подъемного двигателя предложен тиристорный коммутатор, включаемый между соседними ступенями роторного реостата. Тиристорный коммутатор обеспечивает плавную регулировку величины сопротивления в цепи ротора, и таким образом, металлический реостат приобретает регулировочные качества жидкостного реостата, свободного от недостатков, которые имеет последний.

Дальнейшая перспектива совершенствования автоматизации шахтного подъема связана с переходом на управление с помощью микропроцессорной цифровой техники.

#### 14.4. Автоматизация проветривания шахт, распределения сжатого воздуха и вспомогательных работ

Автоматизация вентиляторных установок главного и местного проветривания практически решена, но в дальнейшем она будет совершенствоваться на основе новой, более прогрессивной элементной базы, регулируемого привода.

Автоматизация проветривания шахты в целом — чрезвычайно сложная задача, и ее решение не выходит пока за пределы создания экспериментальных, опытных установок, изготавливаемых в единичных экземплярах. Основная сложность заключается в распределении

вентиляционной струи по очистным и проходческим забоям. При ручном управлении проветриванием это осуществляется на основании депрессионной съемки шахты — чрезвычайно трудоемкой процедуры.

Для автоматического управления проветриванием по шахте нужно расставить большое количество различных датчиков, снабжающих исходной информацией управляющую машину. Последняя формирует команды для большого количества дистанционно управляемых устройств, перераспределяющих воздух в зависимости от исходной информации. Реализация такой автоматической системы управления проветриванием требует специальных средств телеизмерения, телесигнализации и телеуправления, пригодных для работы в шахтной атмосфере, в опасных по газу и пыли условиях, а также большого количества кабельной продукции.

Решена проблема автоматизации управления компрессорной станцией на поверхности шахты. Однако это не обеспечивает надежное снабжение потребителей сжатым воздухом необходимого состава. При разветвленной сети воздухопроводов и рассредоточенном расположении потребителей сжатого воздуха каждое включение и выключение того или другого потребителя приводит к перераспределению давления воздуха во всей сети. Чтобы поддерживать давление в заданных пределах, нужно в местах его потребления установить автоматические стабилизаторы давления. Одно из необходимых условий нормальной работы такой системы — отсутствие утечек воздуха в трубопроводах. Из-за того, что промышленность не выпускает необходимого оборудования, распространения на шахтах эта система не получила.

1. Автоматизация технологических процессов угольных шахт/Л. Г. Мелькумов, Н. Я. Лазукин, Б. Х. Богопольский и др.— М. : Недра, 1973.— 352 с.
2. Аperiodические автоматы / Под ред. В. И. Варшавского.— М. : Наука, 1976.— 424 с.
3. *Доброгурский С. О., Казаков В. А., Титов В. К.* Счетно-решающие устройства.— М. : Оборонгиз, 1966.— 492 с.
4. *Зубков Л. А., Силаев В. И., Ененко Б. И.,* Аппаратура автоматизации очистных комбайнов.— М. : Недра, 1979.— 112 с.
5. *Иванов А. А.* Автоматизация шахтных подъемных машин с асинхронным приводом.— М. : Углетехиздат, 1957.— 308 с.
6. *Картавий Н. Г., Ульшин В. А., Глушко В. В.* Автоматизация управления движением горных машин, комплексов и агрегатов.— М. : Изд-во Моск. горн. ин-та, 1969.— 170 с.
7. Комплекс аппаратуры «Оператор-М». Руководство к эксплуатации.— Конотоп: 3-д «Красный металлист», 1979.— 60 с.
8. *Куницын В. М.* О расчете динамического торможения асинхронных двигателей в системе автоматического регулирования шахтных подъемных машин // Автоматика АН УССР,— 1956.— № 2,— С. 48—89.
9. *Мелькумов Л. Г., Найман А. Б., Травкин Б. К.* Автоматизация пневматического хозяйства шахт и рудников.— М. : Недра, 1977.— 272 с.
10. Методика определения экономической эффективности использования в угольной промышленности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений/ Изд. МУП СССР и ЦНИЭИУголь.— М. ; 1979.— 120 с.
11. *Онащенко Г. Б.* Асинхронный вентильный каскад. М. ; Энергия, 1967. — 153 с.
12. Правила технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок промышленных предприятий.— М. : Энергия, 1976.— 268 с.
13. Правила устройства электроустановок. Раздел 3.— М. : Энергия, 1981.— 79 с.
14. Проектирование инвариантных следящих приводов/В. М. Яворский, А. А. Бессонов, А. И. Коротав и др.— М. : Высш. шк., 1963.— 476 с.
15. *Рипс Я. И., Савельев Б. А.* Анализ и расчет надежности систем управления электроприводами.— М. : Энергия, 1974.— 247 с.
16. Сборник научных трудов НПО «Автоматгорма ш».— М. : Недра, 1981.— Вып. 7.— 159 с.
17. Система электропривода и автоматики рудничных стационарных машин и установок/ В. М. Чермалых, Д. И. Родькин, В. В. Каневский и др.— М. : Недра, 1976.— 398 с.
18. Стреловые проходческие комбайны / В. Е. Германов, И. И. Мельников, И. Д. Фишман и др.— М. : Недра, 1978.— 200 с.
19. *Танатар А. И.* Элементы промышленной автоматики и их динамические свойства.— К. : Техніка, 1975.— 231 с.
20. Технологический комплекс поверхности шахт как объекты механизации и автоматизации.— М. : ЦНИЭИУголь, 1975,— 53 с.
21. *Ульшин В. А.* Автоматизация режимов угледобывающих машин.— К. : Техшка, 1974,— 188 с.
22. *Штейнберг М. Е., Хвелецкий П. О., Ястебенецкий М. А.* Промышленные автоматические регуляторы.— М. ; Энергия, 1973.— 568 с.

