

631.3-52  
P159 а.с.  
M42486Y



Г. Е. Радченко

# АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ



Г. Е. РАДЧЕНКО



## АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия для студентов  
специальности «Техническое обеспечение  
процессов сельскохозяйственного производства»  
учреждений, обеспечивающих получение  
высшего образования*

БЕЛОРУССКАЯ БИБЛИОТЕКА	БЕЛОРУССКОЕ	ГОС. БИБЛ. ЦЕНТРА РЕСП. БЕЛАРУСЬ
	Отд. 631.3-52	
	Шифр Р159а.с.	
	Кв. № 1124867	
СЕЛЬ-Х. АКАДЕМИИ		

Минск  
УП «Технопринт»  
2005

УДК 631.171 (075.8)  
ББК 40.7Я7  
Р 15

Рецензенты:

*Кузьмицкий И. Ф.*, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов и электротехники Белорусского государственного технологического университета;

*Дайнеко В. А.*, канд. техн. наук, доцент кафедры электрооборудования СХП Белорусского государственного аграрного технического университета.

Радченко Г. Е.

Р 15 Автоматизация сельскохозяйственной техники: Учеб. пособие / Г. Е. Радченко. – Мн.: УП «Технопринт», 2005. – 362 с.: ил.

ISBN 985-464-639-4

В учебном пособии изложены общие сведения о системах автоматизации и микропроцессорной техники с описанием логических элементов и цифровых микроэлектронных устройств.

Освещены перспективные направления при создании новых САУ. Использован опыт отечественных и зарубежных специалистов по вопросам применения технических средств автоматизации. Уделено внимание вопросам настройки систем автоматизации на заданный алгоритм функционирования объектов управления.

Предназначено для студентов неэлектротехнических специальностей высших учебных заведений.

Учебное пособие может быть полезным для слушателей факультетов повышения квалификации, инженеров, а также для учащихся средних специальных учебных заведений.

Текстовый и графический материал учебного пособия изложен с учетом подготовки инженеров неэлектротехнических специальностей.

УДК 631.171 (075.8)  
ББК 40.7Я7

ISBN 985-464-639-4

© Радченко Г. Е., 2005  
© Оформление УП «Технопринт», 2005

## ВВЕДЕНИЕ

### 1. Предмет и задачи курса

*Автоматика* – отрасль науки и техники, разрабатывающая теорию и средства автоматизации производственных процессов.

Автоматика как наука возникла во второй половине XIX в., когда были заложены строгие математические основы теории автоматического управления (ТАУ) выдающимися учеными И. А. Вышнеградским и А. М. Ляпуновым. В это время появились первые сложные машины: паровая, прядильная и ткацкие станки, которые заменили тяжелый ручной труд и значительно повысили его производительность, а также первые автоматические регуляторы. По мере развития техники и освобождения человека от тяжелого физического труда функции управления технологическими операциями, процессами и машинами расширялись, усложнялись и совершенствовались. Во многих случаях человек не был в состоянии управлять механизированным производством без специальных технических средств. Это обусловило развитие и возникновение автоматизированного производства.

В развитие ТАУ внесли значительный вклад Н. Е. Жуковский, С. А. Чаплыгин, Н. М. Крылов, Н. Н. Боголюбов, Г. Найквист, Н. Винер, А. В. Михайлов и многие другие ученые.

В начале второй половины XX в. были изданы работы Л. С. Понтрягина, Р. Белмана, Р. Калмана, заложившие основу современной теории автоматического управления (СТАУ). Ее развитие базируется на требованиях научно-технического прогресса, современной и перспективной автоматизации. СТАУ располагает мощными методами анализа и синтеза для создания качественных и надежных систем автоматизации не только промышленных, но и сельскохозяйственных объектов. Важным направлением нынешнего этапа развития СТАУ является разработка систем многокритериального управления технологическими процессами в условиях неопределенности, т. е. при неполной начальной информации о сложных объектах управления.

*Автоматизация* – применение технических средств, экономико-математических методов и систем управления, освобож-

дающих человека частично или полностью от непосредственного участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов или информации. Автоматизация представляет собой высший этап развития комплексной механизации, освобождающей человека не только от физического труда, но и от функций контроля за машинами, технологическими операциями и процессами, а также управления ими. Автоматизация обеспечивает значительное повышение производительности труда, качества продукции и выполняемых работ, улучшение условий труда. На этом этапе развития машинного производства технологические процессы получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов или информации выполняются автоматически при помощи систем автоматизации. Разработкой проектов средств автоматизации занимаются проектные институты. В состав проекта входит документация, разрабатываемая на основе нормативно-технических требований и указаний по проектированию систем автоматизации. Разработка проекта автоматизации включает несколько стадий проектирования и определенный состав проектной документации. Проекты систем автоматизации технологических процессов (сложных объектов) увязываются с проектом системы управления предприятия в целом и имеют достаточно большое количество разнообразной документации.

Более простыми объектами автоматизации являются отдельные машины и их рабочие органы. В состав рабочей документации систем автоматизации таких объектов входит меньшее число проектных материалов.

При проектировании систем автоматизации разрабатываются наряду с другими материалами принципиальные электрические, гидравлические или пневматические схемы контроля, автоматического регулирования, управления, сигнализации и питания, а также монтажные схемы. В разработке такой документации и систем автоматизации принимают непосредственное участие инженеры, имеющие специальное электротехническое образование. Они выполняют расчеты средств автоматизации, расчеты по выбору регуляторов и определению значений их параметров настройки. При этом используются результаты научно-исследовательских работ относительно объектов автоматизации. Расчетами

определяются устойчивость и качество разрабатываемых систем автоматизации. Основой для расчетов и проектирования систем автоматизации является ТАУ, которая изучается будущими инженерами только электротехнических специальностей. Наряду с этим инженеры такого профиля изучают такие дисциплины, как «Высшая математика», «Теоретические основы электротехники», «Электроника» и другие, по программам, разделы которых обеспечивают эффективное усвоение ТАУ.

Завершающим этапом разработки систем автоматизации является испытание на машиноиспытательной станции (МИС). МИС проводит контрольные испытания систем автоматизации и дает заключение об их готовности к серийному выпуску.

В учебных планах подготовки инженеров-механиков отсутствует дисциплина «Теория автоматического управления». Кроме того, на изучение дисциплин «Высшая математика», «Физика», «Электротехника», «Электроника», «Электрооборудование СХП» в учебных планах отводится значительно меньшее часов, чем нужно. Поэтому полученные знания по указанным дисциплинам крайне недостаточны для усвоения сути и содержания ТАУ.

В подготовке инженеров-механиков основополагающими являются задачи, связанные с эксплуатацией как сельскохозяйственной техники, так и разработанных систем автоматизации, которыми такая техника оснащается. Это определяет описательный характер учебного пособия по автоматизации объектов сельскохозяйственного производства и обуславливает нерациональность внедрения ТАУ в учебный процесс для такой категории будущих специалистов.

Задачи подготовки инженеров-механиков обусловлены необходимостью проведения технического обслуживания систем автоматизации, понимания сущности задания необходимого алгоритма функционирования объекта управления, а также умения анализировать работу систем автоматизации с целью выявления причин возникающих неполадок (отказов, неисправностей). Инженерно-техническая оценка причин неполадок позволяет принимать решение о возможном их устранении собственными силами или о необходимости выполнения ремонтных работ в специализированных мастерских. Знание сути и содержания систем

автоматизации определяет возможности их эффективной эксплуатации, что повышает, в свою очередь, эффективность эксплуатации сельскохозяйственной техники и АПК в целом.

Как правило, для понимания и осмысления многих вопросов этой дисциплины недостаточно использовать только зрительное восприятие различных устройств и протекающих в них физических процессов. В этом плане в основном должно работать абстрактное мышление и вырабатываться абстрактное представление как об устройстве технических средств систем автоматизации, так и о протекающих в них процессах. Это одна из основных особенностей предмета, усложняющая понимание его содержания, а также понимание содержания элементов функциональной структуры каждой конкретной системы автоматизации. Поэтому изложение материала дисциплины требует особого подхода по многим вопросам в плане раскрытия их содержания. При этом используются известные материалы и примеры систем автоматизации и на основе их раскрывается суть конкретного вопроса и тем самым дисциплины в целом. Данная дисциплина использует и синтезирует определенные сведения (достижения) и конкретные устройства из электротехники, электроники и электрооборудования СХП. Знание основных положений этих дисциплин, а также знание устройства и принципа действия технических средств автоматизации обеспечивает понимание сути и содержания систем автоматизации. Кроме того, необходимо знать устройство, принцип действия и особенности эксплуатации сельскохозяйственной техники, изучаемые профилирующими дисциплинами «Механизация животноводства», «Тракторы и автомобили», «Сельскохозяйственные машины», «Техническое обслуживание и ремонт машин».

В задачи дисциплины входят:

- ознакомление студентов с технологическими основами автоматизации сельскохозяйственной техники;
- изучение технических средств, используемых в системах автоматизации;
- изучение общих сведений о системах автоматизации и применяемых в них принципов и алгоритмов управления;
- усвоение сущности и принципов задания необходимого алгоритма функционирования объекта управления при эксплуатации систем автоматизации.

В результате изучения дисциплины инженер-механик должен:

- понимать значение автоматизации для повышения производительности сельскохозяйственной техники, качества производимой продукции и выполняемых работ, улучшения условий труда человека;
- читать принципиальные схемы систем автоматизации и анализировать их работу с целью выявления возможных неполадок (отказов, неисправностей);
- разрабатывать функциональные и структурные схемы систем автоматизации на основе используемых в них технических средств;
- организовать проведение технического обслуживания систем автоматизации;
- уметь настраивать системы автоматизации на необходимый алгоритм функционирования объектов при их эксплуатации;
- проводить занятия с обслуживающим персоналом по вопросам эффективной эксплуатации систем автоматизации.

## **2. Особенности автоматизации сельскохозяйственного производства, состояние и перспективы развития**

Автоматизация является одним из решающих направлений научно-технического прогресса. Наряду с повышением производительности труда, снижением себестоимости продукции автоматизация имеет большое социальное значение. Социальный эффект обеспечивается за счет улучшения условий труда человека.

Механизация и автоматизация проявляются как восхождение от менее эффективного к более эффективному. Механизация обеспечивает снижение физических затрат человека, т. е. механическая техника заменяет преимущественно физические функции человека. Технические средства автоматизации кроме снижения физических затрат повышают эффективность управления сельскохозяйственной техникой и, как правило, заменяют при этом умственные функции человека.

Сельскохозяйственная автоматика использует богатый опыт, накопленный в промышленности. Однако, в отличие от промышленности, сельское хозяйство имеет свои характерные особенности, которые учитываются как при разработке отдельных

элементов технических средств, так и систем автоматизации в целом. Особенности автоматизации сельскохозяйственного производства заключаются в следующем.

Наличие биологических объектов обуславливает непрерывность технологических процессов и требование высокой надежности систем автоматизации. В случае частого выхода из строя элементов систем автоматизации нарушается жизнедеятельность биологических особей (растений, животных, птицы). Это приводит к снижению эффективности производства соответствующей продукции, так как интенсифицировать в дальнейшем нарушенный биологический ритм невозможно.

Особенностью является также наличие большого количества разнообразных по различным признакам машин. В механизации растениеводства в основном используются мобильные машины и агрегаты, число различных наименований (марок) которых достигает 1500. В механизации животноводства применяется более 1000 наименований машин, преимущественно стационарных.

Отличаются разнообразием по назначению мобильные и стационарные машины и агрегаты, эксплуатируемые в мелиоративном и дорожном строительстве.

Специфические условия эксплуатации мобильных и стационарных машин и агрегатов, обусловленные запыленностью, атмосферными осадками, высокой концентрацией газов и водяных паров в воздухе, рельефом местности и т. д., создают дополнительные сложности при разработке систем автоматизации.

На разработку систем автоматизации и их последующую эксплуатацию значительное влияние оказывают рассредоточенность техники по большим площадям, удаленность от ремонтной базы, сезонность работы, относительно малая мощность сельскохозяйственной техники.

Недостаточно высокий профессиональный уровень обслуживающего персонала различного уровня часто сводит к минимуму эффективность работы систем автоматизации.

В настоящее время в основном осуществлена автоматизация отдельных объектов сельскохозяйственного производства, некоторых технологических процессов, рабочих органов машин. В отдельных случаях решается задача автоматизации поточных

линий в кормоприготовительных цехах, зернотоках, животноводческих комплексах. В большей мере автоматизированы стационарные машины и агрегаты по сравнению с мобильными объектами. Почти 50 % операций в сельском хозяйстве выполняется с применением ручного труда. Существенное сокращение ручного труда здесь могут обеспечить манипуляторы и роботы.

*Манипулятор* – это механизм, выполняющий под управлением оператора действия (манипуляции), аналогичные действиям рук человека.

*Робот* – это автоматический программно-управляемый манипулятор.

Внедрение манипуляторов и роботов коренным образом может изменить организацию технологических процессов, позволит полностью устранить утомительный и часто опасный ручной труд.

Роботы знаменуют качественно новую ступень в развитии автоматизации сельского хозяйства. От систем автоматизации роботы отличаются тем, что способны выполнять за человека ручные операции со сложными пространственными перемещениями в автоматическом режиме.

Появление микропроцессоров знаменует начало нового периода в области автоматизации различных объектов сельскохозяйственного производства.

Микропроцессоры могут использоваться в составе технических средств на всех уровнях управления: от средств сбора и первичной обработки данных до вычислительных машин. Их применение в системах автоматизации определяет переход от аналоговой техники к цифровой (параграф 8.4), что расширяет функциональные возможности управления объектами.

Внедрение микроЭВМ в системы управления различными объектами обеспечивает простоту замены элементной базы, а также создает принципиально новые возможности в построении децентрализованных или распределенных комплексов управления. Это достигается путем замены одной ЭВМ некоторой совокупностью связанных микроЭВМ. При этом одна из микроЭВМ может выполнять функции центральной, что определяет порядок функционирования всей системы управления. Управляющие микроЭВМ располагаются непосредственно в

местах сосредоточения групп измерительных преобразователей и исполнительных механизмов. Это позволяет наращивать вычислительную мощность за счет параллельной обработки возникающих сигналов, повышать живучесть систем управления, а также исключать большое количество физических связей в системах управления.

Встраивание микроЭВМ внутрь несложных объектов повышает качество работы и производительность оборудования, существенно снижает требования к работающему на нем персоналу.

Новые возможности в совершенствовании систем автоматизации открываются на основе применения программируемых микроконтроллеров.

Использование микропроцессорной техники открывает широкие возможности построения многоконтурных систем автоматизации для управления сложными объектами. Управление такими объектами предполагает сбор информации от большого количества измерительных преобразователей и применение вынесенных измерительных станций с использованием микроЭВМ.

Применение систем управления на базе многих микроЭВМ, так называемых многомашинных систем, предполагает увеличение их надежности, производительности и гибкости.

## РАЗДЕЛ I

### ПОНЯТИЕ И СОДЕРЖАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

#### Глава 1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

##### 1.1. Общие сведения об объектах

Условно обособленная совокупность элементов материального мира, в которой процессы подвергаются целенаправленным воздействиям, называется *объектом управления* (ОУ) или управляемым объектом [23]. Такой совокупностью может быть любое устройство, выполняющее рабочий процесс или обеспечивающее жизнедеятельность биологических видов (человека, животных, птиц, растений).

По принципу выполнения рабочего процесса объекты делятся на стационарные и мобильные.

Стационарными являются машины и устройства, обеспечивающие рабочий процесс в своем неподвижном состоянии, т. е. объект управления не перемещается и к нему подается для переработки (обработки) исходный материал. К таким относятся машины и устройства, используемые в животноводстве, в ремонтных мастерских и на предприятиях (в цехах) по переработке сельскохозяйственной продукции (животноводческой и растениеводческой), на складах послеуборочной обработки зерновых и других культур. Стационарные объекты сосредоточены в инженерных системах водорегулирования и подачи воды потребителю. Стационарными объектами являются подъемные и конвейерные устройства, а также различного рода строительные сооружения и теплицы. Наряду с автоматизацией рабочих органов машин объектами могут быть отдельные машины или совокупность машин и устройств, обеспечивающих технологический процесс.

К мобильным объектам управления относятся машины и агрегаты, обеспечивающие рабочий процесс при их перемещении.

К ним относятся тракторы, уборочная техника зерновых, корнеплодов и трав, а также мелиоративные, строительные и дорожные машины (канавокопатели, дренажники, бульдозеры, скреперы, асфальтоукладчики и др.). Объектом управления также может быть рабочий орган или машина (агрегат):

Любая машина должна выполнять в производственных условиях только свойственные ей функции. Для этого машиной необходимо управлять, т. е. осуществлять пуск, остановку, изменять режимы работы и обеспечивать заданные условия ее функционирования. Управление осуществляется путем воздействия на органы управления, предусмотренные в каждой машине, человеком или техническими устройствами, т. е. может быть ручным или автоматическим. При помощи органов управления, а также технических средств автоматизации можно изменять состояние объекта путем изменения поступающих в него потоков вещества или энергии.

Объект управления является тем основным элементом системы автоматизации, в котором при помощи технических устройств должен осуществляться заданный алгоритм функционирования.

*Алгоритмом функционирования* называется совокупность правил, предписаний или математических зависимостей, определяющих правильные выполнения технологического процесса в каком-либо устройстве. *Алгоритм (алгоритм)* (от algorithmi, algorismus, первоначально – латинская транслитерация имени математика аль-Хорезми) – конечный набор правил, позволяющих чисто механически решать любую конкретную задачу из некоторого класса однотипных задач. Он отражает цель управления и определяется на основе технологических, экономических и других требований изменения управляемого параметра объекта в процессе его функционирования.

Характерной особенностью объектов является то, что в них происходит преобразование, передача или накопление энергии или вещества. Подводимые извне энергия или вещество изменяют состояние объекта, которое характеризуется изменением его управляемых параметров (температуры, скорости, уровня, давления, направления движения и т. д.).

В зависимости от вида системы автоматизации: САУ – система автоматического управления, САК – система автоматического

регулирования, САК – система автоматического контроля, САС – система автоматической сигнализации, САЗ – система автоматической защиты – следует различать соответственно объект управления (ОУ), объект регулирования (ОР), объект контроля (ОК), объект сигнализации (ОС), объект защиты (ОЗ). Возможно использование также терминов «объект автоматизации (ОА) или объект системы автоматизации (ОСА)», что связано с обобщающим названием «система автоматизации».

## 1.2. Свойства объектов управления

Объекты управления обладают определенными свойствами, которые оказывают влияние на их состояние и *управление*. Основными свойствами являются самовыравнивание, аккумулирующая способность и запаздывание.

*Самовыравниванием* называется способность объекта самостоятельно приходить в новое состояние равновесия при изменении притока (управляющего воздействия) или расхода (возмущающего воздействия) вещества или энергии. Это свойство объекта проявляется в том, что каждому расходу вещества или энергии в установившемся режиме соответствует некоторое значение регулируемого параметра.

Такое свойство присуще не всем объектам. Проявление свойства самовыравнивания можно рассмотреть на примере двух способов подачи воды в резервуар (рис. 1.1).

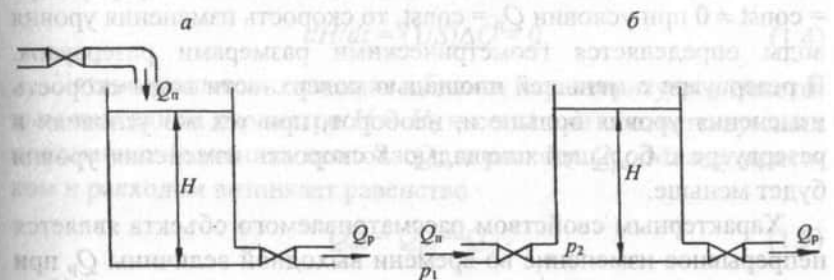


Рис. 1.1. Схемы объектов с различными свойствами: а – без самовыравнивания; б – с самовыравниванием

Количество поступающей в единицу времени воды  $Q_n$  изменяется вентилем, а количество вытекающей воды  $Q_p$  зависит от

ее потребления и является величиной случайной. Управляемым параметром объекта (рис. 1.1, а) является уровень воды  $H$ , который будет оставаться постоянным только при  $Q_n = Q_p$ . Если это равенство нарушается, то вода в резервуаре будет накапливаться или убывать в зависимости от соотношения между притоком и расходом.

При  $Q_n > Q_p$  в резервуаре каждую секунду будет накапливаться вода, избыток которой определяется равенством  $Q = Q_n - Q_p$ . За каждый интервал времени  $\Delta t$  начальный уровень воды  $H_0$  изменится на  $\Delta H$ . Тогда с учетом начального объема воды в резервуаре  $V_0 = SH_0$  ( $S$  – площадь поверхности воды) можно записать

$$V_0 + \Delta Q \Delta t = S(H_0 + \Delta H). \quad (1.1)$$

Если вычесть из этого уравнения равенство  $V_0 = SH_0$ , отражающее начальное состояние резервуара, его новое состояние будет характеризоваться уравнением в отклонениях

$$\Delta Q \Delta t = S \Delta H. \quad (1.2)$$

При  $\Delta t$ , соответствующем бесконечно малому интервалу, уравнение (1.2) принимает следующий вид:

$$S dH/dt = Q_n - Q_p. \quad (1.3)$$

Из последнего уравнения видно, что скорость изменения уровня воды  $dH/dt$  обратно пропорциональна величине  $S$ . Если новый приток воды не изменяется во времени, т. е.  $Q_n = \text{const} \neq 0$  при условии  $Q_p = \text{const}$ , то скорость изменения уровня воды определяется геометрическими размерами резервуара. В резервуаре с меньшей площадью поверхности воды скорость изменения уровня больше и, наоборот, при тех же условиях в резервуаре с большей площадью  $S$  скорость изменения уровня будет меньше.

Характерным свойством рассматриваемого объекта является непрерывное изменение во времени выходной величины  $Q_p$  при наличии притока  $Q_n$ . Из этого следует, что при работе такого объекта будет постоянно изменяться уровень воды в резервуаре. Это означает, что данный объект не придет в равновесное состояние, при котором  $H = \text{const}$ . Следовательно, такой объект не обладает свойством самовыравнивания.

В другой схеме объекта (рис. 1.1, б) определенным образом изменен подвод воды. Рассмотрим режим работы, когда расход воды не изменяется и вода поступает в резервуар.

Увеличение уровня воды  $H$  приводит к увеличению ее давления, которое определяется по формуле  $p_2 = \rho g H$  (где  $\rho$  – плотность воды,  $\text{кг/м}^3$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ). При некотором значении  $H$  достигается равенство давлений  $p_2 = p_1$  (где  $p_1$  – давление воды на входе в резервуар) и поступление воды в резервуар прекращается. Тогда устанавливается новое значение уровня воды, при котором наступает состояние равновесия. Принято говорить, что такой объект обладает свойством *самовыравнивания*.

Сущность самовыравнивания объясняется наличием внутри объекта обратной связи, которая может иметь различный физический характер, что определяется видом и содержанием конкретного объекта управления.

Применительно к рассматриваемому объекту обратная связь проявляется в следующем. Поступающая в резервуар под давлением  $p_1$  вода создает и повышает ее уровень. Столб жидкости формирует давление  $p_2$ , которое действует навстречу давлению  $p_1$ , т. е. возникают внутренние силы, нейтрализующие входное воздействие в виде притока воды, и она не поступает в резервуар. В данном случае проявляется отрицательная обратная связь.

При состоянии равновесия скорость изменения уровня воды в резервуаре

$$dH/dt = (1/S) \Delta Q = 0. \quad (1.4)$$

Установившееся состояние объекта характеризуется некоторым значением параметра  $H = H_0 = \text{const}$  при соответствующих постоянных значениях притока  $Q_{no}$  и расхода  $Q_{po}$ . Между притоком и расходом возникает равенство

$$Q_{no} = Q_{po} = Q_0. \quad (1.5)$$

На стороне притока или на стороне расхода можно приложить дополнительное управляющее или возмущающее воздействие  $\Delta Q$ , которое должно вывести объект из установившегося равновесного состояния. Если воздействие приложено только на стороне притока, то управляемый параметр должен возрастать, и

наоборот. При этом управляющее воздействие выполняет функции притока, а возмущающее – функции расхода.

Допустим, что дополнительное воздействие на объект приложено на стороне притока. Тогда подача воды увеличится на некоторое значение  $\Delta Q_n$  и  $Q_n = Q_{n0} + \Delta Q_n$ , а расход останется прежним  $Q_p = Q_{p0}$ .

Однако через некоторое время управляемый параметр  $H$  начнет возрастать, увеличится также давление столба воды и станет равным  $p_2 = p_0 + \Delta p$ . Повышение давления вызывает изменение значений притока  $Q_n$  и расхода  $Q_p$ . Это означает, что приток и расход находятся в функциональной зависимости от управляемого параметра, т. е.  $Q_n = f(H)$  и  $Q_p = f(H)$ , и эти зависимости нелинейны.

Используя формулу Тейлора для разложения в ряд этих функций, можно записать для них следующие зависимости с учетом двух его первых членов:

$$Q_n \approx Q_{n0} + (dQ_n/dH)_0 \Delta H + \Delta Q_n; \quad (1.6)$$

$$Q_p \approx Q_{p0} + (dQ_p/dH)_0 \Delta H, \quad (1.7)$$

где  $\Delta H$  – отклонение управляемого параметра от исходного установившегося значения  $H_0$ .

Параметр  $\Delta H$  является переменным во времени. Индекс «нуль» при производных означает, что их определяют для исходного установившегося состояния объекта, и поэтому производные – постоянные по значению величины. Параметр  $H_0$  должен соответствовать оптимальному (заданному) значению, так как наиболее точным выражением производных является их величина в пределах именно оптимального значения управляемого параметра.

После подстановки значений текущих параметров  $Q_n$  и  $Q_p$  из формул (1.6) и (1.7) в уравнение динамики (1.3) получается зависимость

$$SdH/dt = Q_{n0} + (dQ_n/dH)_0 \Delta H + \Delta Q_n - Q_{p0} - (dQ_p/dH)_0 \Delta H, \quad (1.8)$$

а с учетом, что при установившемся режиме  $Q_{n0} - Q_{p0} = 0$ , будем иметь

$$SdH/dt = [(dQ_n/dH)_0 - (dQ_p/dH)_0] \Delta H + \Delta Q_n. \quad (1.9)$$

Для упрощения полученного уравнения необходимо использовать оптимальные значения  $H_0$  и  $Q_0$  и относительные величины:

$$\Delta H/H_0 = \varphi \text{ и } \Delta Q_n/Q_0 = \mu, \quad (1.10)$$

откуда

$$\Delta H = H_0 \varphi; \quad dH = H_0 d\varphi; \quad \Delta Q_n = Q_0 \mu. \quad (1.11)$$

Подставив относительные величины (1.11) в уравнение (1.9), можно получить

$$SH_0 d\varphi/dt = [(dQ_n/dH)_0 - (dQ_p/dH)_0] \varphi H_0 + Q_0 \mu, \quad (1.12)$$

или после выполнения определенных операций

$$(SH_0/Q_0)(d\varphi/dt) + H_0/Q_0 [(dQ_p/dH)_0 - (dQ_n/dH)_0] \varphi = \mu. \quad (1.13)$$

Первый член уравнения  $SH_0/Q_0$  имеет размерность времени (с, мин, ч) и представляет собой время  $T_a$ , необходимое для заполнения резервуара водой при полной нагрузке, в данном случае – расходе воды. Его называют еще временем астатического разгона объекта [3]

$$T_a = SH_0/Q_0. \quad (1.14)$$

Выражение при втором члене  $\varphi$  левой части уравнения безразмерное, так как сомножители имеют противоположные размерности. Его называют коэффициентом статизма или самовыравнивания.

$$H_0/Q_0 [(dQ_p/dH)_0 - (dQ_n/dH)_0] = \delta. \quad (1.15)$$

Из уравнения (1.15) видно, что коэффициент самовыравнивания характеризует зависимость возмущающих воздействий объекта  $Q_n$  и  $Q_p$  от управляемого параметра  $H$ .

Окончательно уравнение динамики, описывающее поведение рассматриваемого одноемкостного объекта во времени, приобретает вид

$$T_a d\varphi/dt + \delta \varphi = \mu. \quad (1.16)$$

Поскольку коэффициент самовыравнивания является параметром безразмерным, при делении времени разгона  $T_a$  на  $\delta$  получается постоянная времени объекта [3]



$$T = \frac{S}{(dQ_p/dH)_0 - (dQ_n/dH)_0} \quad (1.17)$$

Величина, обратная коэффициенту самовыравнивания, называется *коэффициентом передачи* или *усиления объекта*

$$k = \frac{1}{H_0/Q_0[(dQ_p/dH)_0 - (dQ_n/dH)_0]} \quad (1.18)$$

Свойство самовыравнивания количественно оценивается коэффициентом самовыравнивания. Зависимость (1.15) определяет условия, при которых объект может иметь или не иметь свойство самовыравнивания.

Если производная  $(dQ_p/dH)_0$  положительная, а производная  $(dQ_n/dH)_0$  отрицательная, то  $\delta > 0$ . Это означает, что рассматриваемый объект (рис. 1.1, в) обладает самовыравниванием и называется *устойчивым статическим* объектом. Увеличение уровня воды в нем вызывает уменьшение ее притока, что приводит к новому установившемуся значению параметра  $H$ .

Такая интерпретация коэффициента справедлива и для объектов иной физической природы, так как для них можно получить зависимости, аналогичные (1.15). Такие зависимости будут различаться между собой физической природой параметров, входящих в них.

При условии, что производная  $(dQ_p/dH)_0$  отрицательная, а  $(dQ_n/dH)_0$  положительная, коэффициент  $\delta < 0$ . Это означает, что рассматриваемый объект (рис. 1.1, а) не обладает свойством самовыравнивания и называется *неустойчивым статическим* объектом. Так, выходной параметр объекта  $Q_p$  может усиливать входное воздействие  $Q_n$ . Например, если уменьшить расход воды из резервуара при неизменном ее поступлении, то на выходе создается дополнительное сопротивление. Это приводит к увеличению уровня воды и нарушению первоначального состояния равновесия объекта. Такое действие  $Q_p$  аналогично положительной обратной связи и приводит объект к неустойчивому состоянию.

Нулевое самовыравнивание соответствует условию, когда  $\delta = 0$ . Такое значение коэффициента  $\delta$  означает отсутствие у объекта свойства самовыравнивания. Объекты без самовыравни-

включения приточных вентиляторов, реле времени КТЗ размыкает контакт КТЗ:1 и обесточивается обмотка реле КВ4. Это приводит к отключению приточных вентиляторов во всех секциях хранилища.

*Примечание.* Подвижные контакты реле К1...КТЗ, обозначенные на схеме, замыкаются и размыкаются с замедлением при срабатывании и возврате этих реле.

**Технологический период «Охлаждение»** осуществляется с учетом используемого источника холода для охлаждения хранимого продукта. Источником холода может быть наружный воздух, а также воздух, охлаждаемый автономной холодильной машиной, которая располагается в каждой секции хранилища. Возможен вариант, когда источником холода может быть централизованная холодильная машина.

В зависимости от климатических условий способ охлаждения вентилируемого воздуха устанавливается переключателем SA (рис. 14.8), который имеет два положения: в положении 1 активное вентилирование продукта осуществляется наружным воздухом; в положении 2 – воздухом, охлаждаемым холодильной машиной.

Если температура наружного воздуха обеспечивает необходимую динамику ежедневного понижения температуры массы хранимого продукта, то переключатель SA устанавливается в положение 1. В случае постоянно высокой температуры наружного воздуха длительное время переключатель SA устанавливается в положение 2 и рециркуляционный воздух, поступающий в приточную шахту, охлаждается холодильной машиной (смесительный клапан закрыт для наружного воздуха).

Переключатель SA1 (рис. 14.5) устанавливается в положение «О», что обеспечивает подключение регулятора разности температур РРТ к источнику питания (на схеме подключение не показано).

Замыкание контакта выключателя SA2 приводит к запитыванию фазным напряжением программного реле времени КТЗ.

На этом подготовительные операции к работе системы автоматизации заканчиваются и начинают работать ее элементы, обеспечивающие автоматическое управление температурным режимом в хранилище.

В этом технологическом периоде активное вентилирование хранимого продукта осуществляется по заданной временной программе, а также с учетом заданной температуры, которую необходимо поддерживать в различных зонах секций хранилища. Температура в различных зонах секций доводится до заданной при помощи автоматических терморегуляторов.

Заданная программа реализуется независимо от температуры в различных зонах секций при помощи реле времени КТЗ только с изменением одного параметра, которым является время. При точные вентиляторы включаются и отключаются в заданное время в восьми секциях хранилища, что обеспечивает в них активное вентилирование хранимого продукта.

Работа реле времени КТЗ по заданной программе в этом периоде аналогична его работе в период «Лечебный». Но отличительной особенностью является то, что активное вентилирование хранимого продукта в период «Охлаждение» может осуществляться как рециркуляционным, так и наружным воздухом и, кроме того, воздухом, охлажденным холодильной машиной. Это обеспечивается за счет работы соответствующих автоматических терморегуляторов путем открытия или закрытия смесительных клапанов, а также включением и отключением холодильных машин.

Регулятор разности температур РРТ управляет работой смесительных клапанов в секциях хранилища независимо от действия реле времени КТЗ и других терморегуляторов системы автоматизации.

Работа регулятора определяется только соотношением между температурой наружного воздуха и температурой массы продукта в хранилище. Регулятор РРТ вырабатывает управляющий сигнал только в том случае, если температура наружного воздуха становится меньше температуры массы продукта на заданное значение, которое устанавливается в регуляторе. Если соотношение между температурой наружного воздуха и температурой массы продукта достигает заданной разности, то срабатывает регулятор РРТ.

Тогда замыкаются контакты РРТ:1 и РРТ:2 в схеме общего блока (рис. 14.5). Реле KV1 срабатывает и своими контактами

В уравнениях (1.21)–(1.24) параметры перед производной  $m$ ,  $J$ ,  $mc$ ,  $S$  являются емкостными коэффициентами объекта.

При наличии одной емкости в объекте последний называется *одноремкостным*. Если в объекте существует несколько емкостей и переход вещества или энергии из одной емкости в другую встречает сопротивление, то такой объект называется *многоемкостным*.

Практически все процессы в объектах можно описать однотипными математическими уравнениями динамики, обобщенный аналог которых может быть представлен в виде [3]:

$$Ldx/dt = u, \quad (1.25)$$

где  $L$  – емкостный коэффициент объекта;  $x$  – управляемый параметр;  $u$  – результирующее входное воздействие объекта.

Уравнение (1.25) можно представить в виде

$$dx = (1/L)u dt, \quad (1.26)$$

а затем проинтегрировать его

$$x = (1/L) \int_0^t u dt. \quad (1.27)$$

Из уравнения (1.27) следует, что величина  $1/L$ , обратная емкостному коэффициенту, является коэффициентом пропорциональности между управляемым параметром  $x$  и импульсом входного воздействия  $u dt$ . Таким воздействием может быть импульс силы  $F dt$ , импульс момента  $M dt$ , импульс потока влаги  $W dt$  и т. д.

Емкостный коэффициент представляет меру инерционности, а его обратная величина  $1/L$  – меру чувствительности объекта.

Каждому значению управляемого параметра  $x$  соответствует определенный запас в объекте вещества или энергии  $G$

$$G = \int_0^t u dt = \int_{x_1}^{x_2} L dx. \quad (1.28)$$

При постоянных значениях емкостного коэффициента  $L$  и входного воздействия  $u$

$$G = ut = Lx, \quad (1.29)$$

где  $x = x_2 - x_1$  – показатель избытка вещества или энергии в сравнении с некоторым исходным состоянием, которое характеризуется значением параметра  $x_1$ .

При номинальном (оптимальном) значении управляемого параметра  $x_n$  обобщенный показатель  $G_n$  характеризует номинальную емкость объекта.

Время наполнения (разгона) объекта определяется зависимостью

$$t_p = G/u = Lx/u. \quad (1.30)$$

В этом случае обобщенный параметр (результатирующее воздействие)  $u$  выражает разницу между суммарным притоком  $u_n$  и суммарным расходом  $u_p$

$$u = u_n - u_p. \quad (1.31)$$

Емкостный коэффициент  $L$  не всегда является постоянной величиной. В реальных объектах он может изменяться в зависимости от параметров  $u$ ,  $x$ ,  $t$ , входящих в уравнение динамики (1.25). Такие объекты называются *нестационарными*.

В реальных объектах вещество или энергия может распределяться свободно и практически мгновенно или, распространяясь, преодолевать сопротивление и задерживаться. При свободном распространении управляемые параметры  $x$ , определяющие состояние объекта, имеют одинаковое значение по всей его емкости в любой момент времени. Такие объекты называются объектами с *сосредоточенными* параметрами. Во втором случае параметры  $x$  на различных участках емкости объекта существенно различаются по своим значениям. Такие объекты называются объектами с *рассредоточенными* параметрами.

В сельскохозяйственном производстве можно встретить много объектов с сосредоточенными и рассредоточенными параметрами. Причем один и тот же объект может иметь оба варианта различий параметров. Например, резервуар заполняется водой. Ее уровень по поверхности практически одинаковый, и объект имеет сосредоточенный параметр (уровень воды). Если резервуар заполняется сыпучими материалами в виде концентрированных кормов или комбикормов, то поверхность формируется не-

равномерная, бугристая. Значения уровня исходного материала в разных точках поверхности неодинаковые, существенно отличающиеся. Следовательно, объект имеет рассредоточенный параметр (уровень материала).

Рассредоточенность параметров в объектах является отрицательным фактором для технологических процессов и для решения задач автоматизации.

*Запаздыванием* называется свойство объекта передавать сигнал от его входа к выходу с отставанием во времени. Это свойство характеризует смещение во времени выходного сигнала (управляемого параметра) объекта относительно входного.

Свойство запаздывания проявляется в объекте в связи с появлением в нем входных воздействий и движением вещества или энергии от входа к выходу. Причем выходная (управляемая) величина объекта появляется или достигает установившегося значения не одновременно с началом влияния управляющего, вырабатываемого управляющим устройством, или возмущающего воздействия.

Интервал времени от начала подачи воздействия до установления нового постоянного значения управляемого параметра объекта называется временем *переходного процесса*, или временем *разгона*. Переходный процесс и время разгона характеризуют инерцию объекта по отношению к воздействию. Инерция объекта обусловлена его способностью накапливать вещество или энергию, а также наличием в нем передаточных каналов и сопротивления. В зависимости от причин запаздывание разделяют на передаточное и переходное.

*Передаточное* (транспортное) запаздывание объясняется наличием в объекте передаточных каналов в виде трубопроводов, транспортеров, теплопроводов между управляющим устройством и выходом объекта. Для прохождения передаточного канала требуется время, равное отношению длины канала к скорости движения вещества или энергии.

Время транспортного запаздывания  $t_t = l/v$ , где  $l$  – длина передаточного канала;  $v$  – скорость движения. Иногда это запаздывание называют *чистым*.

*Переходное* (емкостное) запаздывание обусловлено сопротивлением перехода вещества или энергии из одной емкости

объекта в другую его емкость или из одного состояния в другое. Этот вид запаздывания характерен для объектов с аккумулирующей способностью, и потому его называют иногда емкостным.

Передаточное и переходное запаздывания составляют полное запаздывание объекта. Полное запаздывание принято оценивать суммой времени транспортного  $t_t$  и переходного  $t_n$  запаздываний, т. е.  $t = t_t + t_n$ .

Значения параметров, характеризующих инерционность объектов, определяются по кривым разгона, которые получают экспериментальным путем или по математическим зависимостям. Использование графических зависимостей [1], отражающих изменение управляемого параметра во времени в объектах с самовыравниванием, дает возможность наглядно показать параметры, которые характеризуют свойство запаздывания.

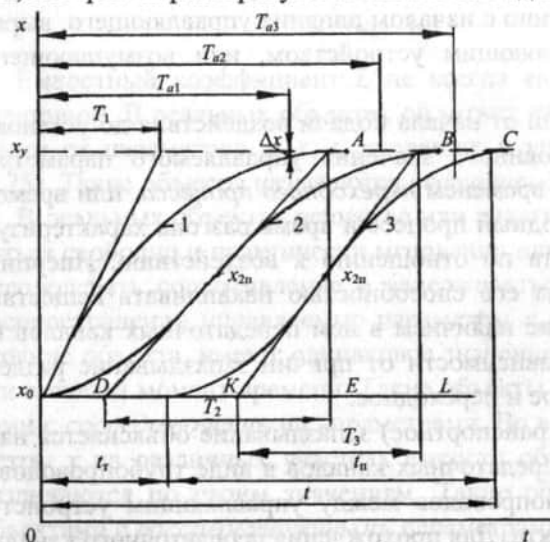


Рис. 1.2. Графики изменения управляемого параметра объекта с самовыравниванием: 1 — одноемкостного без передаточного запаздывания; 2 — многоемкостного без передаточного запаздывания; 3 — многоемкостного с передаточным запаздыванием;  $x_{2n}$ ,  $x_{3n}$  — точки перегиба

и равным его длине между точками  $x_y$  и  $A$ , — для одноемкостного объекта и отрезком времени между точками  $x_y$  и  $B$  — для много-

Кривые 1 и 2 (рис. 1.2) характеризуют динамику объектов, которые не имеют передаточных каналов. В таких объектах инерционность формирования значения управляемых параметров связана только с переходным (емкостным) запаздыванием. Для них время переходного запаздывания определяется отрезком, параллельным оси абсцисс

емкостного объекта без передаточного запаздывания. Объект, характеризуемый кривой разгона 3, имеет транспортное  $t_t$  и переходное  $t_n$  запаздывания.

По разгонным характеристикам определяется также время разгона и постоянная времени. Эти параметры тоже характеризуют инерционность объектов и учитываются при разработке и проектировании систем автоматизации.

Время разгона  $T_a$  определяется интервалом времени от начала подачи входного воздействия до того момента, когда управляемый параметр достигает значения, равного  $0,95(x_y - x_0)$ , т. е. управляемый параметр  $x$  отличается от  $x_y$  на некоторое значение  $\Delta x$ . Для графических зависимостей 1, 2, 3 время разгона соответствует отрезкам  $T_{a1}$ ,  $T_{a2}$  и  $T_{a3}$ .

Постоянная времени  $T$  определяется следующим образом. Например, относительно графической зависимости 1 необходимо выполнить достаточно простое действие. Из начала кривой разгона проводится касательная до пересечения с линией, которая параллельна оси абсцисс и отражает новое устойчивое установившееся значение управляемого параметра  $x_y$ . Отрезок прямой по этой линии определяет с учетом масштаба постоянную времени  $T_1$ .

Для кривых разгона 2 и 3 касательные проводятся в точках перегиба  $x_{2n}$  и  $x_{3n}$  до пересечения с двумя линиями, которые параллельны оси абсцисс. Одна из них проведена из точки  $x_0$ , соответствующей началу разгона кривых, а другая — из точки  $x_y$ . Точки пересечения  $D$  и  $E$  определяют постоянную времени  $T_2$ , а точки  $K$  и  $L$  — постоянную времени  $T_3$ .

С увеличением полного запаздывания труднее управлять объектом. Большое запаздывание может сделать невозможным управление объектом, в силу того что объект, например, не сможет обеспечивать необходимое качество выполняемой работы. Объясняется это следующим образом. При значительном запаздывании возникает и значительное расхождение во времени между началом входа в объект управляющего (входного) воздействия  $u(t)$  и формированием значения управляемого параметра  $x$  на его выходе. Поэтому в каждый момент времени состояние объекта неадекватно отражается значением управляющего воздействия, вырабатываемого автоматическим регулятором (управ-

ляющим устройством) на основе значения управляемого параметра.

Полученные ранее уравнения можно использовать для исследования простейшего одноемкостного объекта управления, аналогично вариантам рис. 1.1, а, б. Реальная система водоснабжения с водонапорной башней представляет собой объект регулирования уровня воды в резервуаре. Рассмотрим два характерных примера.

**Пример 1.** Приток воды от насоса выполнен над уровнем резервуара (рис. 1.3). Потребителем является ферма КРС с автопоилками.

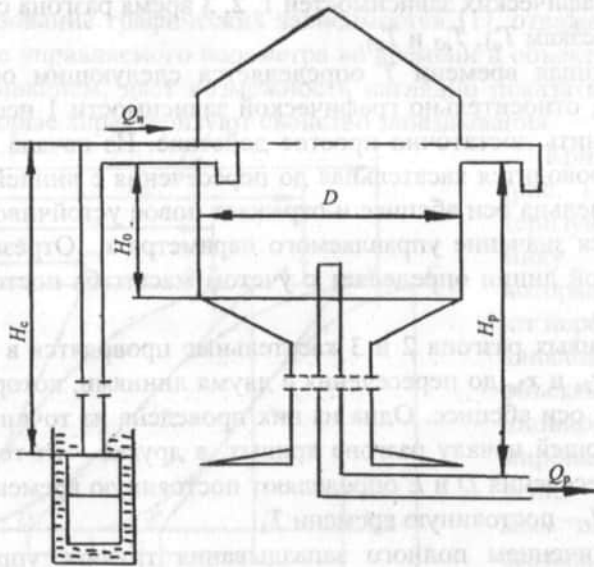


Рис. 1.3. Схема водонапорной установки с переливом на притоке

Подача насоса выражается формулой

$$u(t) = Q_n = \frac{P \eta_n \eta_p \cdot 10^3}{\rho g H_c}, \quad (1.32)$$

где  $P$  – мощность привода насоса, кВт;  $\eta_n$  и  $\eta_p$  – КПД насоса и передачи;  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $H_c$  – суммарный напор воды, м.

Создаваемый насосом суммарный напор  $H_c$  является величиной постоянной независимо от уровня воды в резервуаре  $H_0$ . Это означает, что входное воздействие в виде  $Q_n$  не зависит от значения регулируемого параметра  $H_0$ . Следовательно, между подачей  $Q_n$  и уровнем воды  $H_0$  отсутствует функциональная зависимость. Поэтому дифференцирование параметров  $Q_n$  и  $H_c$  дает нулевое значение, означающее, что слагаемое в уравнении (1.15) по притоку  $(dQ_n/dH_0)_0 = 0$ .

При использовании автопоилок суточный расход воды на ферме

$$Q_p = q_n N \alpha_c, \quad (1.33)$$

где  $q_n$  – норма потребления одного животного, л/сут.;  $N$  – число животных на ферме;  $\alpha_c = 1,3$  – коэффициент суточной неравномерности потребления.

Из этой формулы видно, что расход воды определяется нормой ее потребления животными. Это означает, что расход воды  $Q_p$  не зависит от ее уровня в резервуаре. Кроме того, уровень воды над поилками  $H_p$  не входит в формулу водопотребления. Между  $Q_p$  и параметром  $H_0$  отсутствует функциональная зависимость. Дифференцирование этого уравнения по параметру  $H_p$  дает нулевое значение, т. е. дифференциал в уравнении (1.15) по расходу  $(dQ_p/dH_p)_0 = 0$ .

Таким образом, коэффициент самовыравнивания объекта, определяемый по выражению (1.15), дает нулевое значение, т. е.  $\delta = 0$ . Значит, объект управления астатический (нейтральный) и с учетом (1.16) аппроксимируется уравнением динамики

$$T_c dH/dt = \Delta Q/Q_0. \quad (1.34)$$

При известных размерах резервуара и значении подачи насоса  $Q_n = Q_0$  определяется время разгона объекта по формуле (1.14).

Такой объект может эффективно работать только при использовании системы автоматического регулирования уровня воды в резервуаре.

**Пример 2.** Приток воды от насоса выполнен через обратный клапан и введен в систему водораспределения (рис. 1.4). Потребителем является, например, птицеферма с проточными автопоилками желобкового типа.

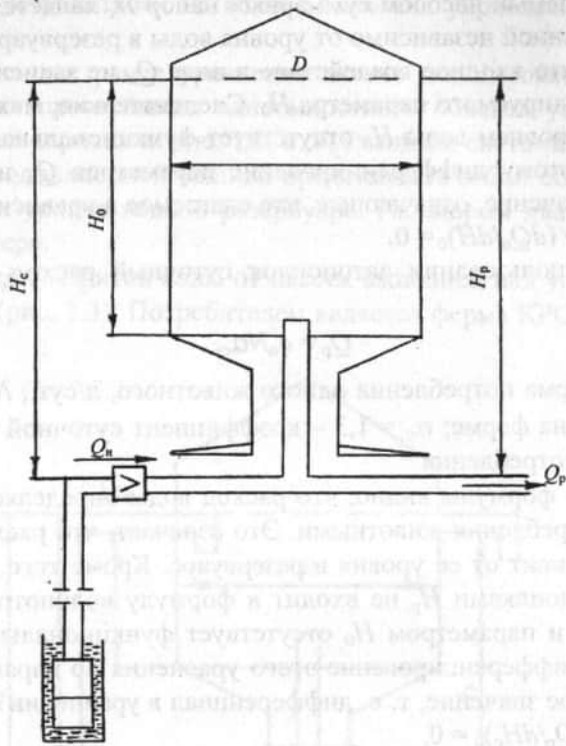


Рис. 1.4. Схема водонапорной установки с общим притоком и расходом

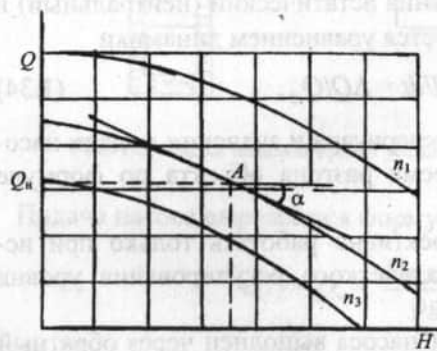


Рис. 1.5. К определению самовыравнивания по  $Q-H$ -характеристике насоса

При уровне воды в резервуаре  $H_0$  создается суммарный напор  $H_c$ , который в некоторой мере оказывает влияние на поступление воды от насоса, т. е.  $Q_n = f(H_0) = f(H_c)$ . В пределах заданного значения уровня воды  $H_0$  суммарный напор не изменяется. С учетом этого условия можно определить по  $Q-H$ -характеристике (рис. 1.5) подачу

воды насосом в рабочей области, что соответствует, например, точке  $A$ .

Касательная в этой точке к кривой определяет ее угол наклона и тангенс этого угла, имеющий отрицательное значение ( $-\text{tg}\alpha$ ). Тангенс угла  $\alpha$  представляет собой дифференциал  $(dQ_n/dH_c)_0$  по притоку, т. е. в уравнении (1.15) дифференциал для этого объекта  $(dQ_n/dH)_0$  имеет отрицательное значение.

Расход воды определяется по формуле

$$Q_p = 4,43\eta_p S_c \sqrt{H_p}, \quad (1.35)$$

где  $\eta_p$  – коэффициент расхода;  $S_c$  – суммарная площадь сечения вентиля, установленных на поилках, м;  $H_p$  – уровень воды над поилками, м.

В данной системе водоснабжения уровень воды в резервуаре оказывает влияние на ее расход, т. е. расход  $Q_p = f(H_0) = f(H_{po})$ . Дифференцирование уравнения расхода воды дает следующий результат:

$$(dQ_p/dH_p)_0 = 4,43\eta_p S_c \frac{1}{2\sqrt{H_p}} = \frac{2,22\eta_p S_c}{\sqrt{H_{po}}}, \quad (1.36)$$

где  $H_{po}$  – значение уровня воды над поилками при уровне воды в резервуаре  $H_0$ .

Согласно уравнению (1.15) получаем

$$\frac{H_{po} 2,22\eta_p S_c}{Q_{po} \sqrt{H_{po}}} + \frac{H_{co}}{Q_{no}} \text{tg}\alpha = \delta > 0. \quad (1.37)$$

Положительное значение коэффициента самовыравнивания означает, что система водоснабжения с общим притоком и расходом является устойчивым стационарным объектом управления.

Зная значения соответствующих параметров объекта и используя уравнения (1.14), (1.17) и (1.18), можно вычислить время разгона объекта  $T_a$ , постоянную времени  $T$  и коэффициент передачи (усиления)  $k$ .

### 1.3. Статический режим объектов управления

Современный этап автоматизированного машинного производства характеризуется двумя отдельными и в то же время взаимосвязанными периодами его развития.

Период комплексной механизации неразрывно связан с электрификацией и последующей автоматизацией сельскохозяйственного производства. На протяжении этого периода постоянно разрабатывалась и совершенствовалась сельскохозяйственная техника, повышалась надежность отдельных рабочих органов и машин. Этому способствовали исследования, позволившие определять и улучшать конструктивные, технологические и динамические параметры машин и различного оборудования. Определение оптимальных значений параметров объектов исследования давало возможность находить самые эффективные режимы их работы, для которых характерны, например, номинальная (предельная) производительность при минимальном удельном расходе энергии или номинальная производительность при высоком качестве производимой продукции (выполняемых работ) и т. д.

*Статический режим* – это установившееся состояние равновесия объекта при постоянном воздействии на него возмущений. Установившееся состояние объекта наступает после окончания переходного процесса, вызванного влиянием некоторого воздействия (входного параметра).

Статический (установившийся) режим работы объекта характеризуется постоянными значениями входного (входных) и выходного (выходных) параметров, т. е. значения параметров объекта не изменяются в течение некоторого промежутка времени. Такой режим объекта создается целенаправленно и используется при экспериментальных исследованиях для определения самого эффективного режима его функционирования. Установившийся режим работы объекта может возникать также периодически и кратковременно как результат удачного управления во время его работы.

Для исследования сельскохозяйственной техники применяются теоретический и эмпирический методы. Задачей каждого из них является получение математической модели, которая адекватно описывала бы оптимальный рабочий процесс маши-

ны. Теоретический метод предполагает получение математической зависимости на основе использования известных теорий, законов и теоретических уравнений, а эмпирический – на основе использования экспериментальных результатов. В вопросе достижения поставленной цели между этими методами имеется существенное различие. Например, из-за сложности рабочего процесса машины и изменения свойств ее составных частей, а также свойств перерабатываемого (обрабатываемого) исходного материала решение задачи по оптимизации объекта теоретическим путем не всегда удается. Поэтому с увеличением сложности машины как объекта исследования возрастает роль экспериментальных методов.

Несмотря на многообразие сельскохозяйственных объектов, их можно разделить на простые и сложные с точки зрения количественного влияния на каждый из них управляемых параметров. К простым объектам относятся жилые и производственные помещения, постройки для содержания животных и птицы, теплицы для выращивания овощных и других культур, хранилища для фруктов и овощей. К таким объектам предъявляются агробиологические, зоотехнические, экономические и медицинские требования при выборе оптимальных значений управляемых параметров, обеспечивающих их эффективное функционирование. Более сложные объекты необходимо исследовать, чтобы определить значения управляемых параметров, соответствующих оптимальным условиям их работы.

Наряду с традиционными методами применение методики экстремального планирования эксперимента значительно повышает эффективность исследования, делает его более экономичным, а поведение исследователя – целенаправленным и организованным. Эксперимент становится активным, так как строится по специальным научно обоснованным планам, а принимаемые исследователем решения определяются результатами опытов, полученных на предыдущих этапах исследования. При этом существенно повышается надежность и достоверность полученных результатов, а также производительность труда исследователя благодаря многократному сокращению объема экспериментальных работ.

Методика экстремального планирования эксперимента предполагает при решении сложной многофакторной задачи использование кибернетических представлений об объекте исследования на основе его модели – «черного ящика» (рис. 1.6). На этом рисунке прямоугольник представляет сельскохозяйственную машину как объект управления, а стрелки с буквенными обозначениями – входные и выходные параметры (воздействия).