5.3. Автоматическое управление рабочими органами по гипсометрии и мощности угольного пласта .....	127
5.4. Автоматизация управления механизированными крепями.....	132
5.5. Автоматизация струговых установок.....	135

## Глава 6. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ .....

6.1. Процессы проведения горных выработок и проходческие машины как объекты автоматизации .....	138
6.2. Автоматическое программное управление движением исполнительного органа проходческого комбайна.....	140
6.3. Автоматическое регулирование нагрузки приводного электродвигателя исполнительного органа и защита его от опрокидывания при перегрузках . .	143
6.4. Автоматическое управление направлением движения комбайна.....	145

## Глава 7. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА .....

М. Конвейерный транспорт как объект автоматизации и требования к аппаратуре автоматизации.....	150
7.2. Автоматизированные системы управления конвейерной линией.....	153
7.3. Автоматизация подземных погрузочных пунктов.....	159
7.4. Автоматизация подземного рельсового транспорта.....	160
7.5. Автоматизация обмена вагонеток в клетях и опрокидывателях в околоствольных дворах.....	164
7.6. Источники экономической эффективности автоматизации подземного транспорта .....	167

## Глава 8. АВТОМАТИЗАЦИЯ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК 168

8.1. Шахтная подъемная установка как объект автоматизации.....	168
8.2. Автоматический контроль и защита подъемных установок.....	169
8.3. Автоматизация загрузочных и разгрузочных устройств на скиповых подъемных установках .....	172
8.4. Автоматическое управление подъемной машиной с асинхронным приводом .....	173
8.5. Расчет системы автоматического управления.....	180
8.6. Автоматическое управление подъемной машиной с приводом постоянного тока .....	190
8.7. Автоматическое управление подъемной машиной при помощи асинхронно-вентильного каскада.....	192

## Глава 9. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПОВЕРХНОСТИ ШАХТ .....

9.1. Технологический комплекс поверхности шахт как объект автоматизации .....	194
9.2. Автоматизация ПТС от приемного до погрузочных бункеров и переработки угля .....	194
9.3. Автоматизация погрузки полезного ископаемого в железнодорожные вагоны .....	199
9.4. Автоматизация обмена вагонеток в надшахтном здании клетевого подъема .....	201
9.5. Автоматизация породных отвалов.....	203

## Глава 10. АВТОМАТИЗАЦИЯ ШАХТНЫХ ВОДООТЛИВНЫХ УСТАНОВОК .....

10.1. Шахтные водоотливные установки как объекты автоматизации и требования к их автоматизации .....	207
10.2. Специальные устройства для автоматизации водоотлива.....	208
10.3. Автоматические системы управления водоотливными установками . . .	210

## Глава 11. АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЖАТОГО ВОЗДУХА .....

11.1. Система производства и распределения сжатого воздуха как объект автоматизации .....	216
---	-----

В в е д е н и е .....	3
Г л а в а 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ШАХТ И РУДНИКОВ .....	7
1.1. Основные понятия и определения.....	7
1.2. Требования к автоматизации технологических процессов и средств механизации .....	10
1.3. Условия эксплуатации технических средств автоматизации.....	11
1.4. Требования к автоматическим системам и техническим средствам автоматизации .....	12
1.6. Проектная документация, виды и типы схем.....	13
1.6. Надежность автоматических систем.....	17
1.7. Экономическая эффективность автоматизации.....	24
1.8. Безопасность при автоматизации.....	27
Г л а в а 2. ДАТЧИКИ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ . . .	29
2.1. Классификация, общие характеристики и свойства.....	29
2.2. Датчики перемещения.....	34
2.3. Датчики скорости и ускорения.....	43
2.4. Датчики сил и моментов .....	46
2.5. Датчики параметров состояния жидкостей и газов.....	48
2.6. Датчики температуры.....	50
2.7. Датчики и измерительные преобразователи тока, напряжения и напряженности магнитного поля .....	52
Г л а в а 3. ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ .....	56
3.1. Общие сведения .....	56
3.2. Релейно-контактные логические элементы.....	59
3.3. Диодные логические элементы.....	60
3.4. Транзисторные логические элементы .....	61
3.5. Реализация логических функций с использованием мультиплексоров . . .	62
3.6. Реализация логических функций с помощью постоянных запоминающих устройств .....	63
3.7. Реализация логических функций с помощью программируемых логических матриц .....	66
3.8. Реализация логических функций с помощью микропроцессоров.....	<b>68</b>
3.9. Эквивалентность аппаратной и программной реализации логических функций .....	71
3.10. Триггеры .....	72
Г л а в а 4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ . . .	74
4.1. Задающие устройства.....	74
4.2. Способы и схемы сравнения сигналов.....	77
4.3. Усилители .....	79
4.4. Исполнительные элементы .....	<b>86</b>
4.5. Источники питания.....	94
Г л а в а 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ДОБЫЧИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПЛАСТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	96
5.1. Машины и механизмы очистного забоя как объекты автоматизации . . . .	96
5.2. Регуляторы нагрузки очистных комбайнов .....	98

## А

- Автомат абстрактный 243
  - асинхронный 244
  - Мили 243, 246, 247, 251, 259, 262
  - Мура 243, 245, 248, 250, 259
  - синхронный 244
- Автоматизация 7
  - обмена вагонеток в клетях и опрокидывателях 201
  - в околоствольных дворах 164
  - в надшахтном здании 201
  - комплексная 8
  - погрузки в железнодорожные вагоны 199
  - подвесной канатной дороги 205
  - подземных погрузочных пунктов 159
  - полная 8
  - породных отвалов 203
  - поршневого компрессора 218
  - проветривания тупиковой выработки 236
  - системы пневмоснабжения 217
  - поточно-транспортной системы (ПТС) 194
  - технологического комплекса поверхности шахт 194
  - транспорта конвейерного 105, 153
    - подземного 150
    - рельсового 160
  - турбокомпрессора 222
  - установок вентиляторных 229
  - калориферных 232
  - частичная 8
- Автоматизированное управление конвейерными линиями 153
  - погрузкой 159
  - погрузочным комплексом 199
- Автоматическая система 8
  - защиты и блокировок 8
  - контроля и сигнализации 8
  - управления 8
  - дискретная 10

- замкнутая 9
- импульсная 10
- непрерывная 10
  - разомкнутая 9
- релейная 10
- цифровая 10
- Автоматический контроль содержания метана 237
- Автоматическое управление механизмами и технологическими процессами ПТС 194
- Алгебра логики 58
- Алгоритм построения таблиц переходов 244, 245, 246, 247
  - функционирования автомата 244
- Аппаратура ГУАПП-2 159
  - «Оператор» 165, 196, 197, 198
  - АБСС-1 161
  - ЧУС-3 162
- Архитектура микропроцессора 270

## Б

- Безопасность при автоматизации 27
- Безотказность 17

## В

- Вероятность безотказной работы 17, 18, 19
  - отказов 18
- Воздействие 8
  - внешнее 8
  - внутреннее 8
  - возмущающее 8
  - задающее 8
  - управляющее 8
- Внутреннее состояние автомата 243, 244, 254

## Г

- Граф переходов 247
  - схема алгоритмов 244, 248

## Д

### Датчик 29

- давления 48
- момента 46, 47
- перемещения 34, 42
- положения 34, 42
- расхода 49, 50
- силы 46, 47
- скорости 43, 45
- температуры 50, 52
- уровня 50
- ускорения 43, 45

## З

### Задающие устройства 74

### Задатчик интенсивности 76

### Запоминающее устройство 63

-----перепрограммируемое (ППЗУ)