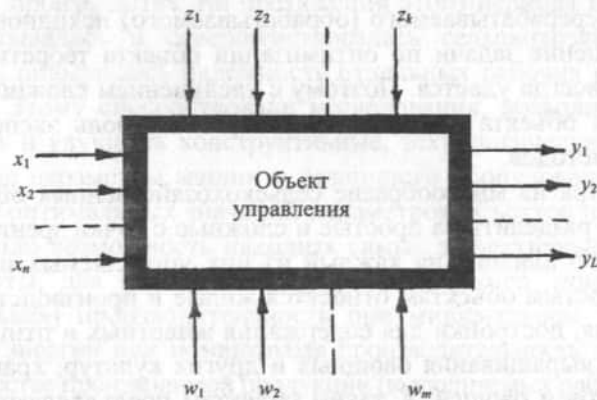


Рис. 1.6. Модель объекта управления в статическом режиме

К входным параметрам объекта относятся:  $x_1 \dots x_n$  – управляемые параметры, значения которых исследователь может целенаправленно изменять;  $z_1 \dots z_k$  – контролируемые, но управляемые параметры, значения которых исследователь может только измерять;  $w_1 \dots w_m$  – неконтролируемые и управляемые параметры.

Выходными параметрами  $y_1 \dots y_L$  объекта могут быть удельный расход энергии, производительность, себестоимость и качество конечного продукта (вида выполненной работы) и некоторые другие. Выходные параметры называются параметрами *оптимизации*, по их значениям оценивается эффективность работы объекта. С учетом значений параметров оптимизации определяются оптимальные значения управляемых параметров.

Реализовав на последнем этапе исследования матрицу планирования второго порядка, можно получить по ее результатам для каждого параметра оптимизации  $y_i$  уравнение второго порядка вида

$$y = b_0 + \sum_1^n b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_1^n b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (1.38)$$

где  $y$  – экспериментальные значения параметра оптимизации;  $b_0, b_i, b_{ij}, \dots$  – экспериментальные коэффициенты уравнения, которые количественно учитывают влияние контролируемых, а также неконтролируемых и управляемых параметров.

Каждые из полученных уравнений можно решать на экстремум при помощи ЭВМ и определять оптимальные значения управляемых параметров. Кроме того, можно решать так называемые компромиссные задачи, используя одновременно два необходимых уравнения второго порядка.

Методика экстремального планирования эксперимента позволяет достоверно определять наиболее значимые по степени влияния на объект управляемые параметры, число которых может достигать нескольких десятков. Ее эффективность заключается и в том, что с высокой степенью достоверности можно использовать значения управляемых параметров как для оптимизации режима работы объекта, так и для разработки систем автоматизации. На основании результатов эксперимента можно с высокой достоверностью принимать решение, какую систему автоматизации разрабатывать – одно- или многомерную, одно- или многоконтурную.

Зависимость выходного параметра объекта от входного в установленном состоянии называется *статической* характеристикой. Установившийся режим объекта описывается статическими характеристиками в виде математических или графических зависимостей, которые могут быть линейными и нелинейными. В функциональном виде статические характеристики записываются: для однофакторного эксперимента –  $y = f(x)$ , для двухфакторного –  $y = f(x_1, x_2)$  и т. д. Некоторые разновидности статических характеристик изображены на рис. 1.7.

Статические характеристики реальных объектов в большинстве случаев являются нелинейными. В инженерной практике нелинейные характеристики заменяют приближенными линейными. Такой процесс замены принято называть *линеаризацией* нелинейных функций. В целях линеаризации, что определяется

характером нелинейности функций, можно использовать один из методов приближения функций: метод осреднения, малых отклонений, наименьших квадратов, интерполирование, разложение в ряд и др.

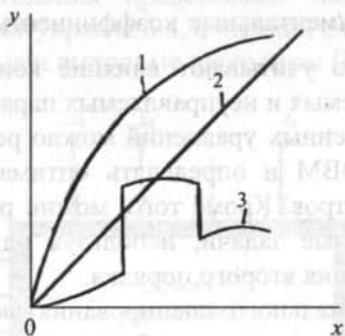


Рис. 1.7. Виды статических характеристик объектов:  
1 – линейная; 2 – нелинейная; 3 – прерывистая

Метод осреднения является наиболее простой линеаризацией. Он используется для замены линейной зависимостью достаточно гладкой нелинейной характеристики, которая не может быть аппроксимирована аналитической функцией (рис. 1.8, а).

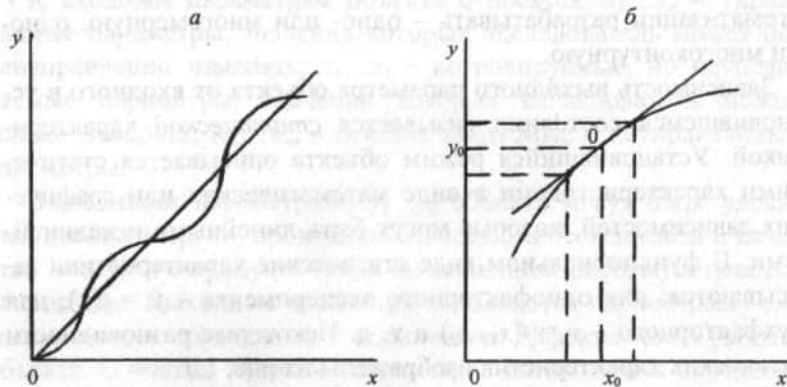


Рис. 1.8. Методы линеаризации статических характеристик: а – осредненная; б – малых отклонений (разложения в ряд Тейлора)

Метод малых отклонений основан на замене нелинейной характеристики (рис. 1.8, б), например, в точке  $O$  с координатами

$(x_0, y_0)$  прямой, касательной в этой точке. Если нелинейная статическая характеристика описывается аналитической зависимостью, т. е. она непрерывна и дифференцируема в некоторой окрестности точки выбранного режима работы объекта  $x = x_0$ , то линеаризация такой зависимости может выполняться путем ее разложения в ряд Тейлора в точке  $x_0$  с учетом лишь нелинейного члена разложения

$$y \approx y_0 + (dy/dx)_0 (x - x_0), \quad (1.39)$$

где  $y_0 = f(x_0)$ .

При переносе начала отсчета  $x$  и  $y$  в точку  $(x_0, y_0)$  нелинейную зависимость можно представить в виде линейного выражения в отклонениях

$$\Delta y \approx (dy/dx)_0 \Delta x. \quad (1.40)$$

В графической интерпретации линеаризация путем разложения нелинейной функции в ряд Тейлора соответствует замене нелинейного графика касательной к нему в точке  $x = x_0$ . Очевидно, что подобную линеаризацию можно применять в том случае, когда такие отклонения входного и выходного параметров не снижают эффективность работы объекта управления. По этой причине линеаризацию разложением в ряд Тейлора часто называют методом малых отклонений.

#### 1.4. Динамический режим объектов управления

Автоматизация является завершающим периодом развития сельскохозяйственного машинного производства. При разработке технических средств автоматизации широко применяются результаты исследования динамического режима объектов.

Динамическим называется такой режим, при котором состояние объекта является неустановившимся. В реальных условиях работы объекта такое его состояние является основным с точки зрения того, что наиболее часто возникает и проявляется во времени. Неустановившееся состояние характеризуется тем, что действующие на объект возмущения вызывают в нем переходные процессы, параметры которых изменяются во времени.

Объект управления независимо от его физической природы схематично изображается в виде прямоугольника, и с помощью стрелок отражается его взаимодействие с внешней средой (рис. 1.9).



Рис. 1.9. Модель объекта управления в динамическом режиме

Состояние объекта определяется конкретными значениями параметров его внутренней среды (температурой, давлением и их производными во времени). Движение объекта описывается изменением во времени названных физических величин. Обычно не все переменные состояния внутренней среды объекта доступны прямому контролю, т. е. контролю без использования так называемых наблюдающих устройств (идентификаторов состояния). Поэтому управление объектом осуществляется по значениям параметров, которые доступны прямому контролю. Они называются управляемыми, или выходными, переменными (сигналами), обозначенными  $x(t)$  на рис. 1.9.

Свойства и особенности объекта могут быть правильно оценены и учтены только при рассмотрении его связей с окружающей внешней средой. Величины, характеризующие внешнее влияние на объект, называются *входными переменными*, или *воздействиями*.

Внешними влияниями могут быть воздействия технических средств управления или человека при ручном управлении, а также воздействия внешней среды.

Входные воздействия  $u(t)$ , вырабатываемые управляющим устройством, называются *управляющими воздействиями*. Появление такого воздействия на входе объекта характерно как при автоматическом, так и при ручном управлении.

Входные воздействия окружающей внешней среды называются *возмущающими воздействиями*, или *возмущениями*. Их подразделяют на нагрузку и помеху.

*Нагрузка* – это возмущающее воздействие, поступающее в объект помимо управляющего устройства (автоматического регулятора) и влияющее на его переменные состояния. Она влияет на значения управляемых параметров  $x(t)$  и изменяет динамические свойства объекта. Нагрузка образует  $n$ -й ряд входных воздействий  $\lambda(t)$  и является основным возмущением, которое действует на объект. В зависимости от вида объекта нагрузкой может быть, например, момент сопротивления на валу двигателя, создаваемый рабочей машиной; расход вещества или энергии; температура управляющей (регулирующей) среды; электрическое сопротивление материала и другие физические параметры.

*Помеха* – это возмущающее воздействие, которое искажает поступающую в управляющее устройство информацию о нагрузке, состоянии и динамических свойствах объекта. Помеха оказывает влияние также на переменные состояния и параметры, характеризующие динамические свойства управляющего устройства. Помехой могут быть наводки в проводах, солнечная радиация, влажность, запыленность, температура окружающей среды и другие нежелательные явления, приводящие к ошибкам измерения и не содержащие необходимой для управления информации в случае, если управление обеспечивается по значениям только управляемых параметров  $x(t)$ . Помеха образует  $m$ -й ряд возмущающих воздействий  $f(t)$ .

Возмущения могут быть контролируемыми и неконтролируемыми, а также детерминированными и стохастическими. Детерминированные возмущения характеризуются заранее известными функциями времени, а стохастические – случайными функциями, значения которых в каждый данный момент времени представляют собой случайные величины.

Например, рассмотрим здание (рис. 1.10) как объект регулирования температуры воздуха стационарными отопительными батареями. Принудительная циркуляция горячей воды обеспечивает регулирование теплоотдачи отопительных батарей.

Управляемой (выходной) переменной объекта является температура воздуха  $\theta_a$  внутри здания.

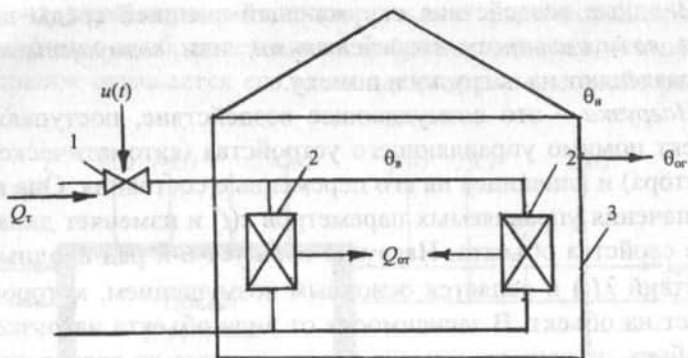


Рис. 1.10. Схема обогрева здания стационарными теплообменниками:  
1 – клапан; 2 – отопительные батареи; 3 – здание

Управляющее воздействие  $u(t)$  вырабатывается автоматическим регулятором. Оно определяет положение клапана и количество подаваемой в единицу времени горячей воды в отопительную систему.

Нагрузкой служат расход и температура горячей воды, влияющие на переменные состояния внутренней среды и параметры объекта управления. Значения параметров объекта характеризуются теплообменными свойствами конструктивных элементов здания, которые зависят от теплофизических свойств используемых строительных материалов.

Помехой являются физические параметры окружающей внешней среды (температура, влажность, скорость воздуха и др.), а также возможные неплотности в строительных конструкциях здания.

Все возмущающие воздействия (нагрузка, помеха) представляют собой случайные функции времени, совокупность которых определяется некоторым входным случайным процессом. Следовательно, изменение температуры  $\theta_n$  также является случайной функцией времени и определяет выходной случайный процесс. Поэтому управляющее воздействие  $u(t)$  должно быть сформировано так, чтобы в процессе регулирования температуры воздуха в здании управляемая переменная  $\theta_n$  отклонялась от оптимального значения в заданных пределах (отклонениях).

С изменением температуры воздуха в помещении (управляемого параметра) соответственно будут изменяться приток теплоты от отопительных батарей  $Q_{от}$  и расход ее через окна и ограждения  $Q_{от}$ .

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Дайте определение терминов «автоматика», «автоматизация», «ТАУ» и «СТАУ».
2. Что должен уметь инженер-механик в профессиональной деятельности?
3. В чем заключаются особенности автоматизации сельскохозяйственной техники и перспективы ее развития?
4. Дайте определение объекта управления и его алгоритма функционирования, приведите примеры объектов.
5. Назовите основные свойства объектов и раскройте содержание каждого из них.
6. Что представляют собой статический и динамический режимы работы объектов?
7. Как называются входные воздействия объектов и как они подразделяются?

### Задание 1

Система водоснабжения фермы КРС выполнена с переливом на притоке (рис. 1.3). Резервуар водонапорной установки имеет диаметр 3 м и номинальный уровень воды 4,5 м. Вода подается в резервуар погружным насосом типа ЭЦВ.

Вычислить время разгона объекта, определить знак коэффициента самовыравнивания, постоянную времени, коэффициент передачи и описать объект уравнением динамики при условии, что уровень воды в резервуаре соответствует номинальному значению (исходные данные для выполнения задания приведены ниже).

### Задание 2

Система водоснабжения птицефермы имеет общий приток и расход (рис. 1.4). Вода через обратный клапан подается в резервуар, диаметр которого составляет 2,5 м, а номинальный уровень воды в нем равен 4 м. Вода подается погружным насосом типа ЭЦВ (типы насосов приведены ниже). Распределительная система воды обеспечивает поение при помощи nippleных или желобковых поилок. Вода подводится к каждой поилке через вентиль размером  $1\frac{1}{2}$ " . Уровень воды над поилками равен 15 м.

Определить время разгона объекта, знак коэффициента самовыравнивания (тангенс угла для всех насосов типа ЭЦВ в рабочей области имеет отрицательное значение), постоянную времени, коэффициент передачи и описать объект уравнением динамики (исходные данные для выполнения задания приведены ниже).

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ 1 И 2:

1. Тип насосов: ЭЦВ5-4-125, ЭЦВ5-6,3-80, 1ЭЦВ6-4-130, 3ЭЦВ6-6,3-60, 4ЭЦВ6-6,3-125, 1ЭЦВ6-10-80, 1ЭЦВ6-10-110, 1ЭЦВ6-10-140, 2ЭЦВ8-16-140, 3ЭЦВ8-25-100.

Примечание: первая цифра после буквенного обозначения определяет диаметр обсадной трубы в дюймах, вторая – подачу насоса в  $\text{м}^3/\text{ч}$ , третья – напор в м.

2. Поголовье ферм, голов: откорм КРС – 3000, 10 000, 15 000; молочно-товарные – 200, 400, 600, 800, 1 200; куры-несушки – 100 000, 200 000, 300 000, 400 000; бройлеры – 1 млн, 2 млн, 3 млн, 5 млн.

3. Нормы потребления воды для животных и птицы на одну голову, л/сут.: коровы – 100, быки – 60, нетели – 50, куры – 1.

## Глава 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ

### 2.1. Основные виды систем автоматизации

*Управление* – это совокупность действий, направленных на поддержание или улучшение режима работы объекта.

Управлять объектом может человек или техническое устройство. В первом случае управление называется ручным, во втором – автоматическим. При описании устройства и принципа действия систем автоматизации применяются термины «автоматическое управление» и «автоматическое регулирование».

*Автоматическое управление* представляет собой процесс автоматического поддержания на заданных уровнях *нескольких управляемых параметров* объекта или изменение их по заданным законам (программам).

*Автоматическое регулирование* – процесс автоматического поддержания на заданном уровне только *одного управляемого параметра* или изменение его по заданному закону (программе).

В одних системах автоматизации функции управления объектом полностью выполняют технические устройства, в других часть функций управления объектом выполняет человек, а часть – технические устройства. В связи с этим принято различать автоматические и автоматизированные системы.

*Система автоматического управления (САУ)* представляет собой систему автоматизации, которая автоматически управляет объектом по нескольким параметрам. В качестве примеров можно привести системы автоматического управления микроклиматом в животноводческих помещениях и овощехранилищах (системы автоматизации управляют температурой и влажностью воздуха), системы автоматического управления, которыми оснащены автогрейдеры, асфальтоукладчики (автоматически поддерживаются на заданных уровнях угол продольного и угол поперечного наклона рабочих органов).

*Автоматизированная система управления (АСУ)* – совокупность экономико-математических методов, технических средств (ЭВМ, средств связи, устройств отображения информации и т. д.) и организационных комплексов, обеспечивающих рачио-

нальное управление сложным объектом (процессом) в соответствии с заданной целью. АСУ состоит из основы и функциональной части. В *основу* входят информационная база, техническая база, математическое обеспечение, экономико-математическая база. *Функциональной частью* является набор взаимосвязанных программ, автоматизирующих конкретные функции управления (планирование, финансово-бухгалтерскую деятельность и др.). Наиболее важной целью АСУ является повышение эффективности управления объектом (производственным, административным и др.) на основе роста производительности труда и совершенствования методов планирования и регулирования процесса управления. Различают АСУ: технологическими процессами – АСУ ТП, предприятием – АСУП, отраслью – ОАСУ, а также функциональные автоматизированные системы, например проектирования, плановых расчетов, материально-технического снабжения и др. Автоматизированные системы применяются для управления технологическими процессами на животноводческих комплексах с использованием диспетчера-оператора. Отдельные операции, например дозирование, приготовление кормов, их раздача, доение, учет надоя, удаление навоза, взвешивание животных и т. д., выполняются в автоматическом режиме, без участия оператора в управлении. Другие операции, например сбор информации, ее обработка на ЭВМ, принятие решений по изменению программы управления отдельными операциями, согласование оперативных данных с руководством комплекса и хозяйства и т. д., выполняются диспетчером-оператором для обеспечения оперативного управления. В распоряжении диспетчера имеются следующие технические средства:

- табло сигнализации (мнемоническая схема), обеспечивающее подачу световых сигналов о включении машин, установок и поточных технологических линий. По табло диспетчер определяет процессы, которые сбиваются с установившегося графика, и принимает меры по ликвидации нарушения;
- переговорное устройство, позволяющее осуществлять двустороннюю связь с подразделениями и специалистами комплекса и проводить оперативные совещания без отхода от рабочего места;

- автоматическая телефонная станция, обеспечивающая связь диспетчера, начальника и специалистов комплекса с внешними организациями;

- радиосвязь с мобильными кормозаготовительными, транспортными и ремонтными бригадами;

- телевизионные установки для визуального контроля за ходом технологических процессов, работой обслуживающего персонала и состоянием животных.

При четком оперативном руководстве устраняются длительные простои оборудования, машин и технологических линий, сокращаются сроки проведения технических осмотров, плановых и аварийных ремонтов, заготовки кормов и за счет этого повышается качество и эффективность работы специалистов, улучшаются технико-экономические показатели комплекса.

*Система автоматического регулирования (САР)* представляет собой систему автоматизации, которая автоматически управляет объектом только по одному параметру. В одних системах автоматического регулирования управляемый параметр поддерживается на заданном уровне с незначительными отклонениями от заданного значения, в других он имеет два заданных значения (уровня) и изменяется от  $x_{\min}$  до  $x_{\max}$ . Например, в системе автоматизации (параграф 11.4), которой оснащены теплогенераторы типа ТГ, минимально рекомендуемое отклонение температуры от заданного значения должно составлять 1,5... ..2 °С. В системах водоснабжения ферм предел изменения уровня воды в напорном резервуаре весьма значительный, т. е. задается минимальный уровень  $H_1$  и максимальный  $H_2$ . В безбашенных насосных установках ВУ задаются два значения давления воздуха в воздушно-водяном резервуаре: максимальное и минимальное.

*Система автоматического контроля (САК)* – система автоматизации, которая обеспечивает автоматическое измерение параметров объекта с целью установления их отклонений от заданных или номинальных значений. Примером может служить система автоматического контроля частоты вращения рабочих органов зерноуборочных комбайнов «Дон». Автоматический

контроль в таких системах автоматизации сочетается, как правило, с автоматической сигнализацией.

*Система автоматической сигнализации (САС)* – система автоматизации, которая обеспечивает автоматическое оповещение обслуживающего персонала об отклонениях параметров объекта от его заданных (номинальных) значений. В системах автоматизации используется световая, звуковая или комбинированная автоматическая сигнализация.

Автоматическая сигнализация может совмещаться не только с системами автоматического контроля, но и с другими системами автоматизации. Например, в системе автоматического регулирования уровня воды в башенной водокачке используется автоматическая сигнализация, которая световым сигналом ламп визуально отмечает изменение уровня воды в резервуаре. Совместно с системой автоматического регулирования температуры воды, используемой в установке ВЭТ-200, применяется звуковая сигнализация, которая оповещает обслуживающий персонал о максимальной температуре нагрева воды и т. д.

## 2.2. Понятие системы автоматизации и ее структура

*Автомат* (от греч. automatos – самодействующий) – устройство (совокупность устройств), выполняющее по заданной программе без непосредственного участия человека все операции в процессах получения, преобразования, передачи и распределения (использования) энергии, материалов или информации. Программа автомата задается в его конструкции (часы, торговый автомат) или извне – посредством перфокарт, магнитных лент и т. п. (ЭВМ, станок с программным управлением), копирующими или моделирующими устройствами (АВМ, следящая система, интерполятор).

*Аналоговая* вычислительная машина (АВМ) обрабатывает информацию, представленную в аналоговой (непрерывной) форме, посредством воспроизведения характерных для данного класса задач соотношений между непрерывно изменяющимися физическими величинами – аналогами исходных данных.

*Интерполятор* (от лат. interpolo – передельваю) – аналоговое или цифровое вычислительное устройство для нахождения

координат точки, движущейся непрерывно по кривой, заданной аналитически. Применяется как управляющее устройство в технических системах с программным управлением.

*Следящая система* – система автоматического регулирования (управления), в которой регулируемая (выходная) величина с помощью обратной связи воспроизводит с определенной точностью задающую (входную) величину, изменяющуюся по неизвестному заранее закону. Используется в измерительной технике, следящих электроприводах, системах наведения ракет и т. д.

*Следящий электропривод* обеспечивает воспроизведение механических перемещений контролируемого или управляемого объекта посредством исполнительного электродвигателя. Он включает задающее устройство, измерительный преобразователь, орган сравнения, усилитель и исполнитель – двигатель. Применяется в системах автоматического управления, передачи информации и измерения.

Создание и использование автоматов – новый, более высокий этап машинного производства, называемый *автоматизацией*. Автоматизация развивается на базе механизации и электрификации сельскохозяйственного производства.

Система автоматизации – это устройство, состоящее из объекта регулирования и автоматического регулятора. Содержание системы автоматизации рассматривается на примере системы автоматического регулирования, представленной в общем виде следующей структурной схемой (рис. 2.1).

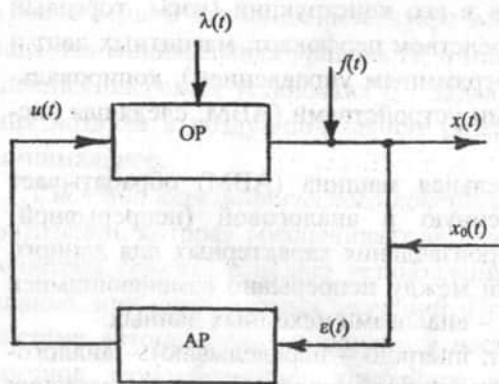


Рис. 2.1. Структурная схема системы автоматического регулирования в общем виде

Буквенные символы на рис. 2.1 имеют следующие значения: ОР – объект регулирования; АР – автоматический регулятор;  $u(t)$  – управляющее воздействие;  $\lambda(t)$  – нагрузка;  $x(t)$  – управляемый параметр объекта;  $f(t)$  – помеха (возмущающие воздействия);  $x_0(t)$  – заданное значение управляемого параметра;  $\varepsilon(t)$  – отклонение действительного значения регулируемого параметра от его заданного значения.

*Автоматический регулятор* – это совокупность технических средств (устройств), обеспечивающих заданное значение управляемого параметра.

Возмущающие воздействия (параграф 1.4) действуют на объект регулирования таким образом, что выводят его из равновесия, т. е. регулируемый параметр объекта отклоняется от его заданного значения. Автоматический регулятор постоянно следит за регулируемым параметром объекта и, измеряя его действительное значение, сравнивает с заданным. В случае возникновения отклонения  $\varepsilon(t)$  вступают в работу все функциональные элементы автоматического регулятора. В результате вырабатывается управляющее воздействие  $u(t)$  и нейтрализуется возникшее отклонение между действительным значением регулируемого параметра и его заданным значением, т. е. объект регулирования возвращается в равновесное заданное состояние. В системах автоматического регулирования действует один канал, по которому проходит сигнал, пропорциональный изменению регулируемого параметра. Этот канал обозначен на функциональной схеме (рис. 2.1) линиями со стрелками, которые отражают направление прохождения сигнала в системе автоматизации.

Канал в автоматическом регуляторе представляет собой непрерывный контур, образованный техническими средствами автоматизации (электрическими, гидравлическими, пневматическими, механическими), т. е. теми техническими средствами (элементами), из которых конструктивно выполнен регулятор. При работе регулятора последовательно срабатывают его элементы (далее, а также параграф 2.4), образуя канал для прохождения сигнала.

Отличительной особенностью системы автоматического управления является наличие в системе автоматизации как минимум двух каналов, по каждому из которых проходит свой сиг-

нал, пропорциональный изменению соответствующего управляемого параметра (рис. 2.2).

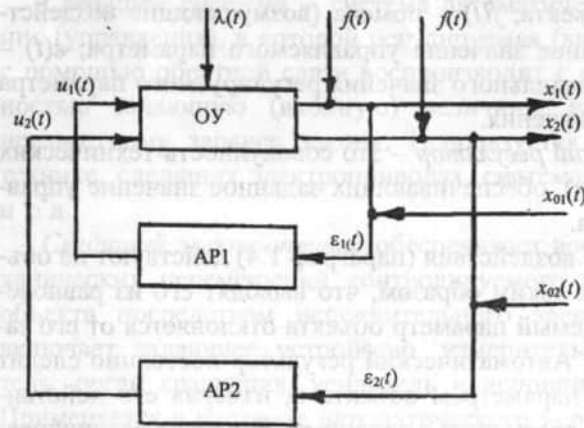


Рис. 2.2. Структурная схема системы автоматического управления в общем виде

Например, система автоматизации обеспечивает управление объектом по двум контролируемым параметрам и имеет два автоматических регулятора. Каждый автоматический регулятор выполняет измерение соответствующего управляемого параметра объекта и сравнивает его с заданным значением. В процессе работы объекта могут возникать различные режимные варианты. Например, управляемый параметр  $x_{01}(t)$  изменяет свое значение под влиянием возмущающих воздействий, а другой параметр  $x_{02}(t)$  остается неизменным и соответствует заданному значению. Регулятор AP1, зафиксировав отклонение  $\varepsilon_1(t)$ , вырабатывает управляющее воздействие  $u_1(t)$ , которое восстанавливает нарушенное равновесное состояние объекта управления по параметру  $x_1(t)$ .

Второй автоматический регулятор в этот промежуток времени не работает и не вырабатывает управляющего воздействия  $u_2(t)$ , так как отклонение  $\varepsilon_2(t) = 0$ . При отклонении параметра  $x_{02}(t)$  от заданного значения при  $x_{01}(t) = \text{const}$  вступает в работу только регулятор AP2.

В случае одновременного изменения управляемых параметров от их заданных значений вступают в действие оба автоматических регулятора. Возникшие отклонения  $\varepsilon_1(t)$  и  $\varepsilon_2(t)$  в виде

сигналов проходят по каналам своего автоматического регулятора. Автоматические регуляторы вырабатывают управляющие воздействия  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$ , которые, действуя одновременно, приводят в равновесное состояние объект управления, т. е. каждый управляемый параметр объекта достигает своего заданного значения.

При разработке и конструировании системы автоматизации для каждого объекта разрабатывается алгоритм функционирования и для каждого автоматического регулятора – алгоритм управления.

*Алгоритм функционирования* (параграф 1.1) характеризует эффективность протекания рабочего процесса объекта управления и количественно оценивается во времени значениями управляемых параметров. Управляемый параметр может иметь оптимальное значение или изменяться по определенному закону (программе), что определяется теоретическими и экспериментальными исследованиями. Программы, как правило, разрабатываются на основе исследования технологических, экономических, зоотехнических, биологических и административных требований и могут быть *временными* (разработаны в функции времени) или *параметрическими* (разработаны в функции другого параметра).

Например, для работы кормораздатчика в автоматическом режиме разрабатывается программа в функции пройденного пути (начало и конец раздачи определяются фронтом кормления животных, т. е. длиной кормушек), а число кормлений в день рассчитывается на основе зоотехнических и биологических требований. Каждый цикл кормления протекает в автоматическом режиме согласно параметрической программе. Примером может служить система автоматизации кормораздатчика КСМ-Ф-1,2 (параграф 9.4).

*Алгоритм управления* – это совокупность предписаний, определяющих характер управляющих воздействий на объект с целью осуществления им заданного алгоритма функционирования.

Для каждой конкретной системы автоматизации разрабатывается алгоритм управления на основе использования результатов теоретических и экспериментальных исследований элементов автоматического регулятора, а также с учетом алгоритма

функционирования. Разработанный алгоритм управления реализуется в системе автоматизации в виде соответствующего типового закона (параграф 2.6), согласно которому автоматический регулятор обеспечивает заданное равновесное состояние объекта управления.

На рис. 2.1 и 2.2 автоматический регулятор условно изображен прямоугольником как устройство, представляющее собой единое целое. Однако в реальной системе автоматизации автоматический регулятор состоит из нескольких элементов функциональной структуры. В общем случае регулятор может включать следующие функциональные элементы: *измерительный преобразователь* (ИП), сравнивающий элемент (СЭ), задающий элемент (ЗЭ), усилительный орган (УО), исполнительный механизм (ИМ), регулирующий орган (РО), корректирующий элемент (КЭ).

### 2.3. Обратные связи

*Обратной связью* (ОС) называется процесс передачи в системе автоматизации или ее некоторой части выходного сигнала обратно на вход.

Обратная связь весьма широко применяется в автоматике, радиоэлектронике, технике. Она также широко используется при объяснении многих общественных и биологических явлений. Обратная связь действует во всех живых организмах.

Различают положительную и отрицательную, главную и местную, жесткую и гибкую обратные связи.

*Положительная обратная связь* – это процесс передачи в системе автоматизации или ее части выходного сигнала обратно на вход, в результате которого увеличивается входной сигнал.

*Отрицательная обратная связь* – это процесс передачи в системе автоматизации или ее части выходного сигнала обратно на вход, в результате которого уменьшается входной сигнал.

*Главная обратная связь* – это связь в системе автоматизации между выходом и входом объекта, образующая замкнутый контур управления. Выходной сигнал управляемого параметра объекта проходит через все элементы функциональной структуры автоматического регулятора и возвращается на вход объекта (параграф 2.2).

*Местная обратная связь* – это связь между выходом и входом любого функционального элемента или нескольких функциональных элементов автоматического регулятора. Местные обратные связи используются в системах автоматизации для улучшения их работы, а также для повышения устойчивости и точности, уменьшения ошибок и запаздывания в процессе работы. Иногда в литературе местные связи называют корректирующими элементами, что более полно раскрывает их сущность.

*Жесткая обратная связь* действует в системе автоматизации в переходном и установившемся режимах работы объекта.

*Гибкая обратная связь* (изодромная, или упругая, связь, действует только в неустановившемся режиме работы объекта. Сначала гибкая связь осуществляется в системе автоматизации как жесткая, а затем ее действие ослабевает и исчезает в установившемся режиме.

Сущность обратной связи можно раскрыть на примере системы автоматического регулирования температуры теплоносителя в шахтной зерносушилке (рис. 2.3).

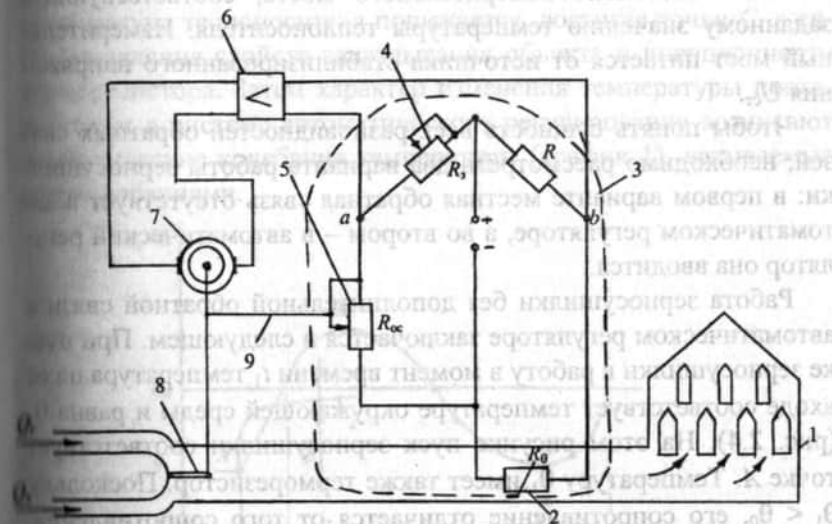


Рис. 2.3. Принципиальная электрическая схема САР температуры теплоносителя в шахтной зерносушилке: 1 – зерносушилка; 2 – терморезистор; 3 – измерительный мост; 4, 5 – резисторы переменного сопротивления, усилитель; 6 – усилитель; 7 – электродвигатель с передаточным механизмом; 8 – заслонка; 9 – устройство обратной связи

Объектом регулирования в системе автоматизации является зерносушилка, а в состав автоматического регулятора входят терморезистор, измерительный мост, усилитель, электродвигатель с передаточным механизмом и заслонка, а также устройство обратной связи.

Измерительный мост автоматического регулятора может находиться во время работы зерносушилки в равновесном или неравновесном состоянии. Условие равновесия измерительного моста выражается равенством  $RR_{oc} = R_3 R_0$  и соответствует установившемуся режиму сушки, т. е. заданному значению температуры теплоносителя в сушилке. Основное свойство измерительного моста заключается в том, что при любом значении стабилизированного напряжения  $U_{ст}$  источника питания его равновесное состояние соответствует отсутствию в диагонали  $ab$  электрического тока.

Температура теплоносителя контролируется на входе зерносушилки терморезистором. Резистором 4 устанавливается равновесное состояние измерительного моста, соответствующее заданному значению температуры теплоносителя. Измерительный мост питается от источника стабилизированного напряжения  $U_{ст}$ .

Чтобы понять сущность всех разновидностей обратных связей, необходимо рассмотреть два варианта работы зерносушилки: в первом варианте местная обратная связь отсутствует в автоматическом регуляторе, а во втором – в автоматический регулятор она вводится.

Работа зерносушилки без дополнительной обратной связи в автоматическом регуляторе заключается в следующем. При пуске зерносушилки в работу в момент времени  $t_1$  температура на ее входе соответствует температуре окружающей среды и равна  $\theta_1$  (рис. 2.4). На этом рисунке пуск зерносушилки соответствует точке  $A$ . Температуру  $\theta_1$  имеет также терморезистор. Поскольку  $\theta_1 < \theta_0$ , его сопротивление отличается от того сопротивления, которое соответствует заданной температуре теплоносителя  $\theta_0$ . Следовательно, мост разбалансирован и его равновесие нарушается. На выходе измерительного моста в его диагонали  $ab$  появляется электрический сигнал разбаланса определенной полярности и во входной цепи усилителя протекает ток определенного

направления. Усилителем 6 этот сигнал усиливается до значения, достаточного для включения электродвигателя, который через передаточный механизм поворачивает заслонку. Приток горячего воздуха увеличивается и повышается температура теплоносителя в зерносушилке. Через некоторое время температура в месте установки заслонки достигает заданной. Но терморезистор еще не реагирует на эту температуру в силу инерционности и некоторой удаленности от заслонки (проявляется одно из свойств объекта – транспортное и емкостное запаздывание). Электродвигатель продолжает поворачивать заслонку и останавливается с некоторым запаздыванием. Температура теплоносителя превышает заданное значение и достигает значения, соответствующего точке  $B$ . В результате сопротивление терморезистора будет соответствовать максимальной температуре теплоносителя. В силу этого изменяется полярность сигнала разбаланса измерительного моста и ротор двигателя начнет вращаться в обратную сторону, перемещая также заслонку в обратном направлении. Приток холодного воздуха увеличивается, и температура теплоносителя понижается, достигая точки  $C$ , в силу проявления свойств запаздывания объекта и инерционности терморезистора. Затем характер изменения температуры повторяется, и в системе автоматического регулирования возникают периодические колебания температуры (график 1), называемые автоколебаниями.

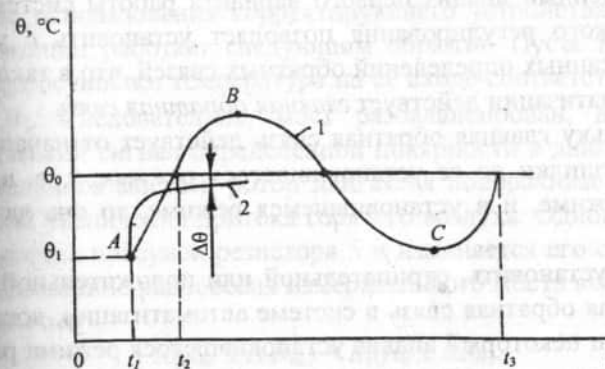


Рис. 2.4. Графики изменения температуры во времени: 1 – без обратной связи; 2 – при наличии обратной связи

Равновесие измерительного моста выражается математической зависимостью

$$RR_{oc} = R_s(R_0 \pm \Delta R_0). \quad (2.1)$$

*Примечание.* Знак перед  $R_c$  зависит от типа применяемого терморезистора 2. В случае применения термистора, сопротивление которого уменьшается с ростом температуры, ставится знак минус. Если используется проволочный терморезистор, сопротивление которого увеличивается с ростом температуры, ставится знак плюс.

Управляемым (выходным в системе автоматизации) параметром объекта является температура, которая в процессе работы зерносушилки постоянно изменяется и отличается от ее заданного значения. Таким образом, возникает отклонение между действительным значением температуры и ее заданным значением  $\Delta\theta = \theta_i - \theta_0$ . Пропорционально отклонению температуры  $\Delta\theta$  появляется сигнал в виде изменения электрического сопротивления терморезистора, который, претерпевая изменения, проходит через все функциональные элементы автоматического регулятора. Последним его функциональным элементом является заслонка, которая, изменяя соотношение между количеством горячего и холодного воздуха, вводит в объект определенное количество тепловой энергии, необходимой для стабилизации температуры в сушилке.

Проведенный анализ первого варианта работы системы автоматического регулирования позволяет установить с учетом ранее описанных определений обратных связей, что в такой системе автоматизации действует *главная обратная связь*.

Поскольку главная обратная связь действует от начала пуска зерносушилки до ее установившегося режима, т. е. в переходном режиме, и в установившемся режиме, то она является *жесткой*.

Чтобы установить, отрицательной или положительной является главная обратная связь в системе автоматизации, достаточно провести некоторый анализ установившегося режима работы зерносушилки, представленного участком  $t_2t_3$  графика 1 (рис. 2.4). Характерной особенностью является изменение температуры около ее заданного значения с некоторой амплитудой.

При отклонении температуры от заданной в любую сторону автоматический регулятор вырабатывает управляющее воздействие такого значения, которое нейтрализует это отклонение. Следовательно, изменение управляемого (выходного) параметра объекта передается обратно на вход так, что автоматический регулятор нейтрализует возникающие отклонения управляемого параметра от заданного значения. Значит, главная обратная связь является отрицательной.

Для устранения автоколебаний температуры достаточно использовать в системе автоматизации местную обратную связь (корректирующее устройство). Корректирующие устройства обычно служат для улучшения основного процесса работы системы автоматизации, повышения его устойчивости и точности, уменьшения ошибок и запаздывания. В данной системе автоматизации обратная связь вводится путем соединения ротора двигателя через его передаточный механизм с ползунок резистора 5. Ползунок резистора  $R_{oc}$  переменного сопротивления соединяется механической связью, например, с выходным органом передаточного механизма электродвигателя и перемещается синхронно вращению ротора электродвигателя. Это соответствует передаче выходного сигнала ротора двигателя (передаточного механизма) обратно на измерительный мост, т. е. на вход одного из функциональных элементов автоматического регулятора.

После использования корректирующего устройства система автоматизации работает следующим образом. Пусть в момент пуска зерносушилки температура на ее входе соответствует значению  $\theta_1$ . Следовательно, мост разбалансирован, возникает электрический сигнал определенной полярности в диагонали  $ab$  измерительного моста и ротор двигателя поворачивается в направлении увеличения притока горячего воздуха. Одновременно перемещается ползунок резистора 5 и изменяется его сопротивление. Изменение равновесия измерительного моста выражается зависимостью

$$R(R_{oc} \pm \Delta R_{oc}) = R_s(R_0 \pm \Delta R_0). \quad (2.2)$$

*Примечание.* Знак перед  $\Delta R_{oc}$  зависит от типа применяемого терморезистора, а также от конструкции корректирующего устройства.

Равновесие измерительного моста наступает раньше, чем при отсутствии местной обратной связи. Следовательно, быстрее протекает переходный процесс в зерносушилке и быстрее устанавливается заданный тепловой режим сушки материала. Ротор электродвигателя останавливается раньше достижения заданного значения температуры. Переходный процесс прекращается в тот момент, когда разность температур  $\theta_i - \theta_0$  ( $\theta_i$  – текущее значение температуры) станет меньше зоны нечувствительности автоматического регулятора. График изменения температуры во времени (рис. 2.4) соответствует кривой 2.

Введение в систему автоматизации корректирующего устройства возвращает некоторую часть выходного сигнала передаточного механизма электродвигателя на ползунок резистора  $R_{oc}$  измерительного моста. Сигнал возврата действует внутри автоматического регулятора. Поэтому введенная обратная связь является местной.

Сравнивая оба варианта работы зерносушилки путем сопоставления двух графиков на рис. 2.4, видим, что местная обратная связь действительно улучшает качество процесса сушки. Так, в первом варианте, т. е. без местной обратной связи, при значительном амплитудном отклонении температуры от заданного значения возникает значительное увеличение температуры в течение некоторого времени. В связи с этим возможен перегрев зерна. В другом варианте температура меньше заданной и возможно недосушивание зерна.

Совершенно по-иному протекает процесс сушки после введения местной обратной связи. Температура теплоносителя поддерживается постоянной с небольшим отклонением от заданного значения. Зерно равномерно высушивается и исключается возможность его перегрева.

Чтобы установить, отрицательной или положительной является местная обратная связь в автоматическом регуляторе, необходимо провести анализ работы зерносушилки после введения корректирующего устройства. Например, в качестве терморезистора используется полупроводниковый термистор, сопротивление которого с ростом температуры изменяется согласно графику на рис. 2.5. Тогда в уравнении (2.2) приращение сопротивле-

ния терморезистора  $\Delta R_0$  имеет знак минус и уменьшается по мере приближения к заданному значению. Приращение  $\Delta R_0$  становится почти равным нулю в тот момент, когда текущее значение температуры почти достигает заданного, так как всегда существует  $\Delta\theta$ , обозначенная на рис. 2.4, порождаемая нечувствительностью регулятора. Значения правой и левой частей математической зависимости (2.2) стабилизируются и становятся постоянными на некоторое время.

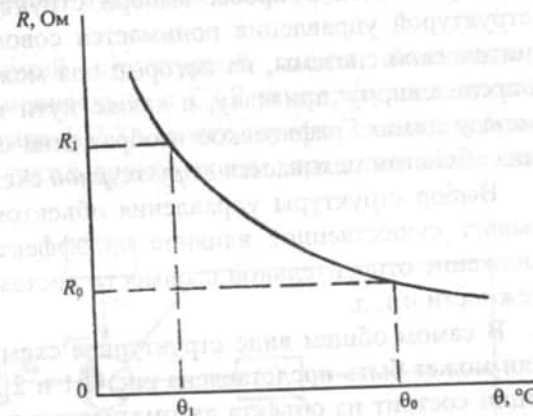


Рис. 2.5. Зависимость сопротивления термистора от температуры

Одновременно с изменением отклонения  $\Delta\theta$  автоматический регулятор вырабатывает адекватное этому отклонению управляющее воздействие  $u(t)$ , которое обеспечивает, действуя на заборник, подачу необходимого количества тепловой энергии в зерносушилку и стабилизацию нарушенного равновесного состояния. Сигнал, адекватный  $\Delta\theta$ , проходит по каналу главной обратной связи, а часть его возвращается в измерительный мост, который достаточно быстро уравнивается. Это стабилизирует режим работы зерносушилки путем нейтрализации отклонения температуры от ее заданного значения.

Из проведенного анализа работы системы автоматизации с корректирующим устройством следует, что местная обратная связь отрицательная. Наряду с этим местная обратная связь является жесткой, так как действует в неустановившемся и в установившемся режимах работы зерносушилки.

## 2.4. Схемы систем автоматизации

Проектирование систем автоматизации выполняется в зависимости от сложности объектов в одну или две стадии. В обоих случаях наряду с другими материалами в состав проекта входят структурные, функциональные, принципиальные схемы, монтажные чертежи, схемы соединений и подключений.

При разработке проекта автоматизации [13] в первую очередь решаются вопросы выбора структуры управления. Под структурой управления понимается совокупность частей автоматической системы, на которые она может быть разделена по определенному признаку, а также пути передачи воздействий между ними. Графическое изображение структурного управления объектом называется *структурной схемой*.

Выбор структуры управления объектом автоматизации оказывает существенное влияние на эффективность его работы, снижение относительной стоимости системы управления, ее надежности и т. д.

В самом общем виде структурная схема систем автоматизации может быть представлена рис. 2.1 и 2.2. Система автоматизации состоит из объекта автоматизации и системы управления объектом. В одной системе автоматизации (рис. 2.1) системой управления является автоматический регулятор, в другой (рис. 2.2) – два автоматических регулятора. Благодаря определенному взаимодействию между объектом и системой управления в каждом случае система автоматизации обеспечивает требуемый результат функционирования каждого объекта, характеризующийся управляемыми параметрами  $x(t)$ . Структурная схема в общем виде может быть конструктивно детализирована, т. е. раскрыта с точки зрения наличия в конструкции автоматического регулятора элементов функциональной структуры, и изображаться в развернутом виде.

Построение развернутой структурной схемы автоматизации сводится к выделению из автоматического регулятора элементов по соответствующим функциональным признакам, определению физической природы их входных и выходных параметров, условному графическому обозначению элементов с указанием направления передачи сигнала от одного элемента к другому.

Один из элементов функциональной структуры автоматического регулятора, называемый сравнивающим, изображается в виде окружности с секторами внутри, а все остальные элементы – прямоугольниками. Существующие связи между элементами функциональной структуры обозначаются линиями со стрелками, которые соответствуют направлению прохождения сигнала. Внутреннее содержание каждого элемента не конкретизируется. Однако каждый элемент обозначается буквенным кодом, в котором используются первые буквы названия функционального элемента.

Примером развернутой структурной схемы автоматизации, построенной применительно к САР температуры в шахтной зерносушилке (параграф 2.3), может служить схема, изображенная на рис. 2.6, а также другие схемы, представленные на рис. 8.1–8.10, 14.4.

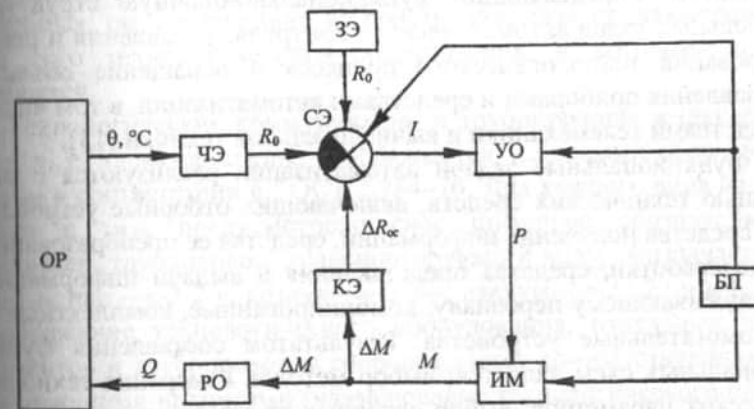


Рис. 2.6. Структурная схема САР температуры в шахтной зерносушилке в развернутом виде; ОР – объект регулирования (шахтная зерносушилка); ЧЭ – чувствительный элемент (терморезистор); СЭ – сравнивающий элемент (измерительный мост); ЗЭ – задающий элемент (резистор переменного сопротивления  $R_0$ ); УО – усилительный орган (усилитель мощности); ИМ – исполнительный механизм (электродвигатель с передаточным устройством и цепью управления); РО – регулирующий орган (заслонка); КЭ – корректирующий элемент, обеспечивающий перемещение ползунка резистора  $R_{ac}$  (местная обратная связь)

Развернутая структурная схема наглядно отображает обратные связи в указанной системе автоматизации. Началом главной

обратной связи является сигнал, пропорциональный температуре теплоносителя в зерносушилке  $\theta$  (рис. 2.6). Далее сигнал проходит через все элементы автоматического регулятора и возвращается в объект регулирования в виде управляющего воздействия  $u(t)$ , вырабатываемого автоматическим регулятором. Управляющее воздействие определяет положение заслонки и соответственно количество теплоты  $Q$ , поступающей в зерносушилку.

Местная обратная связь действует внутри автоматического регулятора, охватывая несколько элементов его функциональной структуры. Началом обратной связи является выходной сигнал  $I$  сравнивающего элемента. Этот сигнал проходит через соответствующие элементы и возвращается в сравнивающий элемент в виде изменения сопротивления  $\Delta R_{oc}$ .

Функциональные схемы являются основным техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации, в том числе средствами телемеханики и вычислительной техники [13].

Функциональные задачи автоматизации реализуются с помощью технических средств, включающих отборные устройства, средства получения информации, средства ее преобразования и переработки, средства представления и выдачи информации обслуживающему персоналу, комбинированные, комплектные и вспомогательные устройства. Результатом составления функциональных схем является: выбор методов измерения технологических параметров; выбор основных технических средств автоматизации, наиболее полно отвечающих предъявляемым требованиям и условиям работы автоматизируемого объекта; определение приводов исполнительных механизмов регулирующих и запорных органов технологического оборудования, управляемого автоматически и дистанционно; размещение средств автоматизации на щитах, пультах, технологическом оборудовании и трубопроводах и т. п. и определение способов представления информации о состоянии технологического процесса и оборудования.

На функциональных схемах технологическое оборудование и коммуникации объекта автоматизации изображаются упрощен-

но, без указания отдельных технологических аппаратов и трубопроводов вспомогательного назначения.

Схема технологического процесса объекта автоматизации дает ясное представление о принципе его работы и взаимодействии со средствами автоматизации.

На технологических трубопроводах показывается регулирующая и запорная арматура, которая непосредственно участвует в контроле и управлении процессом, а также запорные и регулирующие органы, необходимые для определения относительного расположения мест отбора импульсов или поясняющие необходимость измерений. Технологические аппараты и трубопроводы вспомогательного назначения показываются только в случае, когда они механически соединяются или взаимодействуют со средствами автоматизации. Около измерительных преобразователей (датчиков), отборных, приемных и других подобных по назначению устройств указывается наименование того технологического оборудования, к которому они относятся.

Технологические коммуникации и трубопроводы жидкости, газа, т. е. характер среды, изображаются условными обозначениями в соответствии с ГОСТ 2.784-70. Для каждого вида жидкости и газа предусмотрено свое цифровое обозначение. Например, трубопровод, транспортирующий воду, обозначается «1-1», пар — «2-2», воздух — «3-3», вакуум — «27-27» и т. д. Изображение технологического оборудования, отдельных его элементов и трубопроводов сопровождается соответствующими поясняющими надписями (наименование технологического оборудования, его номер и др.), а также указываются стрелками направления потоков вещества или энергии. На трубопроводах с установленными отборными устройствами и регулируемыми органами указываются диаметры условных проходов.

Приборы, средства автоматизации, электрические устройства и элементы вычислительной техники показываются на функциональных схемах автоматизации в виде условных обозначений согласно ГОСТ 21.404-85 и отраслевых нормативных документов. Этот ГОСТ предусматривает систему построения графических и буквенных условных обозначений технических средств автоматизации по функциональным признакам.

Первичные измерительные преобразователи обозначаются в виде окружности, в верхней части которой наносятся обозначения измерительного параметра и функциональные признаки прибора. В нижней части окружности наносится цифровое или буквенно-цифровое позиционное обозначение, служащее для нумерации комплекта измерения или регулирования.

Функциональные связи между технологическим оборудованием и установленными на нем первичными преобразователями, а также со средствами автоматизации, установленными на щитах и пультах, на схемах показываются тонкими сплошными линиями. Каждая связь обозначается одной линией независимо от фактического числа проводов или труб, осуществляющих ее. К условным обозначениям приборов и средств автоматизации для входных и выходных сигналов линии связи допускается проводить с любой стороны, в том числе сбоку и под углом. Линии связи наносятся по кратчайшему расстоянию и с минимальным числом пересечений.

Допускается пересечение линиями связи изображений технологического оборудования и коммуникаций. Пересечение линиями связи условных обозначений приборов и средств автоматизации не допускается.

Функциональная схема — это чертеж, на котором схематически, условными изображениями показываются технологическое оборудование, коммуникации, органы управления и средства автоматизации с указанием связей между ними и между отдельными функциональными блоками и элементами автоматики.

Функциональная схема определяет структуру и характер системы автоматизации, а также оснащение ее приборами и техническими средствами управления объектом. Она представляет собой совмещенную схему устройств объекта и функциональных элементов управляющего устройства (автоматического регулятора), изображенных условными обозначениями и линиями связи между ними.

Объект управления на такой схеме изображается схематически в виде основного и вспомогательного технологического оборудования вместе со встроенными в него запорными и регулирующими органами на пути прохождения энергии, сырья и других материалов. Технологическое оборудование изображается

таким образом, чтобы можно было получить ясное представление о принципе его работы и взаимодействии со средствами автоматизации.

На функциональных схемах не показываются вспомогательные устройства, которыми могут быть редукторы и фильтры для воздуха, источники питания, реле, автоматы, выключатели и предохранители в цепях питания, соединительные коробки и другие устройства и монтажные элементы.

Сложные технологические схемы объектов расчленяются на отдельные технологические узлы, и для каждого узла выполняется функциональная схема. Для технологических процессов с большим объемом автоматизации функциональные схемы могут быть выполнены отдельно по видам технологического контроля и управления. Например, отдельно выполняются схемы автоматического управления, контроля, сигнализации и т. д.

Функциональные схемы автоматизации могут быть выполнены двумя способами: с условным изображением щитов и пультов управления в виде прямоугольников, в которых показываются устанавливаемые на них средства автоматизации; с изображением средств автоматизации на технологических схемах вблизи отборных и приемных устройств без построения прямоугольников, условно изображающих щиты, пульта, пункты контроля и управления.

При выполнении функциональных схем первым и вторым способами схемы могут изображаться развернуто, упрощенно или комбинированно.

На развернутых схемах изображаются отборные устройства, чувствительные элементы (датчики), преобразователи, вторичные приборы, исполнительные механизмы, регулирующие и запорные органы, аппаратура управления и сигнализации, комплектные устройства (машины централизованного контроля, телемеханические устройства) и т. д. При упрощенном изображении на схемах показываются отборные устройства, измерительные и регулирующие приборы, исполнительные механизмы и регулирующие органы. Для изображения промежуточных устройств (вторичных приборов, преобразователей, аппаратуры управления и сигнализации и т. п.) используются общие обозначения в соответствии с действующими стандартами на условные обозначения в схемах автоматизации.

Комбинированное изображение предполагает показ средств автоматизации в основном развернуто, однако некоторые узлы изображаются упрощенно.