64

-----постоянное (ПЗУ) 63

## И

### Измерительный преобразователь 29

-----переменного напряжения 53

-----напряжения цифровой 53

### Интенсивность восстановления 18

— отказов 18, 19

### Интерфейс 286, 290

### Исполнительные элементы 86

-----гидравлические 91

-----пневматические 92

-----электрические 87, 88, 89, 90

### Источники питания 94

— экономической эффективности 24  
подземного транспорта 167

— работы комплекса поверхностных шахт 206

## К

### Кодирование внутренних состояний автомата 254

### Комплекс АУК 1м 156, 157

### Комплексы погрузочные 199

### Компрессорная станция 227

### Конвейерные линии неразветвленные 150

— — передвижные 150

----- полустационарные 150

-----разветвленные 150

----- стационарные 150

Корректирующие устройства 177, 181

### Коэффициент готовности 18

— усиления 82

— нелинейности 33

— пульсаций 33

— передачи 30, 32

## Л

### Логические функции 58

— элементы диодно-транзисторные 61

диодные 60

— — контактные 59

магнитные 63

## М

### Матрица переходов 247

### Матрицы Карно 260

### Механизация 7

### Механические усилители 79

### Микропроцессор 69

— однокристалльный 269

— многокристалльный 269

### Минимизация внутренних состояний автомата 249

### Мультиплексор 62

## Н

### Надежность 17

### Наработка на отказ 18

## О

### Отказ 17

— внезапный 17

— перемежающийся 17

— постепенный 17

— элементов автомата 257

## П

### Подземный погрузочный пункт 159

### Подпрограмма управления 280

### Показатель эффективности 23

### Поточно-транспортная схема сложная 194, 195

-----простая 194, 195

### Программа управления 280

Проект технический 13  
— технорабочий 13  
Проектирование логическое 242  
— сложных цифровых управляющих устройств 242  
— техническое 242  
Пускорегулирующее бесконтактное устройство (ПРБУ) 204

## Р

Реализация логических функций на мультиплексорах 71  
— на микропроцессорах 68, 69  
----- на ПЗУ 71  
----- на ПЛИМ 71  
Регулирование производительности поршневого компрессора 219, 220  
— — компрессорной станции 227  
— — турбокомпрессора 224, 225  
Резерв нагруженный 22  
— ненагруженный 22  
Резервирование 21  
— замещением 22  
— общее 21  
— постоянное 22  
— раздельное 21

## С

Сигнал 34  
— унифицированный 34  
Синтез автоматов абстрактный 258, 262  
----- структурный 242, 258  
Система автоматики цифровая 10  
— восстанавливаемая 17  
— многофункциональная 23  
— невосстанавливаемая 17  
Способ проведения горной выработки буровзрывной 138  
----- гидравлический 139  
----- механический 139  
— задания программы управления движением исполнительного органа комбайна 140  
— автоматического контроля направлением движения проходческих комбайнов 146  
— сравнения магнитный 78  
Сравнение направлений последовательное 77, 78

----- параллельное 77, 78  
Схема автоматизированной системы управления конвейером 153—159  
Схемы внешних соединений 16  
— гидравлические 14  
— комбинированные 14  
— монтажные 16  
— пневматические 14  
— принципиальные 15  
— структурные 14  
— электрические 14  
— функциональные 14

## Т

Таблица возбуждения 258, 259  
— элементов памяти 258, 259, 260  
— переходов 258, 259  
Теория надежности 17  
Терморезисторы 52  
Технические требования к аппаратуре автоматизации конвейерного транспорта 150, 151, 152, 153  
Технологическая схема обмена вагонов 201, 202  
----- поршневого компрессора 218, 21<sup>^</sup>

## У

Управление обменом вагонок в клетях и опрокидывателях 164, 165  
----- дистанционное 164, 165  
— давлением воздуха в пневмосети 218  
— приводом лебедки 203  
— процессом погрузки 199  
Усилители 79  
— гидравлические 79, 80  
— магнитные 81  
— механические 79  
— полупроводниковые 85, 86  
— электромашинные 84  
Устройства управления 242  
Устройства НЭРПА 163

## Ф

Функции возбуждения элементов памяти 260

- микропроцессоров 68, 69
- переходов автомата 243
- Функционирование автомата 243

## X

- Характеристика динамическая 31
- статическая 31, 182

## Э

- Эквивалентность программной и аппаратной реализации логических функций 71
- Экономическая эффективность автоматизации 24