Приборы и средства автоматизации, встраиваемые в технологическое оборудование и коммуникации объекта или механически связанные с ними, изображаются на чертеже в непосредственной близости от них. К таким средствам автоматизации относятся отборные устройства, чувствительные элементы (датчики), исполнительные механизмы, регулирующие и запорные органы.

Примером выполнения развернутой функциональной схемы по второму способу может служить схема системы автоматизации безбашенной насосной установки (рис. 2.7). Объект управления состоит из воздушно-водяного резервуара, на котором смонтированы регулятор давления, струйный регулятор и предохранительный клапан водяного насоса с асинхронным трехфазным электродвигателем; напорной и распределительной систем, выполненных в виде трубопроводов. Распределительная система имеет вентиль с ручным приводом и счетчик учета потребления воды.

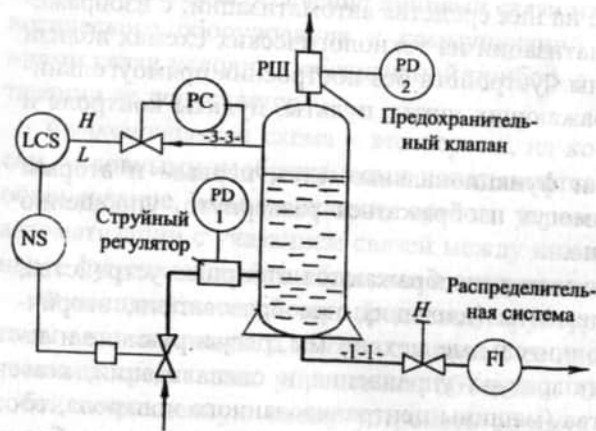


Рис. 2.7. Функциональная схема системы автоматизации водоподъемной установки: ИМ – исполнительный механизм (электродвигатель); РО – регулирующий орган (вентиль, задвижка); FI – прибор для измерения расхода воды, показывающий, установлен по месту (счетчик расхода воды);

PC – регулятор давления, работающий без использования постороннего источника энергии (регулятор давления прямого действия); LCS – бесшкальное регулирующее электроконтактное устройство, установленное в регуляторе давления; PD I – прибор для измерения перепада давления, установленный по месту (клапан подачи воздуха в резервуар); PШ – прибор для измерения перепада давления, установленный по месту (клапан критического давления), NS – пусковая аппаратура для управления ИМ (магнитный пускатель, кнопочные выключатели и др.)

Примерами такой схемы может служить функционально-технологическая схема пастеризационно-охладительной установки ОПФ-1-300 (рис. 10.1), а также функциональные схемы, представленные на рис. 13.3, 14.1, 14.3.

Принципиальные электрические схемы определяют полный состав приборов, аппаратов и устройств, действие которых обеспечивает решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации. Они служат основанием для разработки монтажных таблиц, щитов и пультов, схем внешних соединений и других документов проекта системы автоматизации. Эти схемы весьма широко используются для описания устройства и принципа действия систем автоматизации, а также при производстве наладочных работ и при их эксплуатации. Принципиальные схемы дают полное представление в связях между всеми элементами управления, блокировки, защиты и сигнализации автоматизируемых объектов.

Независимо от степени сложности принципиальная электрическая схема представляет собой определенным образом составленное сочетание элементарных электрических цепей и типовых функциональных узлов в заданной последовательности. Такая схема раскрывает последовательность выполняемых ее элементами различных операций: передачу командных сигналов от органа управления или измерения к исполнительным механизмам, усиление или размножение командных сигналов, их сравнение, превращение кратковременных сигналов в длительные и, наоборот, блокировку сигналов и т. п. Элементарными цепями являются, например, типовые схемы включения измерительных приборов различного назначения.

Каждая принципиальная электрическая схема характеризуется определенными свойствами. К ним относятся надежность, простота и экономичность, четкость действий при аварийных режимах, удобство оперативной работы и эксплуатации, четкость оформления.

Принципиальная схема должна обеспечивать высокую надежность. Под надежностью схемы понимают ее способность безотказно выполнять свои функции в течение определенного интервала времени в заданных режимах работы. Надежность действия является главным требованием, которое предъявляется

к схемам. Требования к уровню надежности схем управления, регулирования и сигнализации определяются оценкой последствий отказов их действия.

*Простота и экономичность* принципиальных схем обеспечивается применением стандартной, наиболее дешевой аппаратуры и типовых (нормативных) узлов, сокращением в схеме числа элементов и т. п.

*Четкость* действия схемы при аварийных режимах заключается в обеспечении безопасности обслуживающего персонала и предотвращении дальнейшего развития аварии в случае ее возникновения. При возникновении аварийных режимов схема должна исключать возможные повреждения механического или электрического оборудования и брак продукции. Принято рассматривать аварийный режим, возникающий в результате появления какой-либо одной неисправности, так как вероятность появления одновременно двух или более неисправностей в одной схеме достаточно мала.

*Удобство оперативной работы* выражается в обеспечении оптимальных условий для работы обслуживающего персонала. Это требование предусматривает упрощение операций при управлении, сокращение числа органов управления, возможность простого и быстрого выбора необходимого режима работы, переход с автоматического управления на ручное и обратно и т. д.

*Удобство эксплуатации* заключается в том, что схема должна быть предельно простой при ее эксплуатации в производственных условиях, требовать минимума затрат и внимания эксплуатационного персонала, обеспечивать возможность проведения ремонтных и наладочных работ с соблюдением необходимых мер безопасности.

*Четкость оформления* предполагает выполнение схем ясно, просто и компактно. Графическое оформление схемы должно способствовать наилучшему восприятию содержания и принципа действия системы автоматизации.

Принципиальные электрические схемы выполняются в соответствии с требованиями государственных стандартов по правилам выполнения, условным графическим обозначениям, маркировке цепей и буквенно-цифровым обозначениям элементов схем.

*Элемент* схемы – это ее составная часть, которая выполняет определенную функцию и не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное функциональное назначение (резистор, трансформатор, конденсатор и т. п.).

Схема выполняется без соблюдения масштаба. Действительное пространственное расположение составных частей системы автоматизации, как правило, не учитывается или, при необходимости, учитывается приближенно.

Если в состав принципиальной схемы входит устройство, имеющее самостоятельную принципиальную схему, то оно выделяется (ограничивается) сплошной линией, равной по толщине линиям связи между элементами.

*Устройство* – это совокупность элементов, представляющая собой единую конструкцию (блок, плата и т. п.). Устройство может не иметь в изделии (системе автоматизации) определенного функционального обозначения. Например, на рис. 11.1 указанным образом выделено устройство А1, которым является регулятор температуры ТЭЗПЗМ.

Схемы, как правило, выполняются для систем автоматизации различных объектов, находящихся в отключенном (нерабочем) состоянии. При необходимости допускается изображать отдельные элементы схем в каком-либо выбранном рабочем положении, оговаривая это на поле чертежа.

Элементы и устройства на принципиальных электрических схемах могут выполняться совмещенным или разнесенным способом.

При *совмещенном* способе элементы как составные части устройств, например катушки, контакты и т. п., изображаются на схеме в непосредственной близости друг к другу (как в собранном виде). Этот способ находит применение при изображении, например регулирующих устройств, устройств промышленного телевидения и др.

При *разнесенном* способе отдельные элементы схем, а также элементы различных устройств изображаются на схеме в разных местах таким образом, чтобы отдельные цепи были изображены наиболее наглядно. В этом случае схема состоит из ряда цепей, расположенных слева направо или сверху вниз в порядке последовательности действия отдельных элементов схемы (строчный способ).

Отдельные цепи располагаются в горизонтальную строчку так, чтобы они читались слева направо, а вся схема читалась сверху вниз аналогично чтению текстового материала. При выполнении схемы строчным способом допускается нумеровать строки арабскими цифрами. Схемы, выполненные разнесенным способом, изображены во втором разделе данного пособия. Принадлежность каждого элемента к соответствующему аппарату или устройству достигается введением специальной системы условных графических и системы буквенно-цифровых обозначений.

На принципиальных электрических схемах некоторые элементы показываются разнесенным, а другие, обычно более сложные устройства, — совмещенным способами.

Условные графические обозначения элементов схем устанавливаются группой стандартов «Обозначения условные графические в схемах». С помощью графических изображений могут выполняться принципиальные электрические схемы систем автоматизации практически любой сложности. Наиболее часто встречающимися условными графическими обозначениями являются «Устройства коммутационные и контактные соединения» по ГОСТ 2.755–87, а также «Воспринимающая часть электрических устройств» по ГОСТ 2.756–76. Размеры условных графических обозначений на схемах устанавливаются в стандартах ГОСТ 2.747–68, ГОСТ 2.755–74, ГОСТ 2.756–76.

Графические обозначения должны выполняться линиями той же толщины, что и линии связи, толщина которых находится в пределах 0,2...1 мм в зависимости от форматов схемы. При форматах схемы А1 и меньше рекомендуется толщина линий связи от 0,3 до 0,4 мм. Если на одной схеме показываются цепи различного функционального назначения (например, силовые цепи, цепи управления и т. д.), то допускается их изображать линиями различной толщины. На одной схеме рекомендуется применять не более трех размеров линий по толщине.

Каждый элемент схемы, устройство или функциональная группа элементов должны иметь условное обозначение в соответствии с требованиями ГОСТ 2.710–81.

*Функциональная группа* — это совокупность элементов, выполняющих в изделии определенную функцию и не объединенных в единую конструкцию.

Функциональная группа представляет собой совокупность элементов, характерной особенностью для которой является идентичность конструктивного исполнения и принципа действия каждого элемента, входящего в группу. Так, функциональную группу могут образовать используемые в изделии (системе автоматизации), например, электромагнитные реле, магнитные пускатели и контакторы, автоматические выключатели, полупроводниковые приборы и другие элементы.

Указанный стандарт определяет систему условных буквенно-цифровых обозначений, что позволяет производить в сокращенной форме запись сведений об элементах, устройствах, функциональных группах, показанных на схеме в графической форме.

ГОСТ 2.710–81 предусматривает следующие типы условных обозначений: высшего уровня, функциональной группы, конструктивного расположения, позиционное, электрического контакта, адресное, составное. В указанном стандарте дается определение каждого термина.

В принципиальных электрических схемах автоматизации из перечисленных типов условных обозначений наиболее широко применяются обозначения функциональной группы, позиционное и электрического контакта.

*Обозначение функциональной группы* — условное обозначение, присвоенное функциональной группе, передающее информацию о функциональном назначении функциональной группы.

*Позиционное обозначение* — это условное обозначение, присвоенное каждому элементу и устройству, входящему в состав изделия (системы автоматизации), и содержащее информацию о виде элементов (устройств), его порядковый номер среди элементов (устройств) данного вида и при необходимости указание о функции, выполняемой данным элементом (устройством) в изделии.

*Обозначение электрического контакта* — это условное обозначение, присвоенное электрическому контакту (выводу) элемента или устройства, предназначенному для осуществления электрических соединений или контроля.

Обозначение функциональной группы образуется из букв, в сокращенной форме указывающих функциональное назначение

(функцию) группы, и порядкового номера. Обозначение функциональной группы указывается у ее изображения сверху или справа. Одинаковым функциональным группам, т. е. группам, имеющим тождественные принципиальные схемы, следует присваивать одно и то же условное обозначение. Допускается в условные обозначения одинаковых функциональных групп включать порядковые номера, отделяя их от основного обозначения.

Позиционные обозначения присваиваются всем элементам и устройствам, изображенным на принципиальной электрической схеме. В общем случае позиционное обозначение может состоять из трех частей, имеющих самостоятельное смысловое значение и записываемых без разделительных знаков и пробелов между первой и второй частями. В первой части позиционного обозначения указывается вид элемента или устройства. Оно содержит одну или, чаще всего, две буквы латинского алфавита в соответствии с буквенным кодом видов элементов по ГОСТ 2.710–81.

Во второй части позиционного обозначения указывается порядковый номер элемента (устройства) в пределах элементов (устройств) данного вида. Например, в обозначении магнитного пускателя КМ1 первая часть представляет собой буквы латинского алфавита (код), а цифра – порядковый номер этого магнитного пускателя в схеме. Элементам (устройствам) присваиваются порядковые номера, начиная с единицы, в пределах функциональной группы элементов (устройств), которым на схеме присвоено одинаковое буквенное позиционное обозначение. Кроме того, порядковые номера присваиваются элементам (устройствам) в соответствии с их последовательным расположением на схеме сверху вниз в направлении слева направо. При необходимости допускается применять последовательность присвоения порядковых номеров в зависимости от размещения элементов в изделии, направления прохождения сигналов или функциональной последовательности процесса.

В третьей части позиционного обозначения допускается указывать функциональное назначение данного элемента или устройства, используемого в схеме. Для этого применяются буквенные коды функций элементов (коды функционального назначения) в соответствии с ГОСТ 2.710–81. В таком виде третья

часть обозначения в принципиальных электрических схемах автоматизации применяется редко.

Третья часть функционального элемента (узла), представляющая собой в основном конструктивную группу, чаще всего обозначается в виде буквенного кода с порядковым номером. Такое обозначение значительно упрощает поиск составных частей каждого элемента (узла) на сложных схемах, а также сокращает время на изучение устройства и принципа действия сложных систем автоматизации и на анализ возникающих отказов в процессе их эксплуатации.

Позиционные обозначения проставляются на схеме рядом с условными графическими обозначениями элементов (устройств), с правой стороны или над ними.

Обозначение *электрического контакта* сводится к тому, что у всех выводов элементов и устройств, изображенных на схемах, должны указываться их условные обозначения (коды). При нанесенном способе изображения одинаковых элементов (устройств) обозначение выводов указывается на каждой составной части элемента (устройства). Электрический контакт сохраняет буквенный код устройства, к которому он относится. При использовании в принципиальной схеме нескольких однотипных устройств их контакты сохраняют также и порядковый номер соответствующего устройства.

*Схемы соединений и подключений* внешних проводок выполняются на основании схем автоматизации, принципиальных электрических, пневматических и гидравлических схем и другой документации.

Схема *соединений* внешних проводок – это комбинированная схема, на которой показаны электрические и трубные связи между приборами и средствами автоматизации, установленными на технологическом оборудовании, вне щитов и на щитах, а также подключения проводок к приборам и щитам. Схеме присваивается наименование «Схема соединений внешних проводок».

Схема *подключений* внешних проводок выполняется отдельным документом только при наличии единичных многосекционных или составных щитов, большого числа соединительных коробок, групповых стоек приборов, когда подключения к ним за-

трудняют чтение схемы соединений. Схема подключений может не выполняться, если все подключения показаны на схеме соединений внешних проводок. Схеме присваивают наименование «Схема подключения внешних проводок».

Типовые монтажные чертежи являются нормативно-техническими документами, определяющими в зависимости от назначения типы и основные параметры (размеры) узла или изделия, сортамент применяемых материалов, конструкцию узлов и деталей, способ установки средств автоматизации и монтажных изделий, общие технические требования и т. п.

Внедрение типовых чертежей создало предпосылки для индустриализации монтажных работ. По типовым чертежам изготавливается большая номенклатура различных узлов и изделий, которые используются при монтаже систем автоматизации.

По назначению типовые чертежи подразделяются на типовые монтажные (ТМ), типовых конструкций (ТК) и закладных конструкций (ЗК).

Типовые чертежи в состав проекта автоматизации не входят. К проекту прилагается только перечень нормалей, в который включаются все используемые в проекте монтажные чертежи и чертежи типовых конструкций. Чертежи закладных конструкций в перечень нормалей не включаются, так как они являются промежуточными.

## 2.5. Принципы управления

При разработке и проектировании систем автоматизации применяются следующие принципы управления: разомкнутого управления (регулирования), управления по возмущению, управления по отклонению (ошибке) и комбинированный принцип управления.

Сущность принципа разомкнутого управления заключается в том, что алгоритмы управления, разрабатываемые и используемые в системах автоматизации при их конструировании, не влияют на управляемые параметры объектов и не изменяют их значения. Основной характерной особенностью систем автоматизации с таким принципом управления является отсутствие главной обратной связи.

В одних системах автоматизации используются программы, разработанные с учетом зоотехнических и биологических требований в функции времени (временные программы) или в функции другого параметра, например в функции пройденного пути (параметрические программы). В таких системах автоматизации, независимо от значений управляемых (контролируемых) параметров объекта и действия на него возмущений, автоматический регулятор вырабатывает управляющее воздействие, под влиянием которого изменяется состояние объекта. Система автоматизации жестко вырабатывает командные сигналы согласно заданной программе. В качестве примера можно привести системы автоматизации, используемые при приготовлении и раздаче кормов на фермах, удалении навоза и в некоторых других случаях.

Общий вид структурной схемы такой системы автоматического управления представлен на рис. 2.8.

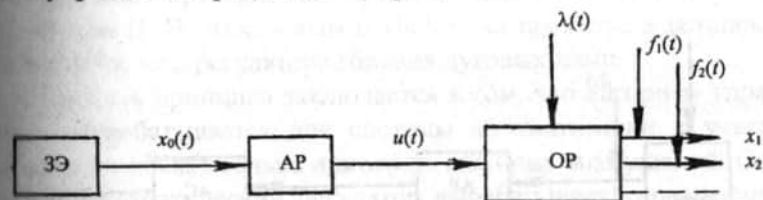


Рис. 2.8. Структурная схема системы автоматизации с разомкнутым принципом управления

В такой системе автоматизации управляющее воздействие  $u(t)$ , эквивалентное алгоритму управления, вырабатывается только на основе программы, заложенной в автоматическом регуляторе. При этом управляемые параметры объекта  $x_1, x_2, \dots$  не изменяются и их значения не влияют на управляющее воздействие. В задающий элемент вводится программа работы объекта, разработанная в функции конкретного физического параметра, и система автоматизации ее жестко обрабатывает только с учетом изменения параметра программы, а не изменения значений управляемых параметров  $x(t)$ .

*Примечание.* Объектом управления может быть машина в целом или ее отдельные узлы. Тогда каждый узел, на работу которого влияет вырабатываемое управляющее воздействие в виде

сигнала определенной физической природы, можно считать отдельным объектом управления. При построении развернутой структурной схемы для такой системы автоматизации нужно это обстоятельство учитывать и представлять схему в виде непрерывного функционального контура в направлении прохождения сигнала от начала его появления. Правильность построения структурной схемы необходимо контролировать по сигналу, проходящему в системе автоматизации.

В других системах автоматизации контролируемые параметры объектов измеряются соответствующими устройствами, и с учетом их значений вырабатываются управляющие воздействия. Но сигнал управляющих воздействий не возвращается в объект и не влияет на значения контролируемых параметров. Структурная схема такой системы автоматизации имеет следующий вид (рис. 2.9).

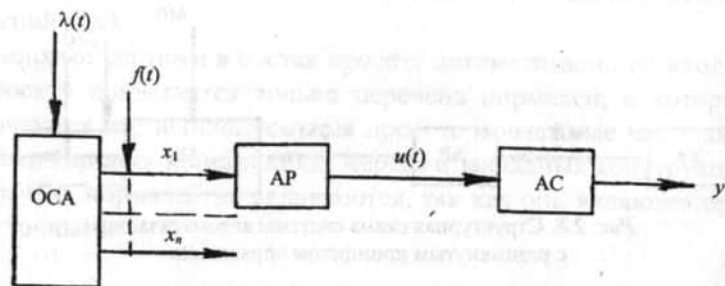


Рис. 2.9. Структурная схема системы автоматизации с разомкнутым принципом управления: ОСА – объект системы автоматизации; АР – автоматический регулятор; АС – автоматическая сигнализация

Принципы разомкнутого управления широко применяются в системах автоматического контроля. В одном объекте может быть несколько узлов, рабочие органы которых контролируются техническими средствами автоматизации. Каждый рабочий орган может иметь контролируемый параметр, оптимальное (номинальное) значение которого задается соответствующими устройствами. При отклонении контролируемого параметра от его номинального значения возникают сигнал рассогласования и пропорциональный ему сигнал в виде управляющего воздейст-

вия. Если отклонение не превышает допустимого, то автоматический регулятор может выдавать на световое табло индикатора информацию «Нормально». В случае значительного отклонения, когда контролируемый параметр достигает аварийного значения, функциональные элементы автоматического регулятора вырабатывают управляющее воздействие, сигнал которого действует на устройство автоматической сигнализации. В этом случае обслуживающий персонал оповещается о внештатной ситуации световой или звуковой сигнализацией, а иногда световой и звуковой сигнализацией одновременно. Примером системы автоматизации, в которой используется принцип разомкнутого управления, может служить система автоматического контроля рабочих органов зерноуборочного комбайна серии «Дон», а также потерь комбайнами зерна.

Принцип управления по возмущению иногда называют принципом Понселе – Чиколева (по именам французского и русского ученых). Этот принцип был предложен Ж. Понселе в 1830 г. и реализован В. Н. Чиколевым в 1869 г. на практике в установке автоматического регулятора горения дуговых ламп.

Сущность принципа заключается в том, что алгоритм управления разрабатывается для системы автоматизации с учетом влияния на объект только одного из внешних возмущений. Созданный автоматический регулятор вырабатывает управляющее воздействие только с учетом значения возмущения, влияющего на объект, и это управляющее воздействие должно компенсировать действие изменяющегося возмущения таким образом, чтобы стабилизировать работу объекта. Управляемые параметры объекта  $x_i$  не изменяются и их значения не оказывают никакого влияния на появление управляющего воздействия. Схема автоматизации, в основе работы которой используется принцип управления по возмущению, имеет следующий вид (рис. 2.10).

На объект системы автоматизации, как правило, оказывает влияние несколько внешних возмущений. Корректирующее устройство измеряет одно из наиболее значимых по своему влиянию возмущение и преобразует его в удобный для автоматического регулятора выходной сигнал  $u$ . Далее этот сигнал, проходя через последующие функциональные элементы автоматического регулятора, претерпевает физические изменения и порождает,

В конечном итоге, управляющее воздействие  $u(t)$ . Управляющее воздействие действует так, что объект приводится в заданное равновесное состояние, т. е. стабилизируется заданное значение параметра объекта, вызванное изменением контролируемого возмущения.

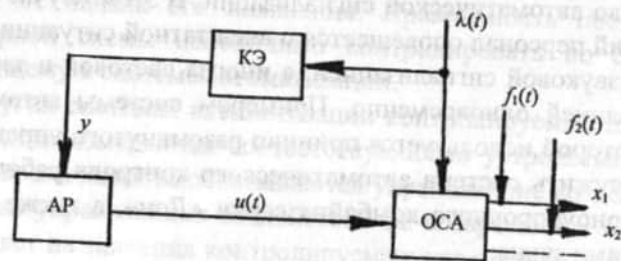


Рис. 2.10. Структурная схема системы автоматизации с принципом управления по возмущению

В качестве примера рассматривается САР давления воздуха в герметическом резервуаре, в которой реализован принцип управления по возмущению (рис. 2.11, а).

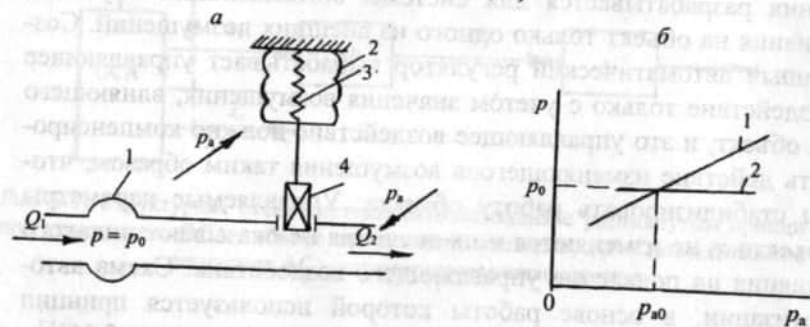


Рис. 2.11. а – схема САР давления воздуха в резервуаре: 1 – резервуар; 2 – сильфон; 3 – пружина; 4 – заслонка; б – зависимость давления воздуха в резервуаре от атмосферного давления: 1 – график без автоматического регулирования; 2 – график с автоматическим регулятором

Автоматический регулятор (АР) состоит из сильфона, пружины и заслонки. Объектом регулирования является резервуар. Сильфон представляет собой герметичный баллон с тонкими гофрированными стенками. Воздух из сильфона удаляется.

Пружина увеличивает упругость сильфона, днище которого соединяется с заслонкой. Деформация сильфона в осевом направлении пропорциональна атмосферному давлению. В автоматическом регуляторе отсутствуют *усилительный и исполнительный элементы*. Основным возмущением является атмосферное давление.

Возможны два режима работы объекта. Первый режим соответствует работе объекта без автоматического регулятора. С увеличением атмосферного давления уменьшается расход воздуха  $Q_2$  и повышается давление в резервуаре. Если атмосферное давление уменьшается, то расход воздуха из резервуара увеличивается, а давление в нем снижается. Давление воздуха в резервуаре изменяется по графической зависимости 1 (рис. 2.11, б).

Второй режим соответствует работе резервуара с автоматическим регулятором. На систему автоматизации, т. е. на объект и автоматический регулятор, действует только одно внешнее возмущение – атмосферное давление. В резервуаре должно поддерживаться давление воздуха, соответствующее значению  $p_0$ . Заданное давление воздуха в резервуаре может поддерживаться без автоматического регулятора только при некотором значении атмосферного давления  $p_{a0}$ , естественно, при некоторой неизменной подаче воздуха  $Q_1$  в резервуар. Изменение атмосферного давления в ту или иную сторону от  $p_{a0}$  приводит к изменению давления внутри резервуара. Тогда заданное давление в резервуаре может поддерживаться только при помощи автоматического регулятора.

При атмосферном давлении, превышающем  $p_{a0}$ , сильфон сжимается и перемещает заслонку вверх. Расход воздуха  $Q_2$  возрастает, и давление воздуха в резервуаре сохраняется на уровне  $p_0$ . Если атмосферное давление ниже  $p_{a0}$ , то сильфон разжимается и заслонка перемещается вниз. Тогда снижается расход воздуха  $Q_2$ , так как уменьшается сечение трубопровода для выхода воздуха из резервуара, и давление в резервуаре поддерживается на заданном уровне. Таким образом, при атмосферном давлении, отличающемся от  $p_{a0}$ , в резервуаре давление воздуха не изменяется и соответствует графику 2 на рис. 2.11, б.

Однако, если на систему автоматизации наряду с атмосферным давлением будут действовать другие возмущения, то автоматический регулятор не сможет обеспечить стабильного давления в резервуаре. В этом заключается основной недостаток управления по возмущению.

Системы автоматизации с принципом управления по возмущению принято считать [23] разомкнутыми, так как в них автоматический регулятор (управляющее устройство) не получает текущей информации о состоянии объекта управления по выходным параметрам  $x(t)$ .

Принцип управления по отклонению был впервые разработан и осуществлен на практике русским механиком И. И. Ползуновым в 1765 г. (автоматический регулятор уровня воды в котле) и английским механиком Дж. Уаттом в 1784 г. (центробежный регулятор частоты вращения вала паровой машины).

Сущность принципа заключается в том, что управляющее воздействие формируется автоматическим регулятором только при отклонении управляемого параметра от заданного значения, независимо от действия возмущений.

Схема системы автоматизации, в которой используется принцип управления по возмущению, изображена в общем виде на рис. 2.12.



Рис. 2.12. Структурная схема системы автоматизации с принципом управления по отклонению

Основная задача системы автоматизации заключается в поддержании равенства между текущим значением управляемого параметра объекта и его заданным значением, т. е. в идеальном

варианте в системе автоматизации отклонение  $\varepsilon(t)$  должно равняться нулю. Однако при работе системы автоматизации в реальных условиях, как правило, возникает отклонение регулируемого параметра от его заданного значения в виде равенства  $\varepsilon(t) = y_0(t) - x(t)$ , не равного нулю. Пропорционально отклонению автоматический регулятор вырабатывает управляющее воздействие, сигнал которого действует на объект так, что управляемый параметр достигает заданного значения.

Примером системы автоматизации, в которой использован принцип управления по отклонению, может служить САР давления воздуха в резервуаре (рис. 2.13).

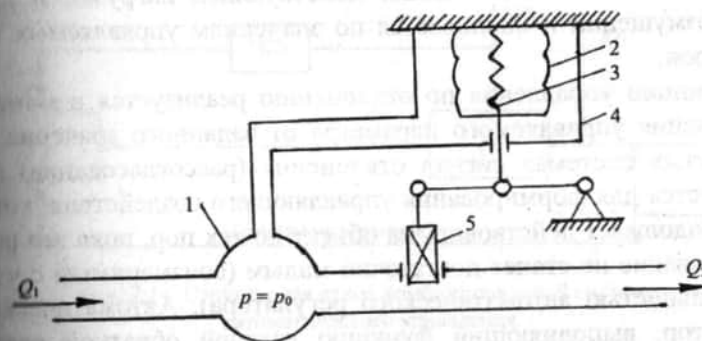


Рис. 2.13. Схема САР давления воздуха в резервуаре: 1 – резервуар; 2 – сильфон; 3 – пружина, 4 – камера; 5 – заслонка

Сильфон, являющийся чувствительным элементом, помещен в герметичную камеру 4, соединенную с резервуаром. Этим обеспечивается равенство давления в резервуаре и камере с сильфоном. В свою очередь, сильфон кинематически соединен с заслонкой, от положения которой зависит давление в резервуаре при подаче в него воздуха. При установившемся режиме, когда подача  $Q_1$  и расход  $Q_2$  воздуха равны между собой, давление в резервуаре соответствует заданному значению  $p_0$  и заслонка занимает вполне определенное положение.

Усилие, созданное давлением воздуха и действующее на сильфон, уравновешивается пружиной. При увеличении давления в резервуаре повышается давление в камере 4.

Сильфон сжимается и передвигает заслонку вверх, увеличивая расход воздуха из резервуара. Давление воздуха в резервуаре снижается до заданного значения. В случае уменьшения давления в резервуаре заслонка опускается вниз и давление повышается до заданного значения. В этой системе автоматизации чувствительный элемент реагирует только на отклонение давления в резервуаре от заданного значения, независимо от действия на объект возмущений.

В системах автоматизации по отклонению, являющихся замкнутыми, управляющие воздействия формируются на основе использования информации о состоянии объекта. Состояние объекта зависит от постоянно действующей нагрузки и других возмущений и оценивается по значениям управляемых параметров.

Принцип управления по отклонению реализуется в момент отклонения управляемого параметра от заданного значения. В замкнутых системах сигнал отклонения (рассогласования) используется для формирования управляющего воздействия, которое продолжает действовать на объект до тех пор, пока это рассогласование не станет достаточно малым (соизмеримым с чувствительностью автоматического регулятора). Автоматический регулятор, выполняющий функцию главной обратной связи, обеспечивает измерение контролируемого параметра и использует недостающую текущую информацию о состоянии объекта для стабилизации его рабочего процесса. Следовательно, автоматический регулятор является средством управления при неполной информации, что придает системе автоматизации свойство адаптивности (приспособляемости) [23] к изменениям внутренних и внешних условий ее работы.

Достоинствами принципа управления по отклонению являются высокая точность управления и успешное достижение цели управления при действии многочисленных возмущающих факторов. Однако быстроедействие замкнутых систем сравнительно низкое, поскольку они реагируют не на причину, а лишь на следствие, которым является отклонение управляемого параметра от заданного значения. Поэтому они действуют с некоторым запаздыванием и определенным допустимым отклонением управляемого (регулируемого) параметра. Запаздывание связано

с протекающими внутри объекта процессами и изменением его состояния, что зависит от его свойств (параграф 1.2). Недостатком является также то, что замкнутые системы с неприспособляющимся автоматическим регулятором (управляющим устройством) сохраняют устойчивость лишь в некоторых сравнительно небольших пределах непредвиденного изменения динамических свойств каналов регулирования объекта.

К наиболее совершенным относятся комбинированные системы автоматизации (рис. 2.14), в которых используются принципы управления по возмущению и по отклонению. Это позволяет использовать достоинства обоих принципов управления.



Рис. 2.14. Структурная схема комбинированной системы автоматического управления

## 2.6. Типовые алгоритмы управления и регуляторы

Математическая модель автоматического регулятора определяет алгоритм управления, т. е. закон преобразования сигнала рассогласования  $\varepsilon(t)$  в управляющее воздействие  $u(t)$ .

Основными типами алгоритмов управления являются пропорциональный, интегральный, пропорционально-интегральный, пропорционально-интегрально-дифференциальный и релейный законы. Они обеспечивают надлежащую близость к оптимальному алгоритму управления, достаточно просты для реализации и широко используются в системах автоматизации при их разработке и проектировании.

В режимах автоматизации применяются регуляторы непрерывного действия, в которых реализуются следующие алгоритмы управления.

Пропорциональный алгоритм (сокращенно П-алгоритм) характеризуется пропорциональной зависимостью между управляющим воздействием и отклонением управляемого параметра объекта от заданного значения.

$$u(t) = k_p \varepsilon(t), \quad (2.3)$$

где  $k_p$  – коэффициент передачи (усиления) регулятора.

Автоматический регулятор, в котором реализуется П-алгоритм, изменяет управляемый параметр объекта согласно графику 2 (рис. 2.15). Согласно графику 1 изменяется параметр объекта  $x(t)$  без регулирования по какому-либо алгоритму.

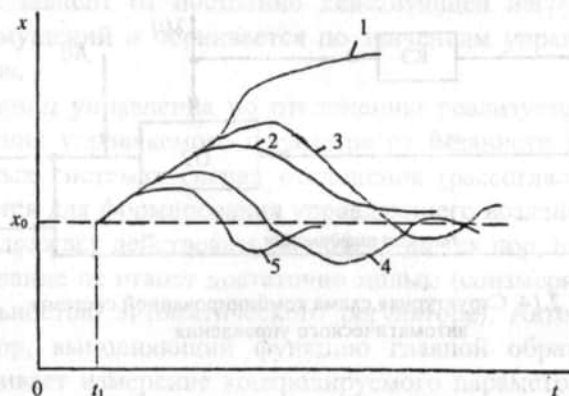


Рис. 2.15. Графики изменения управляемого параметра объекта во времени: 1 – без автоматического регулирования; 2 – с П-алгоритмом управления; 3 – с И-алгоритмом управления; 4 – с ПИ-алгоритмом управления; 5 – с ПИД-алгоритмом управления

Интегральный алгоритм (сокращенно И-алгоритм) характеризуется интегральной зависимостью между управляющим воздействием и отклонением управляемого параметра от его заданного значения

$$u(t) = \frac{k_p}{T_n} \int_0^t \varepsilon(t) dt, \quad (2.4)$$

где  $k_p$  – коэффициент передачи И-регулятора;  $T_n$  – постоянная интегрирования регулятора (имеет размерность времени), обыч-

но это время, за которое регулирующий орган перемещается из одного положения в другое при максимальном входном сигнале регулятора.

Управляемый параметр объекта изменяется согласно И-алгоритму по графической зависимости 3 (рис. 2.15).

Пропорционально-интегральный алгоритм (сокращенно ПИ-алгоритм) выражается зависимостью

$$u(t) = k_p \varepsilon(t) + \frac{k_p}{T_n} \int_0^t \varepsilon(t) dt, \quad (2.5)$$

где  $k_p$  и  $T_n$  – коэффициент передачи и постоянная времени интегрирования (независимые параметры настройки ПИ-регулятора).

Управляемый параметр объекта изменяется согласно ПИ-алгоритму по графической зависимости 4 (рис. 2.15).

Пропорционально-интегрально-дифференциальный алгоритм (сокращенно ПИД-алгоритм) записывается выражением

$$u(t) = k_p \varepsilon(t) + \frac{k_p}{T_n} \int_0^t \varepsilon(t) dt + k_p T_g \frac{d\varepsilon(t)}{dt}, \quad (2.6)$$

где  $k_p$ ,  $T_n$ ,  $T_g$  – коэффициент передачи, постоянные времени интегрирования и дифференцирования (называемые параметрами настройки ПИД-регулятора).

Управляемый параметр объекта изменяется согласно ПИД-алгоритму по графической зависимости 5 (рис. 2.15).

Релейный алгоритм управления означает, что управляющее воздействие появляется только при достижении управляемым параметром объекта заданного (порогового) значения. Этот закон регулирования положен в основу релейных систем автоматизации. Сущность релейного закона можно пояснить путем совместного рассмотрения графической зависимости изменения управляемого параметра объекта во времени и изменения управляющего воздействия в соответствующей этому закону системе автоматизации (рис. 2.16). График изменения управляемого параметра отражает неустановившийся (участок 0-1-2) и устано-

вишийся (участок 2-3-4) режимы, а также два заданных его значения:  $x_{01}$  — минимально заданное значение и  $x_{02}$  — максимально заданное значение. Управляемый параметр объекта изменяется непрерывно. Управляющее воздействие  $u(t)$  в отличие от управляемого параметра изменяется прерывисто, т. е. при достижении управляемым параметром некоторого значения автоматический регулятор вырабатывает управляющее воздействие в виде сигнала определенной физической природы в каждой конкретной системе автоматизации. Управляющие воздействия возникают только при достижении управляемым параметром объекта некоторого заданного значения и обозначены на рисунке в виде «Поз. 0», «Поз. 1», «Поз. 2», «Поз. 3». Характер их действия в автоматическом регуляторе неодинаков при неустановившемся и установившемся режимах работы объекта.

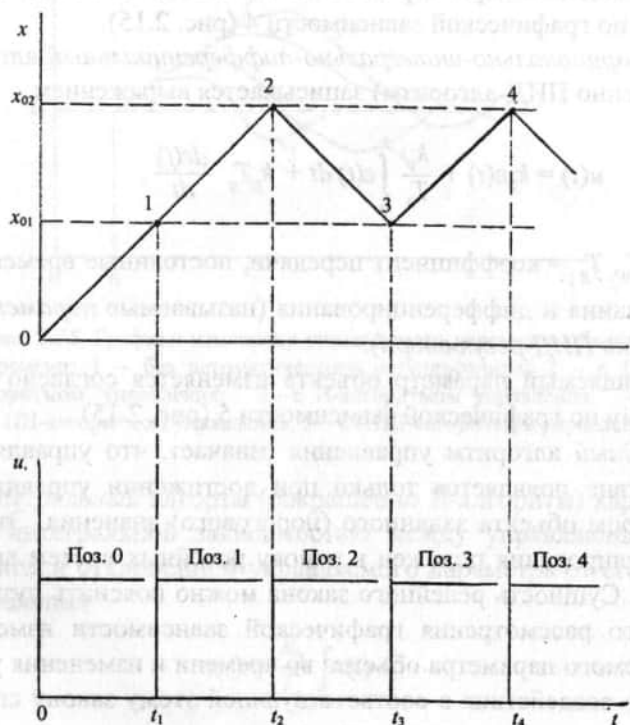


Рис. 2.16. Графики изменения управляемого параметра  $x$  и управляющего воздействия  $u(t)$

«Поз. 0» означает включение в работу системы автоматизации. В момент включения автоматический регулятор вырабатывает управляющее воздействие  $u(t)$ , в результате действия которого его регулирующий орган (один из функциональных элементов системы автоматизации) начинает подавать в объект вещество или энергию. Значение регулируемого параметра растет. При достижении значения  $x_{01}$  автоматический регулятор снова вырабатывает сигнал — «Поз. 1». Однако появившееся управляющее воздействие в момент времени  $t_1$  носит подготовительный характер. Это означает, что в автоматическом регуляторе срабатывают только некоторые функциональные элементы, задачей которых является подготовить остальные функциональные элементы системы автоматизации для выработки последующего управляющего воздействия, которое должно появиться в момент времени  $t_2$ , т. е. когда управляющий параметр достигнет максимального заданного значения. Однако в момент времени  $t_1$  регулирующий орган системы автоматизации не отключается, в объект продолжает поступать вещество или энергия и значение регулируемого параметра продолжает увеличиваться.

В момент времени  $t_2$  регулируемый параметр достигает заданного значения  $x_{02}$  и автоматический регулятор вырабатывает управляющее воздействие «Поз. 2», которое отключает регулирующий орган, и прекращается подача в объект вещества или энергии. В результате действия на объект основного возмущения, например, это может быть отбор вещества или энергии, регулируемый параметр уменьшается. При достижении им заданного значения  $x_{01}$ , которое часто в реальных системах автоматизации несколько ниже заданного, автоматический регулятор снова вырабатывает управляющее воздействие — «Поз. 3», и в объект снова поступает вещество или энергия.

Далее установившийся режим работы характеризуется тем, что регулируемый параметр автоматически поддерживается в заданных пределах  $x_{01}$  и  $x_{02}$ .

Характерной особенностью работы системы автоматизации с релейным алгоритмом управления является то, что при непрерывном изменении регулируемого параметра объекта прерывисто изменяется управляющее воздействие.

Релейный алгоритм управления реализуется в регуляторах прерывистого (релейного) действия.

Приведенные алгоритмы управления положены в основу разработки соответствующих автоматических регуляторов.

*Автоматическим регулятором* называется устройство, которое обеспечивает в системе автоматизации выполнение заданного алгоритма функционирования объекта.

Регуляторы классифицируются по следующим признакам: по виду регулируемого параметра, по виду регулирующего воздействия, по роду энергии, по конструктивному выполнению, по закону регулирования.

*По виду регулируемого параметра* автоматические регуляторы делятся на регуляторы температуры, давления, уровня, частоты вращения, напряжения, мощности и др.

*По виду регулирующего воздействия* автоматические регуляторы подразделяются на регуляторы прямого и непрямого действия. У регуляторов прямого действия для перемещения регулирующего органа энергия появляется в результате изменения регулируемого параметра объекта. У регуляторов непрямого действия для перемещения регулирующего органа используется энергия дополнительного источника питания.

*По роду энергии* автоматические регуляторы подразделяются на электрические, пневматические, гидравлические, комбинированные.

*По конструктивному выполнению* автоматические регуляторы разделяются на простые и сложные.

*Простыми автоматическими регуляторами* являются регуляторы прямого действия. Простейший регулятор содержит всего несколько функциональных элементов, как правило, ими являются измерительный преобразователь (чувствительный элемент) и исполнительный механизм, совместно изготовленный с регулирующим органом. Примерами простейшего регулятора являются регуляторы, ранее рассмотренные в системах автоматизации САР давления воздуха в резервуаре (параграф 2.5).

В отличие от простого автоматического регулятора в сложном регуляторе дополнительно используются сравнивающий элемент, а также усилительный орган, который может иметь одну, две и более ступеней усиления. Согласно терминологии ГСП (Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации), принято различать в автоматических регуляторах «центральную часть», которая является устройством, не связанным с объектом.

*Центральная часть* – это устройство, принимающее сигнал от измерительного преобразователя (чувствительного элемента) и формирующее управляющий сигнал, который передается в исполнительный механизм и далее – в регулирующий орган. В центральную часть, как правило, входят сравнивающий, задающий и усилительный элементы автоматического регулятора. Конструктивное исполнение «центральной части» регуляторов может быть нескольких типов: аппаратное, блочное и элементное.

*Автоматические регуляторы аппаратного типа* выполнены в виде компактного устройства, к которому отдельно подсоединяются измерительный преобразователь (чувствительный элемент) и исполнительный механизм с регулирующим органом. К аппаратному типу относятся, например, регуляторы температуры типа БРТ-П, ТЭЗПЗМ и др.

В автоматических регуляторах *приборного типа* используются некоторые специальные приборы. Сигнал измерительного преобразователя (чувствительного элемента) поступает на вторичный прибор, от которого затем – в регулятор, изготовленный в виде компактного устройства. Например, автоматический электронный мост типа МСР имеет вторичный реостатный задатчик (задающий элемент), с которого снимается сигнал и подается в регулятор. Промышленность выпускает следующие типы позиционных регуляторов: РТ, РРТ, РТИ, ТЭ, ТМ и др.

Регуляторы *блочного типа* состоят из отдельных блоков: измерительного, задающего, усилительного и др. Примером может служить автоматический регулятор типа «Каскад», состоящий из отдельных блоков, а также автоматические регуляторы, выполненные в виде блоков и в совокупности обеспечивающие работоспособность САК рабочих органов зерноуборочных комбайнов серии «Дон». Блоки могут монтироваться на щите, в шкафу или на пульте.

При *элементном* исполнении автоматический регулятор состоит из отдельных универсальных элементов, выполняющих простейшие операции. Из отдельных элементов построены, например, пневматические регуляторы «Старт», «Центр» и др.

В зависимости от реализованных в автоматических регуляторах алгоритмов управления они подразделяются на *пропорциональные* (П-регуляторы), *интегральные* (И-регуляторы), *пропор-*

ционально-интегральные (ПИ-регуляторы), пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД-регуляторы) и релейные регуляторы.

## 2.7. Устойчивость и качество работы систем автоматизации

Разрабатываемые системы автоматизации разделяются на линейные и нелинейные.

*Линейной* является система автоматизации, в которой элементы функциональной структуры регулятора описываются линейными уравнениями.

*Нелинейной* считается система автоматизации, в которой хотя бы один элемент функциональной структуры регулятора описывается нелинейным уравнением. При работе системы автоматизации возникают отклонения регулируемого параметра объекта от заданного значения в результате действия на него возмущений. В системе автоматизации появляется переходный процесс, приводящий к изменению значений параметров во всех элементах функциональной структуры такой системы. Автоматический регулятор действует так, что устраняет возникшее отклонение регулируемого параметра объекта. Характер и длительность переходного процесса определяются динамическими свойствами системы автоматизации и оцениваются устойчивостью.

Под *устойчивостью* понимается свойство системы автоматизации возвращаться к состоянию установившегося равновесия после устранения влияния действующих возмущений на объект, приводящих к отклонению контролируемых параметров от их заданных значений.

Система автоматизации считается *неустойчивой*, если она не возвращается в состояние установившегося равновесия, из которого вышла, а непрерывно удаляется от него или совершает около него недопустимо большие колебания. Неустойчивые системы автоматизации неработоспособны.

Определение устойчивости возможно на основе составления дифференциальных уравнений и решения их. Однако решение таких уравнений даже для линейных систем сопряжено со значительными трудностями. Поэтому это свойство определяется по критериям устойчивости, которые позволяют не прибегать к решению дифференциальных уравнений. Наряду с определением устойчивости критерии позволяют выяснить характер влия-

ния того или иного параметра и элемента функциональной структуры системы автоматизации на ее устойчивость.

Для определения устойчивости применяются алгебраические, частотные и логарифмические критерии. К алгебраическим относятся критерии Вышнеградского, Гурвица и Рауса. Для исследования систем автоматизации широко используются критерии Михайлова и Найквиста, которые относятся к частотным критериям. В ряде случаев применяется логарифмический критерий устойчивости, который представляет собой интерпретацию критерия Найквиста в логарифмической форме.

Разработанные системы автоматизации являются не только устойчивыми, но и обеспечивают качество процесса управления. Под *качеством работы* системы автоматизации понимается точность исполнения системой управления заданного алгоритма функционирования.

Качество работы системы автоматизации характеризует динамику ее перехода с одного заданного режима на другой или возврат к состоянию установившегося равновесия после устранения влияния действующих возмущений в пределах заданного алгоритма функционирования. Переход системы автоматизации с одного режима на другой может происходить в результате изменения значения задающего воздействия, отражающего новое значение алгоритма функционирования. Переход системы автоматизации к состоянию заданного равновесия обычно происходит в результате устранения автоматическим регулятором влияния действующих возмущений (нагрузки, помехи).

К показателям качества относятся статические и динамические ошибки, время регулирования, перерегулирование, колебательность процесса, запас устойчивости, быстродействие и чувствительность.

*Статическая ошибка* характеризует точность регулирования в установившемся режиме и равняется разности между заданным и действительным значениями регулируемого параметра. Эта ошибка представляет собой сигнал рассогласования на выходе сравнивающего элемента автоматического регулятора и определяет зону нечувствительности регулятора.

*Динамическая ошибка* характеризует точность регулирования в неустановившемся режиме и представляет собой отклонение регулируемого параметра от установившегося значения во время переходного процесса.

*Время регулирования* характеризует быстродействие системы автоматизации и соответствует времени, по истечении которого регулируемый параметр входит по значению в зону нечувствительности регулятора, что характеризуется значением статической ошибки.

*Перерегулирование* определяется по формуле

$$\sigma = \frac{x_{\max} - x_0}{x_0} \cdot 100 \%, \quad (2.7)$$

где  $x_{\max}$  – максимальное отклонение регулируемого параметра;  $x_0$  – его заданное значение.

*Колебательность процесса* характеризуется числом колебаний регулируемого параметра около его заданного значения за время регулирования, т. е. в течение переходного процесса.

*Запас устойчивости* характеризует степень удаления системы автоматизации от критической границы устойчивости и оценивается перерегулированием, колебательностью, частотой колебаний.

*Быстродействие* определяется по времени переходного процесса, частоте колебаний и периоду колебаний переходного процесса.

*Чувствительность* характеризует свойство системы автоматизации изменять свои выходные характеристики при отклонении параметров элементов регулятора от номинальных расчетных значений. Отклонение параметров элементов регулятора может быть вызвано неточностью их изготовления, изменением параметров в процессе хранения и эксплуатации, изменением внешних условий и т. п.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Назовите виды систем автоматизации и раскройте их содержание.
2. Объясните функциональную структуру САР и САУ.
3. Дайте определение алгоритма управления.
4. Назовите виды обратных связей и дайте определение каждой из них.
5. Раскройте содержание обратной связи.
6. Назовите схемы систем автоматизации и объясните их содержание.
7. Какие принципы управления применяются при проектировании систем автоматизации и что они собой представляют?
8. Назовите типовые алгоритмы управления и регуляторы.
9. Что представляют собой устойчивость и качество работы систем автоматизации?

## Глава 3. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

### 3.1. Основные понятия ГСП

Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП) создана для того, чтобы экономически и технически рационально решать проблему обеспечения техническими средствами систем контроля, регулирования и управления технологическими процессами различных отраслей народного хозяйства.

Средства автоматизации включают приборы и технические устройства, выполняющие функции получения, передачи и преобразования контрольной информации, формирования командной информации и использования ее для воздействия на технологический процесс.

По функциональному признаку все изделия ГСП разделены на следующие группы: 1) получения информации о состоянии объекта управления; 2) приема, преобразования и передачи информации по каналам связи; 3) преобразования, хранения и обработки информации, формирования команд управления, связи с оперативным персоналом; 4) использования командной информации для воздействия на управляемый объект.

В *первую* группу устройств входят измерительные и нормирующие преобразователи, другие устройства, используемые для контроля состояния объекта или его управляемых переменных.

Ко *второй* группе относятся устройства для передачи информации на расстояние, такие как устройства телемеханики.

*Третья* группа представляет собой устройства, предназначенные для формирования управляющих сигналов (командной информации): функциональные преобразователи, логические устройства, реле, программные устройства, регулирующие приборы, вычислительные устройства и комплексы и др.

В *четвертую* группу входят исполнительные устройства и их компоненты: электрические, пневматические и гидравлические исполнительные механизмы, усилители мощности к ним, а также устройства представления информации.

В сельскохозяйственном производстве используются как средства автоматизации общепромышленного назначения, входящие в ГСП, так и технические средства автоматизации, применяемые преимущественно в сельском хозяйстве.

### 3.2. Общая характеристика измерительных преобразователей

В системах автоматизации необходимую информацию о состоянии объекта управления и внешних воздействиях на него получают в виде значений отдельных физических параметров с помощью технических устройств, называемых измерительными преобразователями (ИП).

*Измерительный преобразователь* – это устройство, измеряющее и преобразующее контролируемый параметр объекта в сигнал, удобный для передачи и дальнейшего преобразования в системе автоматизации.

В отличие от измерительных приборов, где информация дается в удобном для непосредственного восприятия оператором виде, информация в ИП представляется в виде выходного физического параметра, значение которого недоступно для визуального восприятия человеком (без использования соответствующих измерительных приборов). Выходной параметр ИП принято называть сигналом, значение которого однозначно связано с изменением контролируемой физической величины объекта.

ГСП охватывает лишь часть контролируемых параметров, которые наиболее часто используются в практике автоматизации. В ГСП все контролируемые величины разбиты на пять групп: теплоэнергетические, механические, электроэнергетические величины, химический состав и физические свойства.

К *теплоэнергетическим* величинам относятся температура, давление, перепад давлений, уровень и расход.

*Механическими* величинами являются линейные и угловые перемещения, линейная и угловая скорость, деформация, усилия, крутящие (вращающие) моменты, количество изделий, твердость материалов, вибрация, шум и масса.

*Электроэнергетические* величины: постоянные и переменные ток и напряжение, мощность (активная и реактивная), коэффициент мощности, частота, сопротивление изоляции.

*Химический* состав: концентрация, состав, химические свойства.

К величинам, характеризующим *физические* свойства, относятся влажность, электропроводность, плотность, вязкость, осещенность и др.

Устройство, в котором однократно (первично) преобразуется контролируемая физическая величина, принято называть *первичным* преобразователем. Измерительный преобразователь может состоять из одного или нескольких первичных преобразователей.

В ИП первичные преобразователи могут соединяться, образуя следующие структурные схемы преобразования: однократного прямого преобразования; последовательного прямого преобразования; дифференциальную; с обратной связью (компенсационную).

Схема однократного прямого преобразования определяет простейший ИП, в котором выполняется только одно преобразование  $y = f(x)$ , где  $x$  – контролируемый параметр объекта;  $y$  – выходной параметр (сигнал) ИП. Примером простейшего ИП может служить термопара, в которой температура преобразуется в ЭДС.

В случае последовательного соединения нескольких первичных преобразователей выходная величина предыдущего преобразователя является входной величиной последующего. Последовательное соединение преобразователей применяется в том случае, когда однократное преобразование не дает удобного для использования в системе автоматизации выходного сигнала ИП. Обычно первый первичный преобразователь, воспринимающий контролируемую (измеряемую) величину, называется *чувствительным элементом* (ЧЭ), а последний преобразователь, выходная величина которого подается в другие элементы системы автоматизации, – *выходным элементом* (ВЭ).

Например, в ИП, состоящем из двух преобразователей, контролируемый параметр преобразуется в промежуточный, который, в свою очередь, преобразуется в выходной параметр, т. е. в таком ИП прослеживается следующая последовательность преобразований:  $x \rightarrow z \rightarrow y$ , что можно записать в виде функциональных зависимостей:

$$z = f_1(x); y = f_1(z). \quad (3.1)$$

Число таких последовательных преобразований в ИП может быть и более двух. В общем случае функциональная связь между параметрами  $x$  и  $y$  может проходить через ряд промежуточных параметров, т. е. прослеживается следующая последовательность преобразований:  $x \rightarrow z \rightarrow \dots \rightarrow \mu \rightarrow y$ , что можно записать в виде функциональной зависимости

$$y = f_n\{\dots [f_1(x)]\} = F_n(x), \quad (3.2)$$

где  $n$  – число последовательных преобразований в ИП.

Нередко один и тот же конструктивный элемент, являющийся ИП, может выполнять несколько преобразований. Например, упругая мембрана выполняет функцию чувствительного элемента, преобразуя давление в силу, и функцию выходного элемента, преобразуя силу в перемещение.

*Дифференциальная* схема применяется в ИП тогда, когда изменение контролируемой величины удобно сопоставить (сравнить) с некоторой эталонной величиной, полученной в результате преобразования эталонным преобразователем. Такая схема позволяет получить меньшую погрешность, обусловленную действием различных возмущений.

Схема ИП с *обратной связью* характеризуется высокой точностью, универсальностью и малой зависимостью коэффициента преобразования от внешних возмущений.

В зависимости от вида выходного сигнала ИП бывают с выходным естественным и унифицированным сигналами.

*Естественный* выходной сигнал формируется первичными преобразователями естественным путем и представляет собой перемещение, угол поворота, усилие, интервал времени, напряжение (постоянное и переменное), сопротивление, электрическую емкость, частоту и др. ИП с естественным выходным сигналом (термопары, терморезисторы, тензорезисторы и др.) широко применяются при автоматизации простых объектов.

*Унифицированный* сигнал – это сигнал определенной физической природы, изменяющийся в определенных фиксированных пределах независимо от вида измеряемой величины, метода и диапазона ее измерения. Среди унифицированных сигналов

большее распространение получили электрические сигналы постоянного и переменного тока, напряжения и частоты, а также пневматические сигналы.

К основным видам аналоговых унифицированных сигналов относятся: электрические постоянного тока в пределах 0...5, 0...20, -5...0...5 мА; электрические постоянного напряжения в пределах 0...10, 0...20, -10...0...10 мВ, 0...1, -1...0...1 В; электрические переменного напряжения в пределах 0...2, -1...0...1 В; электрические переменного тока по частоте 4...8, 2...4 кГц; пневматические в пределах 20...100 кПа.

Унифицированные сигналы получают из естественных. Для получения унифицированных аналоговых сигналов применяются в ИП выходные нормирующие преобразователи.

ИП с дискретным выходным сигналом (релейные ИП, например термореле) имеют на выходе контактную группу, которая изменяет свое положение при достижении контролируемой (измеряемой) величиной заданного значения.

В общем виде структурная схема ИП с выходным естественным унифицированным или дискретным сигналом изображена на рис. 3.1. ИП состоит из первичного преобразователя (чувствительного элемента), непосредственно воспринимающего контролируемую величину, и промежуточных(ого) преобразовател(ей). Последний преобразователь (выходной элемент) обеспечивает появление выходной величины необходимой физической природы.

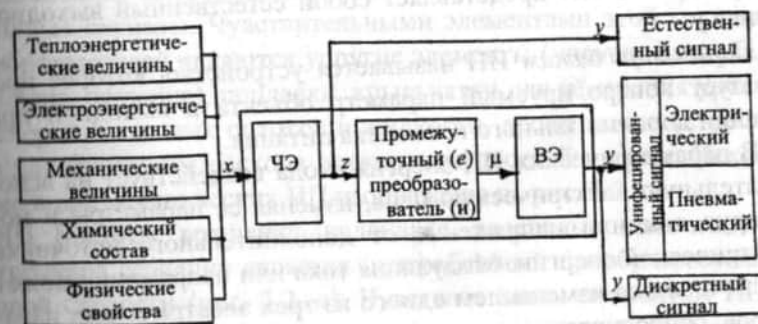


Рис. 3.1. Структурная схема построения измерительных преобразователей

В зависимости от назначения и конкретных условий применения ИП к ним предъявляются следующие требования: однозначная функциональная зависимость выходной величины от входной; высокая избирательность (ИП должен реагировать только на изменение той величины, для которой он предназначен); направленность действия (отсутствие влияния нагрузки в выходной цепи ИП на режим входной цепи); высокая чувствительность; стабильность характеристик во времени; определенные динамические характеристики; высокая перегрузочная способность; достаточный уровень надежности; удобство монтажа и обслуживания и др.

По принципу преобразования входного параметра в выходной ИП разделяются на генераторные и параметрические.

*Генераторный* ИП представляет собой устройство, преобразующее контролируемый параметр объекта в выходной без дополнительного источника питания. К группе генераторных ИП относятся устройства, преобразующие различные по своей физической природе входные параметры в выходные, которые обязательно должны иметь электрическую природу. Наибольшее применение получили индукционные (тахогенераторы постоянного и переменного тока), термоэлектрические (термопары), пьезоэлектрические и фотоэлектрические (фотоэлементы с вентильным фотоэффектом) генераторные ИП.

В структуре построения генераторного ИП используется только один первичный преобразователь, изображенный на рис. 3.1 в виде чувствительного элемента. Выходной параметр генераторного ИП представляет собой естественный выходной сигнал  $u$ .

*Параметрическим* ИП называется устройство, которое преобразует контролируемый параметр объекта в выходной при помощи дополнительного источника питания.

В параметрических ИП энергия входа воздействует на вспомогательную электрическую цепь, изменяя ее параметры и модулируя ток или напряжение от дополнительного источника электрической энергии. Модуляция тока или напряжения может обеспечиваться изменением одного из трех электрических параметров: сопротивления, индуктивности или емкости.

*Модуляция* (от лат. modulatio – мерность, размерность), размерное, закономерное изменение, перемена состояния.

В структуре построения параметрического ИП (рис. 3.1) используются первичный преобразователь (ЧЭ), один или несколько промежуточных преобразователей и выходной элемент (ВЭ), определяющий физическую природу унифицированного выходного сигнала.

ИП, применяемые в ГСП, подразделяются на шесть групп: механические, электромеханические, тепловые, электрохимические, оптические и электронно-ионизационные.

Роль ИП в системах автоматизации чрезвычайно велика. Если уровень механизации сельского хозяйства определяется уровнем развития рабочих органов машин, то уровень автоматизации зависит от совершенства и надежности ИП. По сравнению с другими элементами функциональной структуры автоматического регулятора ИП работают в более сложных и тяжелых условиях, которые характеризуются значительно большими вибрационными нагрузками, большей запыленностью и загазованностью, а также некоторыми другими отрицательными факторами.

### 3.3. Механические измерительные преобразователи

Механические ИП характеризуются преобразованием контролируемых механических параметров в выходные механические сигналы. Например, такие контролируемые параметры, как давление, усилие, скорость, расход и другие, преобразуются в перемещение, частоту, вращение, давление и некоторые другие выходные сигналы. Чувствительными элементами этой группы преобразователей являются упругие элементы (упругая балочка, мембрана, пружина), поплавки, крыльчатки для измерения уровня, скорости газовых потоков и жидкости, дроссельные устройства для измерения расхода невязких жидкостей и газов. Некоторые виды механических ИП изображены на рис. 3.2.

ИП частоты вращения коленвала дизельных двигателей внутреннего сгорания является центробежный преобразователь угловой скорости (рис. 3.2, а). Чувствительным элементом ИП служат грузы, различная масса которых для конкретного центробежного регулятора определяет оптимальный режим работы каждой марки двигателя. Контролируемый параметр в виде уг-

ловой частоты вращения коленвала  $\omega$  преобразуется в выходной сигнал  $y$ , которым является перемещение муфты  $\Delta l$ .

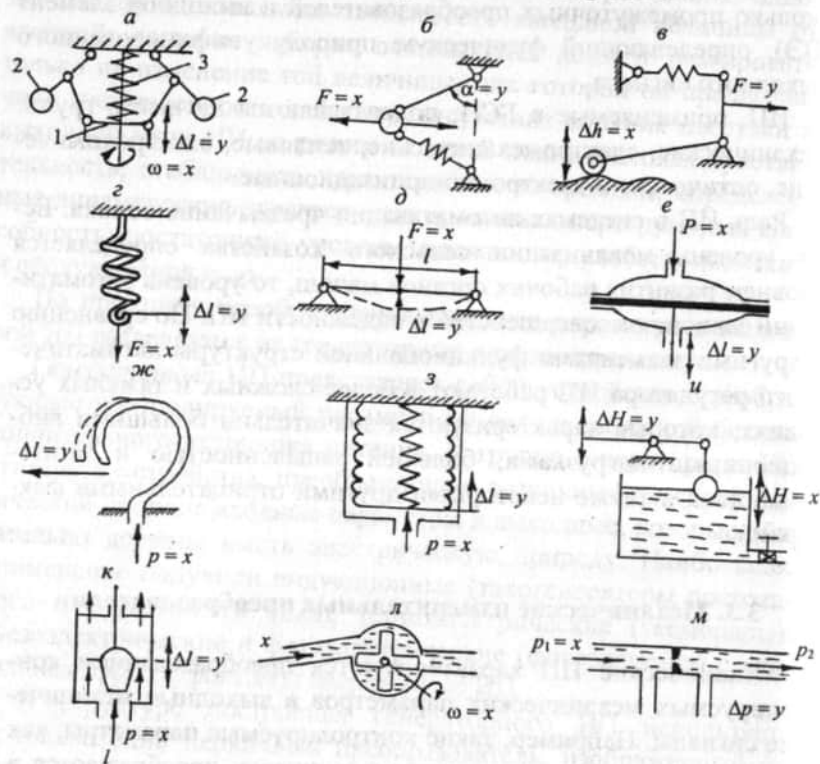


Рис. 3.2. Схемы устройства механических ИП

Под действием центробежной силы  $F_{ц} = am\omega^2 R$  грузы 2 сжимают пружину 3, и муфта 1 перемещается по вращающемуся валу.

Чувствительность центробежного преобразователя

$$k = dF_{ц}/d\omega = 2am\omega R, \quad (3.3)$$

где  $a$  – коэффициент пропорциональности;  $m$  – масса грузов, кг;  $\omega$  – угловая скорость, рад/с;  $R$  – радиус вращения грузов, м.

На рис. 3.2, б изображена схема маятникового акселерометра. Маятник с грузом отклоняется под действием силы инерции  $F$ . Жесткость пружины, препятствующей этому отклонению, под-

бирается так, чтобы угол отклонения маятника  $\alpha$  был пропорционален силе  $F$  и, следовательно, ускорению  $dv/dt$ . Груз, являющийся чувствительным элементом, перемещается под действием момента силы инерции  $M = Fl = mldv/dt$ .

Чувствительность маятникового акселерометра

$$k = dM/da = ml, \quad (3.4)$$

где  $M$  – момент силы инерции, Н · м;  $a$  – ускорение груза, м/с<sup>2</sup>;  $m$  – масса груза, кг;  $l$  – длина подвески груза, м.

В ИП копирного типа (рис. 3.2, в) чувствительный элемент, контактируя с поверхностью, систематически отклоняется. Отклонение чувствительного элемента  $h$  преобразуется через систему рычагов в выходной сигнал, которым является усилие  $F$ .

Измерительными преобразователями усилий могут быть пружина (рис. 3.2, г) и упругая балочка (рис. 3.2, д). В результате деформации пружины и балочки усилие преобразуется в выходной сигнал – перемещение  $l$ .

Удлинение пружины  $\Delta l$  под действием силы  $F$  записывается выражением

$$\Delta l = FR^2 l / (GJ_p), \quad (3.5)$$

где  $R$  – радиус витка пружины, м;  $l$  – полная длина стержня пружины, м;  $G$  – модуль сдвига, Па;  $J_p$  – полярный момент инерции сечения стержня пружины, м<sup>4</sup>.

Чувствительность пружины

$$k = d\Delta l/dF = R^2 l / (GJ_p). \quad (3.6)$$

Между прогибом балочки  $l$  и силой  $F$  существует следующая зависимость:

$$\Delta l = F^3 / (48EJ), \quad (3.7)$$

где  $l$  – длина балочки, м;  $E$  – модуль упругости материала балочки, Па;  $J$  – момент инерции поперечного сечения балочки, м<sup>4</sup>.

Чувствительность упругой балочки

$$k = d\Delta l/dF = F^2 / (48EJ). \quad (3.8)$$

В первичных преобразователях (рис. 3.2, и, ж, л) входная величина (давление  $p$ ) преобразуется в перемещение  $\Delta l$ , являющееся выходным сигналом  $y$ .

В мембранном преобразователе (рис. 3.2, и) эластичная пластина, выполняющая функции чувствительного и выходного элементов, деформируется, прогибаясь пропорционально действующему давлению  $p$ .

В пружинном трубчатом преобразователе (рис. 3.2, ж) чувствительным элементом служит изогнутая тонкостенная упругая трубка овального сечения, которая стремится выпрямиться под действием давления внутри нее. Перемещение свободного конца упругой трубки определяет значение выходного сигнала  $u$ .

Сильфонный преобразователь (рис. 3.2, з) имеет чувствительный элемент в виде гофрированного тонкостенного цилиндра, выполненного из упругого материала. В результате изменения значения входного сигнала (давления) происходит удлинение или укорачивание сильфона.

В ИП уровня (рис. 3.2, м) перемещение конца рычага пропорционально изменению уровня воды в резервуаре.

ИП расхода различных веществ (рис. 3.2, к, л, м) работают на основе различных физических принципов.

На рис. 3.2, к изображен ротаметр, который преобразует энергию движения газа (входной параметр – давление  $p$ ) в перемещение  $\Delta l$  поплавка со штоком.

Скоростные ИП расхода жидкости или газа (рис. 3.2, л) имеют чувствительный элемент в виде вертикальной крыльчатки, которая устанавливается в трубопроводе (спиральная крыльчатка может устанавливаться в любой части). Такие преобразователи строятся на основе пропорциональности расхода жидкости или газа частоте вращения крыльчатки

$$n = kQ, \quad (3.9)$$

где  $k$  – передаточный коэффициент (чувствительность);  $Q$  – расход жидкости или газа,  $m^3/c$ .

В ИП с дроссельной диафрагмой (рис. 3.2, м), вставленной в трубопровод, выходным сигналом является разность давлений в импульсных трубках  $\Delta p = p_1 - p_2$ , размещенных по обе стороны диафрагмы.

Механические ИП обладают определенной инерционностью. Постоянная времени механических преобразователей колеблется в пределах от 0,01 до 0,1 с.

### 3.4. Электромеханические измерительные преобразователи

Электромеханические ИП преобразуют входные механические параметры (давление, перемещение, усилие и др.) в электрические выходные сигналы (напряжение, ток, сопротивление, индуктивность и др.) и делятся на параметрические и генераторные.

В параметрических ИП выходной сигнал в виде тока или напряжения появляется в результате их включения в соответствующие электрические схемы (мостовые, дифференциальные), которые питаются от отдельных источников электрической энергии.

Генераторные преобразователи имеют электрический выходной сигнал в виде тока или напряжения, значение которых зависит от значения контролируемых параметров. К генераторным относятся тахогенераторы и пьезоэлектрические преобразователи.

По принципу действия электромеханические ИП подразделяются на резистивные, электромагнитные, емкостные и пьезоэлектрические.

Резистивные ИП достаточно широко распространены и используются для контроля линейных и угловых перемещений, измерения усилий, моментов, ускорений и расхода материалов. По конструктивному исполнению они бывают контактного типа, потенциометрические и тензометрические.

Контактные ИП (рис. 3.3) наиболее просты и доступны с точки зрения их применения. Конструктивно преобразователь выполняется в виде столбиков, набранных из 10...15 угольных шайб диаметром 5...10 мм и толщиной 1...2 мм (рис. 3.2, а). На концах столбика монтируются контактные диски и упорные конструкции, через которые передается усилие  $F$  на диски. Электрическое сопротивление такого столбика складывается из переходных контактных сопротивлений между угольными дисками и собственных сопротивлений дисков. При сжатии сопротивление столбика уменьшается, а ток в цепи угольного столбика увеличивается (рис. 3.2, б).

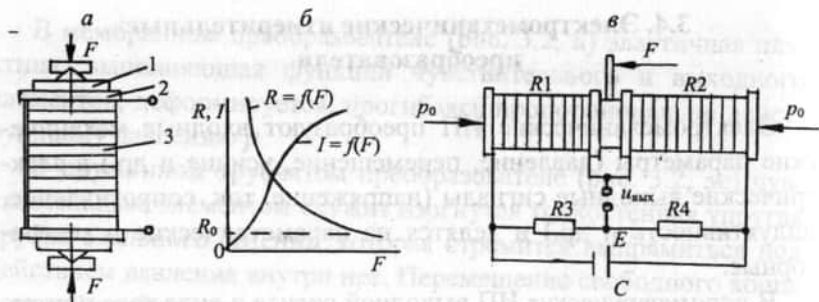


Рис. 3.3. Контактные ИП: а – простой угольный; б – характеристика угольного ИП; в – дифференциальный ИП; 1 – упорный диск; 2 – контактный диск; 3 – угольная шайба

Сопротивление контактного ИП с некоторым приближением выражается зависимостью

$$R = R_0 + A/F, \quad (3.10)$$

где  $R_0$  – постоянная величина, соответствующая сопротивлению при  $F \rightarrow \infty$ , Ом;  $F$  – усилие, приложенное к столбику, Н;  $A$  – постоянный коэффициент, Ом · Н.

Чувствительность такого преобразователя

$$k = dR/dF = A/F^2. \quad (3.11)$$

Для повышения чувствительности ИП применяется дифференциальное включение столбиков (рис. 3.3, в). На предварительно сжатые давлением  $p_0$  столбики действует контролируемое усилие  $F$ . Столбики ИП сопротивлением  $R_1$  и  $R_2$  совместно с резисторами  $R_3$  и  $R_4$  включаются по схеме измерительного неуравновешенного моста. Выходным сигналом этого преобразователя является напряжение  $u_{\text{вых}}$ , значение которого зависит от силы  $F$ . Ее действие проявляется в том, что сжатие одного столбика увеличивается, а другого – уменьшается. В результате действия силы  $F$  равновесие моста ( $R_1R_4 = R_2R_3$ ) нарушается и в его выходной диагонали появляется напряжение  $u_{\text{вых}}$ .

Основными недостатками угольных ИП являются нелинейность характеристики  $R = f(F)$ , нестабильность сопротивления, зависимость сопротивления от температуры, наличие явления,

аналогичного гистерезису. В дифференциальном ИП значительно уменьшается нелинейность характеристики  $R = f(F)$ .

Потенциометрические ИП представляют собой регулируемые проволочные резисторы, которые имеют однозначную функциональную зависимость между сопротивлением и перемещением. Различают ИП с угловым (рис. 3.4, а) и линейным (рис. 3.4, б) перемещением подвижного контакта, соединенного с подвижной частью объекта управления.

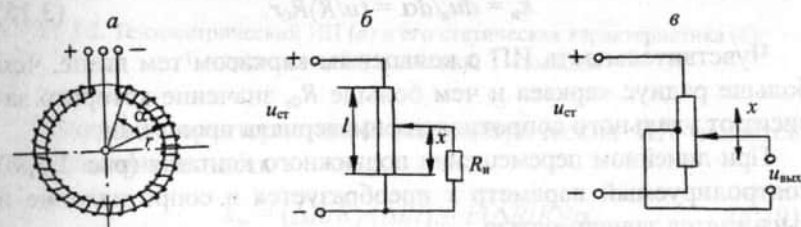


Рис. 3.4. Потенциометрические ИП: а – с угловым перемещением контакта; б – с линейным перемещением контакта; в – с отводом от средней точки

Основными конструктивными элементами потенциметрических ИП являются пластмассовый или керамический каркас, обмотка из проволоки (константан, нихром, манганин, никелин и др.) и скользящий контакт (щетка) с ползунком.

Для потенциметрических ИП с угловым и линейным перемещением подвижного контакта можно записать соответственно следующие зависимости:

$$R_a/R = u_a/u \text{ и } R_x/R = u_x/u, \quad (3.12)$$

где  $R_a$  и  $R_x$  – сопротивления, соответствующие изменению входных параметров  $\alpha$  и  $x$ , Ом;  $u_a$  и  $u_x$  – напряжения, соответствующие изменению входных параметров  $\alpha$  и  $x$ , В;  $u$  – напряжение питания каждого ИП, В;  $R$  – сопротивление каждого ИП, Ом.

При угловом перемещении подвижного контакта (рис. 3.4, а) контролируемый (входной) параметр  $\alpha$  преобразуется в сопротивление  $R_a$ , выражаемое зависимостью

$$R_a = (R/l)ra = R_0r\alpha, \quad (3.13)$$

где  $l$  – полная длина намотки, м;  $r$  – радиус каркаса, м;  $\alpha$  – угол поворота контакта, рад;  $R_0$  – сопротивление, приходящееся на

единицу длины окружности при равномерной намотке проволоки, Ом/(м · рад).

Для ИП с кольцевым каркасом с учетом (3.12) выходное напряжение

$$u_a = (u/R)R_a = (u/R)R_0 r. \quad (3.14)$$

Чувствительность такого ИП по напряжению

$$k_n = du_a/d\alpha = (u/R)R_0 r. \quad (3.15)$$

Чувствительность ИП с кольцевым каркасом тем выше, чем больше радиус каркаса и чем больше  $R_0$ , значение которого зависит от удельного сопротивления материала проволоки.

При линейном перемещении подвижного контакта (рис. 3.4, б) контролируемый параметр  $x$  преобразуется в сопротивление и выражается зависимостью

$$R_x = (R/l)x = R_0 x. \quad (3.16)$$

С учетом (3.12) выходное напряжение такого ИП

$$u_x = (u/R)R_x = (u/R)R_0 x. \quad (3.17)$$

Тогда чувствительность ИП по напряжению

$$k_n = du_x/dx = (u/R)R_0. \quad (3.18)$$

Чувствительность ИП с линейным перемещением подвижного контакта тем выше, чем больше значение параметра  $R_0$ .

Тензометрические ИП используются в системах автоматизации для измерения упругих деформаций твердых тел, давлений, усилий, перемещений.

Конструктивно ИП (рис. 3.5, а) представляет собой тонкую (диаметром 0,02...0,04 мм) зигзагообразно уложенную проволоку, изготовленную из материала высокого удельного сопротивления, подложку и выводы.

Принцип действия таких ИП основан на явлении тензоэффекта, т. е. изменении омического сопротивления проволоки при упругих деформациях. Тензометрический ИП наклеивается на деформируемую часть (деталь) объекта управления. Деформации контролируемой детали передаются на проволоку ИП, в результате чего изменяется ее длина, диаметр и, как следствие, электрическое сопротивление.

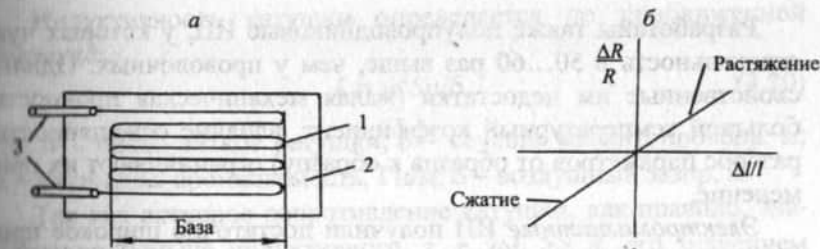


Рис. 3.5. Тензометрический ИП (а) и его статическая характеристика (б): 1 – проволока; 2 – подложка; 3 – выводы

Основной характеристикой тензометрических ИП является тензочувствительность

$$k_m = (\Delta R/R)/(\Delta l/l) = E(\Delta R/R)/\sigma, \quad (3.19)$$

где  $R$  и  $l$  – соответственно сопротивление и длина проволоки, из которой изготовлен ИП, Ом и м;  $\Delta R$  и  $\Delta l$  – приращение сопротивления и длины проволоки;  $E$  – модуль упругости, Па;  $\sigma$  – напряжение в материале, Па.

Значения контролируемых параметров объекта определяются по соответствующей тарировочной зависимости. Например, усилие  $F$  определяется по зависимости  $R = f(F)$ , которая устанавливается опытным путем.

Существуют проволочные, фольговые и полупроводниковые тензометрические ИП (тензометры). Каждый указанный тип ИП характеризуется коэффициентом тензочувствительности, значение которого зависит от используемого материала.

Проволочный ИП (рис. 3.5, а) изготавливается на бумажной и пленочной основе из различных металлов. При изготовлении из тензометрического константана  $k_m = 2$ , из сплава элинвар –  $k_m = 3,8$ , из платиноиридия –  $k_m = 6$  и т. п.

Фольговые ИП изготавливаются из константановой фольги толщиной 2...10 мкм в виде решетки, коэффициент тензочувствительности которых такой же, как и у проволочных ИП.

Достоинства проволочных и фольговых ИП (простота, стабильность характеристики, так как она линейная (рис. 3.5, б), малая температурная зависимость, практическая безынерционность) определяют их широкое применение.

Разработаны также полупроводниковые ИП, у которых чувствительность в 50...60 раз выше, чем у проволочных. Однако свойственные им недостатки (малая механическая прочность, большой температурный коэффициент, влияние освещенности, разброс параметров от образца к образцу) ограничивают их применение.

Электромагнитные ИП получили достаточно широкое применение в системах автоматизации благодаря своей простоте и надежности. В зависимости от вида преобразования контролируемого параметра они разделяются на следующие группы: индуктивные, трансформаторные, магнитоупругие и индукционные.

Индуктивные ИП используются при измерении давления, усилия, перемещений. Принцип действия ИП основан на изменении его магнитных свойств при перемещении подвижной части магнитопровода, что приводит к изменению индуктивного сопротивления катушки.

Индуктивный ИП с подвижным якорем (рис. 3.6, а) применяется для измерения и контроля очень малых перемещений (до 2 мм). При перемещении якоря 2 усилием  $F$ , которое является контролируемым (выходным) параметром объекта, изменяется воздушный зазор  $\delta$ . В результате изменяется индуктивное сопротивление катушки 1 и, следовательно, выходной сигнал ИП в виде тока, т. е.  $I = u/z$ , где  $z = f(R, x_L)$  – полное сопротивление катушки.

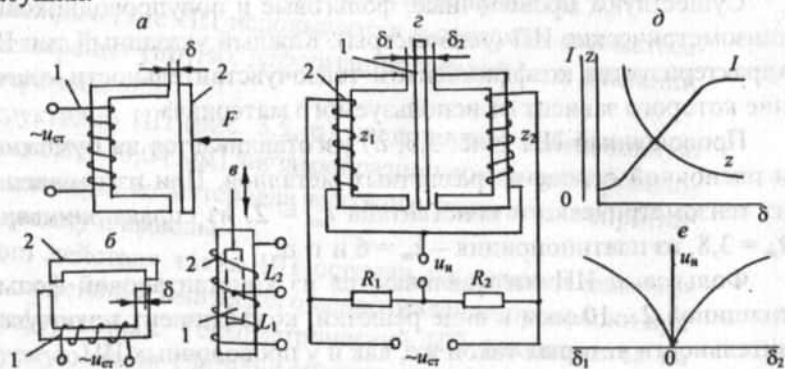


Рис. 3.6. Индуктивные ИП и их характеристики: а – с подвижным якорем; б – с изменяющейся площадью зазора; в – с подвижным сердечником; г – дифференциальный; д – характеристики ИП а, б, в; е – характеристика дифференциального ИП

Индуктивность катушки определяется по приближенной формуле

$$L = w^2 S \mu / \delta, \quad (3.20)$$

где  $w$  – число витков катушки;  $S$  – сечение магнитопровода, м;  $\mu$  – магнитная проницаемость, Гн/м;  $\delta$  – воздушный зазор, м.

Так как активное сопротивление катушки, как правило, значительно меньше индуктивного, т. е.  $\omega L \gg R$ , его значением можно пренебречь и считать, что  $z = \omega L = w^2 S \mu \omega / \delta$ .

Тогда чувствительность индуктивного ИП по току

$$k_i = dI/d\delta = U/(w^2 S \mu \omega). \quad (3.21)$$

Индуктивные ИП являются весьма чувствительными преобразователями и реагируют на достаточно малые отклонения, соответствующие 0,1...0,5 мкм.

Индуктивные ИП с изменяющейся площадью сечения магнитопровода (рис. 3.6, б) способны измерять перемещение контролируемого рабочего органа объекта до 8 мм, а ИП с подвижным сердечником (рис. 3.6, в) – до 50 мкм.

ИП рис. 3.6, в представляют собой катушку с подвижным ферромагнитным сердечником 2. От средней точки обмотки 1 сделан вывод, что позволяет создать измерительную схему. Когда сердечник находится в центре катушки, в силу симметрии  $L_1 = L_2$ . При перемещении сердечника равенство индуктивностей нарушается и с помощью их значений измеряется перемещение контролируемого органа объекта.

Статическая характеристика ИП  $I = f(\delta)$  (рис. 3.6, д) имеет линейный характер только на определенном участке. Поэтому интервал изменения воздушного зазора выбирается для объекта управления на прямолинейном участке характеристики.

Индуктивные ИП простейшего типа нечувствительны к изменению направления действия контролируемого параметра. Этого недостатка лишены дифференциальные ИП (рис. 3.6, г), у которых входным параметром является смещение якоря относительно среднего положения, а выходным сигналом – напряжение  $U_n$ . Электрическая схема их представляет собой четырехплечий мост. При среднем положении якоря, когда значение контролируемого параметра соответствует заданному, мост находится в

равновесии, что выражается зависимостью  $z_1 R_2 = z_2 R_1$ . Выходной сигнал  $U_n = 0$ . Перемещение якоря в любую сторону вызывает нарушение равновесия моста и появление выходного сигнала.

У дифференциальных индуктивных ИП по сравнению с простыми выше чувствительность и значительно меньше погрешность при колебании напряжения питания.

К недостаткам индуктивных ИП относятся сильная зависимость их работы от частоты напряжения питания и невозможность применения источника на высоких частотах, так как значительно увеличиваются потери на перемагничивание магнитопровода и индуктивное сопротивление катушки.

Достоинством индуктивных ИП является отсутствие скользящих контактов, высокая чувствительность и сравнительно простая конструкция. К недостаткам относятся возможность работы только на переменном токе, трудность получения нулевого значения напряжения на выходе ИП, необходимость защиты от помех. Динамические свойства зависят от инерционности подвижных частей ИП.

Магнитоупругие ИП конструктивно представляют собой сплошной магнитопровод определенной конфигурации с расположенными на нем одной или несколькими обмотками. Принцип действия их основан на свойстве ферромагнитных материалов изменять магнитную проницаемость при упругих деформациях, вызываемых механической нагрузкой. Индуктивность катушки прямо пропорциональна магнитной проницаемости магнитопровода ИП. В ИП возникает ряд последовательных преобразователей: механическая сила – механическая напряженность – магнитная проницаемость – индуктивность – индуктивное сопротивление – сила тока.

Магнитоупругие ИП могут иметь различную конструкцию: с Ш-образным магнитопроводом и одной обмоткой (рис. 3.7, а), а также с двумя обмотками (рис. 3.7, б), магнитопроводы которых работают на сжатие, и с магнитопроводом (рис. 3.7, в), который работает на растяжение.

Магнитоупругие свойства ИП характеризуются относительной чувствительностью

$$k = (\Delta\mu/\mu)/(\Delta l/l), \quad (3.22)$$

где  $\mu = \mu_r \mu_0$  – магнитная проницаемость материала, Гн/м;  $\mu_r$  – относительная магнитная проницаемость, Гн/м;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  – магнитная проницаемость вакуума, Гн/м;  $l$  – длина магнитопровода, м. Магнитоупругие ИП применяются для измерения больших усилий.

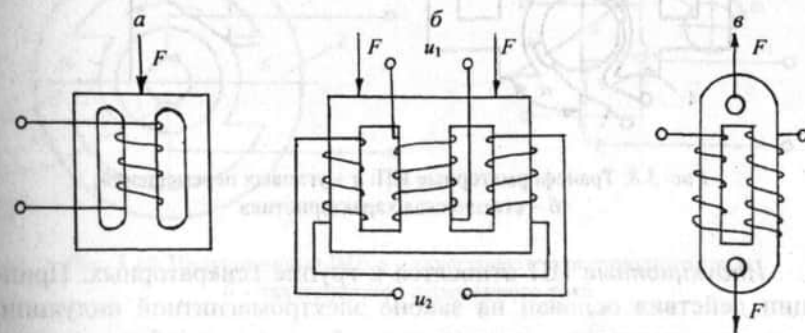


Рис. 3.7. Магнитоупругие ИП: а – с Ш-образным сплошным магнитопроводом и одной обмоткой; б – с Ш-образным магнитопроводом и двумя обмотками; в – с магнитопроводом, работающим на растяжение

Трансформаторные ИП применяются для измерения угловых перемещений. Принцип действия их основан на изменении взаимной индуктивности между двумя системами обмоток. Взаимная индуктивность может изменяться в результате изменения полного магнитного сопротивления цепи или взаимного перемещения обмоток.

Наиболее распространенным является ИП (рис. 3.8, а), имеющий магнитопровод 1 с обмоткой возбуждения 2 и вторичную обмотку, выполненную в виде рамки 3, которая может поворачиваться в кольцевом зазоре. Обмотка возбуждения подключается к источнику стабилизированного напряжения стандартной частоты, и создается переменный магнитный поток, который пронизывает вторичную обмотку. При повороте вторичной обмотки изменяется значение пронизывающего магнитного потока и соответственно индуцированной в ней ЭДС. Значение ЭДС изменяется в зависимости от угла поворота вторичной обмотки, т. е.  $E_2 = f(\alpha)$ . Полусные наконечники 4 позволяют получить прямолинейную статическую характеристику (рис. 3.8, б) при повороте рамки на угол  $\alpha = \pm 70^\circ$  от нейтрального положения.

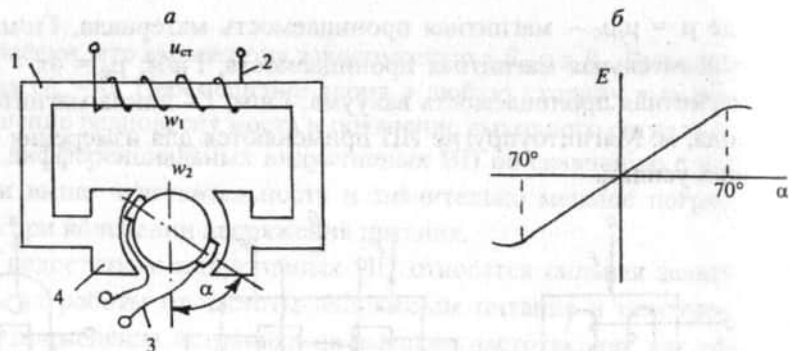


Рис. 3.8. Трансформаторные ИП: а – угловых перемещений; б – статическая характеристика

Индукционные ИП относятся к группе генераторных. Принцип действия основан на законе электромагнитной индукции, согласно которому контролируемый параметр объекта непосредственно преобразуется в ЭДС, определяемую зависимостью

$$e = -w d\Phi/dt, \quad (3.24)$$

где  $w$  – число витков в обмотке;  $\Phi$  – магнитный поток, Вб;  $t$  – время, с.

К таким ИП относятся тахогенераторы постоянного и переменного тока, представляющие собой небольшие электромашинные генераторы, у которых выходное напряжение пропорционально угловой скорости вращения вала преобразователя.

Тахогенераторы *постоянного* тока бывают двух типов: с возбуждением от постоянных магнитов и с электромагнитным возбуждением от независимого источника постоянного тока.

У тахогенераторов с постоянными магнитами (рис. 3.10, а) ротор 1 вращается в магнитном поле, которое создается постоянными магнитами 2. Выходным сигналом является напряжение  $u$ , снимаемое с коллектора и равное  $u = m\omega$ , где  $m$  – коэффициент пропорциональности, В · с;  $\omega$  – угловая скорость, с<sup>-1</sup>.

Чувствительность тахогенератора постоянного тока

$$k = du/d\omega = m. \quad (3.25)$$

Недостатками тахогенераторов постоянного тока являются снижение надежности работы за счет наличия щеток в коллекто-

ре, влияние температуры на сопротивление обмоток и потому – на выходной сигнал.

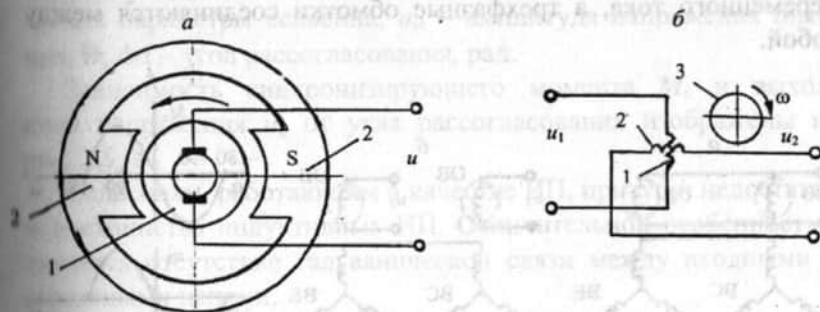


Рис. 3.10. Индукционные ИП: а – тахогенератор постоянного тока; б – тахогенератор переменного тока

Тахогенераторы *переменного* тока бывают асинхронными и синхронными и не имеют подвижных контактов. В статоре размещены две обмотки (рис. 3.10, б), расположенные под углом 90°. Обмотка возбуждения 1 питается от источника переменного тока напряжением  $u_1$ . Выходной сигнал  $u_2$  снимается с обмотки 2. Ротор 3 представляет собой алюминиевый цилиндр, вращающийся в неподвижном статоре. Когда ротор не вращается, выходное напряжение  $u_2$  равно нулю. В роторе, который вращается в магнитном поле, создаваемом обмоткой возбуждения, индуцируется ток. Возникает магнитный поток, пересекающий витки выходной обмотки 2, и наводит в ней переменную ЭДС. Выходной сигнал выражается зависимостью  $u_2 = m_1\omega u_1$ .

Таким образом, при постоянном значении напряжения, подводимого к обмотке возбуждения, выходное напряжение будет пропорционально угловой скорости ротора тахогенератора.

Сельсинный ИП (рис. 3.9) представляет собой два сельсина, каждый из которых имеет однофазную первичную и трехфазную вторичную обмотки. Трехфазные обмотки расположены одна относительно другой под углом 120° и называются обмотками синхронизации. Сельсины могут работать в дистанционном и трансформаторном режимах. В первом случае передающий сельсин называется сельсином-преобразователем (датчиком) ВС, приемный сельсин является сельсином-приемником ВЕ

(рис. 3.9, а). Первичные обмотки обоих сельсинов называются обмотками возбуждения (ОВ) и питаются от одного источника переменного тока, а трехфазные обмотки соединяются между собой.

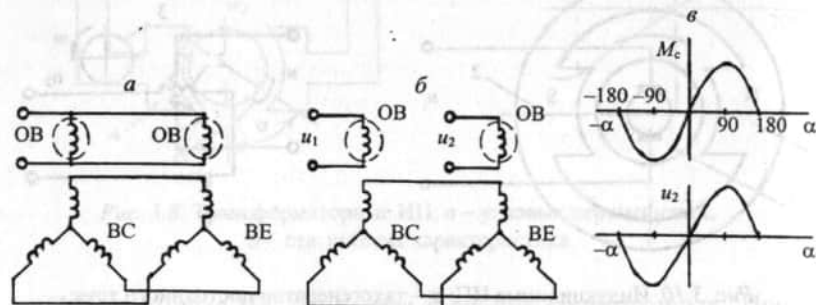


Рис. 3.9. Сельсинные ИП: а – режим дистанционной передачи угла; б – трансформаторный режим; в – статические характеристики

При согласованном положении обоих сельсинов их роторы будут неподвижны, т. е.  $\alpha_d = \alpha_n$ , так как в одинаковых фазах трехфазных обмоток ВС и ВЕ будут индуцироваться равные по значению ЭДС. Индуцируемые ЭДС уравниваются друг друга, так как обмотки синхронизации включены встречно.

При повороте ротора сельсина ВС на угол  $\alpha_d > \alpha_n$  в его обмотках синхронизации возникают токи, обусловленные углом рассогласования  $\Delta\alpha = \alpha_d - \alpha_n$ . В результате взаимодействия с магнитным полем обмотки возбуждения сельсина ВС возникшие токи создают вращающий синхронизирующий момент  $M_c$ , который повернет ротор сельсина ВЕ на угол  $\alpha_n = \alpha_d$ .

Точность дистанционной передачи угла поворота зависит от момента трения и нагрузки на валу ротора сельсина. Выпускаются сельсины с погрешностью, равной  $\pm 0,75, \pm 1,5, \pm 2,5^\circ$ .

Трансформаторный режим работы представляет собой подключение сельсинов по схеме согласно рис. 3.9, б. Первичная обмотка сельсина ВС подключается к трехфазному источнику переменного тока, а с однофазной обмотки сельсина ВЕ, который называется сельсином-трансформатором, снимается выходной сигнал в виде переменного напряжения

$$u_2 = k_c u_m \sin \Delta\alpha, \quad (3.23)$$

где  $k_c$  – коэффициент, учитывающий конструктивные и электрические параметры сельсина;  $u_m$  – амплитуда напряжения питания, В;  $\Delta\alpha$  – угол рассогласования, рад.

Зависимость синхронизирующего момента  $M_c$  и выходного напряжения  $u_2$  от угла рассогласования изображены на рис. 3.9, в.

Сельсином, работающим в качестве ИП, присущи недостатки и достоинства индуктивных ИП. Отличительной особенностью является отсутствие гальванической связи между входными и выходными цепями.

Емкостные ИП практически безынерционны и применяются для измерения быстро изменяющихся параметров (давления, вибрации, ускорения, уровня и некоторых других величин).

Емкостные ИП представляют собой конденсаторы различной конструкции, принцип действия которых основан на использовании зависимости электрической емкости конденсатора от площади пластин, взаимного расположения пластин и от диэлектрических свойств среды между пластинами. Указанные особенности функциональной зависимости между соответствующими параметрами конденсаторов определяют их конструктивное исполнение. ИП могут быть выполнены с изменяемым зазором между пластинами (рис. 3.11, а), с переменной активной площадью пластин (рис. 3.11, б), с двумя изменяемыми зазорами между подвижной и двумя неподвижными пластинами (рис. 3.11, в) или с изменением свойств контролируемой среды между пластинами. Конструктивное исполнение емкостного ИП определяет его статическую характеристику (рис. 3.11, а, б, в).

Известно, что для плоского ИП (рис. 3.11, а) емкость

$$C = \epsilon_0 \epsilon S / \delta, \quad (3.26)$$

где  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  – диэлектрическая проницаемость вакуума, Ф/м;  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды, находящейся между пластинами, Ф/м;  $S$  – активная площадь пластин, м<sup>2</sup>;  $\delta$  – зазор между пластинами, м.

В таких ИП контролируемым (входным) параметром может быть  $\epsilon$ ,  $S$  или  $\delta$ , а выходным сигналом является емкость.

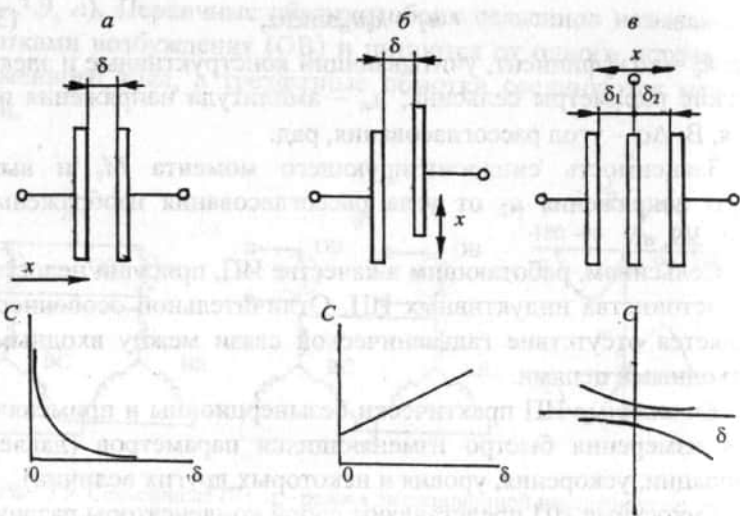


Рис. 3.11. Емкостные ИП с плоскими электродами: а – с изменяемым зазором; б – с изменяемой площадью; в – с двумя изменяемыми зазорами

Для емкостных ИП с плоскими электродами с изменяемым зазором  $\delta$  при постоянных значениях  $S$  и  $\epsilon$  чувствительность определяется по выражению

$$k = dC/d\delta = \epsilon_0 \epsilon S / \delta^2. \quad (3.27)$$

Для повышения точности измерения и увеличения чувствительности емкостных ИП используются дифференциальные схемы включения. Мощность выходного сигнала ИП мала, поэтому применяются усилительные устройства.

На результаты измерений (значение выходного сигнала) сильное влияние оказывают паразитные емкости, которые возникают между соединительными проводами и землей. Поэтому для них используются экранирующие элементы.

**Пьезоэлектрические ИП** применяются для контроля быстро изменяющихся во времени процессов и измерения их параметров: усилий, давлений, ориентации рабочих органов машин и т. п. Принцип действия их основан на использовании прямого пьезоэлектрического эффекта («пьеzo» в переводе с греческого «сжимаю»).

**Прямой пьезоэлектрический эффект** – это появление электрических зарядов на гранях кристаллов некоторых веществ (пьезоэлектриков) в результате действия механических усилий.

**Обратный пьезоэлектрический эффект** – это появление механических деформаций в кристаллах пьезоэлектриков под воздействием внешнего электрического поля.

В пьезоэлектриках, которыми являются кварц, сегнетовая соль, титанат бария и другие вещества, различают три оси (рис. 3.12, в): электрическую –  $x$ , механическую –  $y$  и оптическую –  $z$ . При действии механической силы на пластинку пьезоэлектрика вдоль осей  $x$  и  $y$  на ее поверхности возникают электрические заряды. При действии механической силы вдоль оси  $z$  пьезоэлектрика на его поверхности не появляются электрические заряды, т. е. в этом случае отсутствует прямой пьезоэффект.

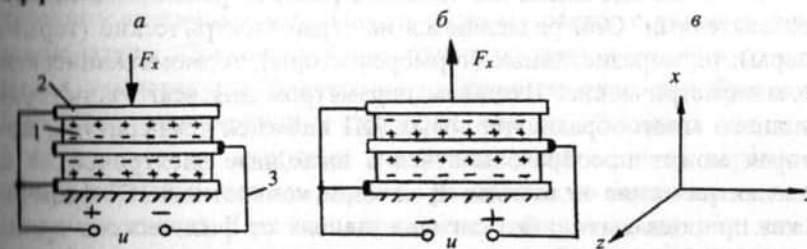


Рис. 3.12. Схема устройства пьезоэлектрических ИП (а, б) и система координат (в): 1 – пластинка пьезоэлектрика, 2 – контактная пластина; 3 – выводы

Конструктивно пьезоэлектрический ИП (рис. 3.12, а, б) представляет собой набор пластинок 1 из материала, обладающего пьезоэффектом. Между пластинками пьезоэлектриков располагаются контактные пластины 2, к которым припаяны выводы 3. Во время приложения механической силы  $F_x$  на поверхности пластинок 1 появляются электрические заряды. Суммарный заряд пропорционален действующей силе, т. е. заряд  $q = k_n F_x$ , где  $k_n$  – коэффициент пропорциональности, называемый пьезомодулем. Знак заряда отражает направление этой силы при сжатии или растяжении.

Напряжение на выводах ИП пропорционально действующей силе

$$u = k_n F_x / C, \quad (3.28)$$

где  $C$  – суммарная емкость ИП и соединительных проводов, Ф.

Чувствительность пьезоэлектрического ИП

$$k = du/dF_x = k_n / C. \quad (3.29)$$

Для повышения чувствительности ИП пластинки пьезоэлектриков соединяются последовательно, повышая тем самым суммарное напряжение.

Недостатками пьезоэлектрических ИП являются необходимость применения усилителей, хрупкость пьезоматериала, возможность измерения только динамических сил.

### 3.5. Тепловые измерительные преобразователи

Тепловые ИП являются наиболее распространенными преобразователями. Они разделяются на термоэлектрические (термопары), терморезистивные (терморезисторы), термомеханические и манометрические. Входным параметром для всего конструктивного многообразия тепловых ИП является температура, которая может преобразовываться в выходные электрические и неэлектрические величины. В каждом конкретном ИП физическая природа выходного сигнала зависит от физического принципа действия преобразователя.

Термоэлектрические ИП, часто называемые в литературе термопарами, преобразуют измеряемую температуру объектов систем автоматизации в термо-ЭДС. В основе принципа действия термопар лежит *термоэлектрический эффект*, который проявляется в термоэлектродах за счет разности температур на их концах. Различают металлические и полупроводниковые термопары.

Металлическая термопара (рис. 3.13, а) состоит из двух термоэлектродов 1 и 2, изготавливаемых из разнородных по составу проводников. Одни концы этих проводников сварены (спаяны) и называются горячим спаем, а два других, называемых холодными, служат выходом для подключения компенсационных проводов 3, 4 и милливольтметра к последним для измерения термо-ЭДС. Точка спая термоэлектродов помещается в область контролируемой среды.

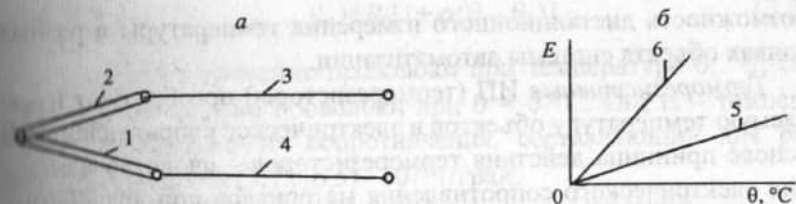


Рис. 3.13. Схема устройства металлической термопары (а) и статические характеристики (б) металлической (5) и полупроводниковой (6) термопар: 1, 2 – термоэлектроды; 3, 4 – компенсационные провода

При нагревании горячего (рабочего) спая на холодных концах термоэлектродов появляется термо-ЭДС, пропорциональная разности температур  $E = \alpha(\theta_r - \theta_x)$ , где  $\alpha$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от материала термоэлектродов термопары. Это объясняется тем, что энергия свободных электронов в различных металлах по-разному растет с увеличением температуры. Поскольку вдоль термоэлектродов существует перепад температуры, электроны на горячем спае приобретают более высокие энергии и скорости, чем на холодных концах. Благодаря этому возникает движение электронов от горячего спая к холодным концам, причем различное по интенсивности в разных металлах. При наличии замкнутой цепи движение электронов в термоэлектродах создает электрический ток. Возникновение термо-ЭДС позволяет называть термопару *преобразователем-генератором*.

Для изготовления термопар используются медь, копель, хромель, алюмель, платина, родий, золото. Иногда применяются сталь, никель, константан.

Все термопары обладают инерционностью. Постоянная времени термопар в зависимости от конструкции может быть от десятых долей секунды до нескольких сотен секунд.

Полупроводниковые термопары имеют значительно большую чувствительность по сравнению с металлическими. Так, для металлических термопар значения термо-ЭДС составляют в пределах 0,006...0,06 мВ/град, а для полупроводниковых – 0,1...1,0 мВ/град (рис. 3.13, б).

Для термопар характерны следующие показатели: высокая эксплуатационная надежность, высокая точность измерений,

возможность дистанционного измерения температуры в разных точках объекта системы автоматизации.

*Терморезистивные ИП* (терморезисторы) преобразуют измеряемую температуру объектов в электрическое сопротивление. В основе принципа действия терморезисторов – свойство изменения электрического сопротивления материалов под воздействием температуры. Различают металлические и полупроводниковые терморезисторы.

*Металлические терморезисторы* изготавливают из чистых металлов, отличающихся большим температурным коэффициентом электросопротивления (медь, платина).

Металлические терморезисторы в зависимости от назначения имеют разную конструкцию. Их чувствительный элемент изготавливается в виде нити, спирали, катушки и т. д. Наряду с чувствительным элементом в терморезисторе имеются и другие конструктивные элементы (рис. 3.14, а). Каркас, на котором располагается медная или платиновая проволока, выполняющая функции чувствительного элемента, закрывается защитным кожухом 1. Выводы проходят через основание, изготовленное из изоляционного материала.

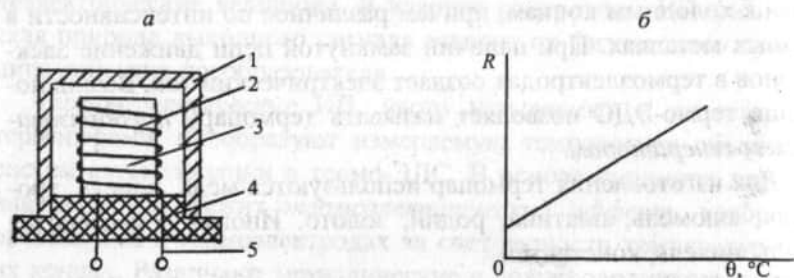


Рис. 3.14. Устройство металлического терморезистора (а) и статическая характеристика (б): 1 – кожух; 2 – чувствительный элемент; 3 – каркас; 4 – основание; 5 – выводы

У чистых металлов сопротивление монотонно возрастает с увеличением температуры и не имеет гистерезиса, а статическая характеристика (рис. 3.14, б) стабильна.

Сопротивление проволоки чувствительного элемента преобразователя зависит от температуры

$$R_{\theta} = R_0[1 + \alpha(\theta - \theta_0)], \quad (3.30)$$

где  $R_{\theta}$  – сопротивление проволоки при температуре  $\theta$ , °C, Ом;  $R_0$  – сопротивление проволоки при  $\theta = 0$  °C, Ом;  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления, составляющий для различных металлов  $(3,7 \dots 6,5) \cdot 10^{-3}$  1/град.

Чувствительность металлического терморезистора

$$k = dR_{\theta}/d\theta = R_0\alpha. \quad (3.31)$$

Металлические терморезисторы – самые точные и чувствительные ИП – позволяют измерять температуру с точностью до 0,001 °C.

Основные недостатки металлических терморезисторов: большие размеры чувствительного элемента, которые не позволяют использовать их для измерения температуры в малых объемах; значительная инерционность (постоянная времени до нескольких минут); необходимость в дополнительном источнике электрической энергии.

*Полупроводниковые терморезисторы* (термисторы и позисторы) изготавливаются из порошковой смеси окислов некоторых металлов (марганца, меди, кобальта, никеля и др.), спрессованной и спеченной при высокой температуре. Образующиеся оксиды, карбиды, сульфиды используются для изготовления термисторов и позисторов.

*Термистор* – это полупроводниковый терморезистор, сопротивление которого уменьшается с ростом температуры.

*Позистор* – это полупроводниковый терморезистор, сопротивление которого увеличивается с ростом температуры.

Конструктивно полупроводниковые терморезисторы (рис. 3.15, а, б, в) представляют собой шарик, трубку или диск из полупроводникового материала с металлическими выводами. Для защиты от действия влаги терморезисторы покрываются слоем лака или стекла, а иногда их помещают в закрытые стеклянные баллоны.

Зависимость сопротивления термистора от температуры характеризуется графиком 1 на рис. 3.15, г и описывается уравнением

$$R_{\theta} = R_0 e^{B/T}, \quad (3.32)$$

где  $B$  — постоянный коэффициент, характеризующий термочувствительность термистора;  $T$  — температура, К.

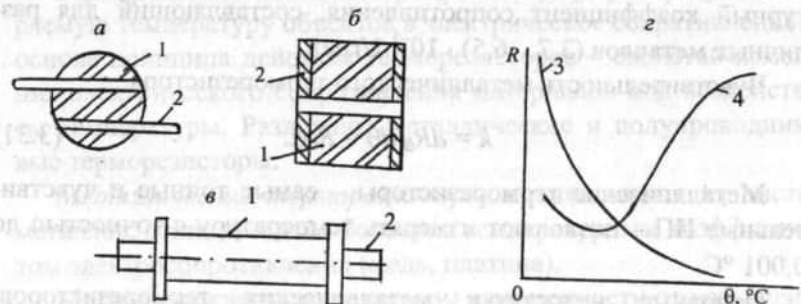


Рис. 3.15. Устройство полупроводниковых терморезисторов (а, б, в): 1 — полупроводниковый материал; 2 — выводы; г — их статические характеристики: 3 — термистора; 4 — позистора

Чувствительность термистора

$$k = dR_{\theta}/dT = (-B/T^2)R_0. \quad (3.33)$$

Термисторы и позисторы применяются в системах автоматизации для контроля температуры различных объектов, а также в системах тепловой защиты и противопожарной сигнализации. Вследствие нелинейности статических характеристик термисторы и позисторы можно применять в относительно узких интервалах изменения температуры. Чувствительность полупроводниковых терморезисторов значительно выше чувствительности металлических.

Удельное сопротивление полупроводниковых материалов очень велико. Поэтому полупроводниковые терморезисторы даже при очень малых размерах имеют большое сопротивление, что исключает влияние колебаний температуры на сопротивление проводов, соединяющих терморезисторы с элементами измерительной схемы.

Недостатки полупроводниковых терморезисторов: небольшой рабочий диапазон температуры, значительная нелинейность статических характеристик и значительный (до 20 %) разброс по значению сопротивления между однотипными экземплярами.

В манометрических ИП тепловое изменение объема жидкости или газа (ртуть, ацетон, эфир, спирт, азот, инертные газы, различные смеси) преобразуется в перемещение специальных мембран, сифонов или манометрических трубок (рис. 3.16). Термопреобразователи состоят из термобаллона, который соединен капиллярной трубкой с промежуточными элементами, представляющими собой мембрану, сифон или пружинную трубку. Промежуточные элементы соединены с указательной стрелкой, на которой расположены подвижные контакты и которая движется по температурной шкале, замыкая соответствующие контакты при достижении заданных значений температуры.

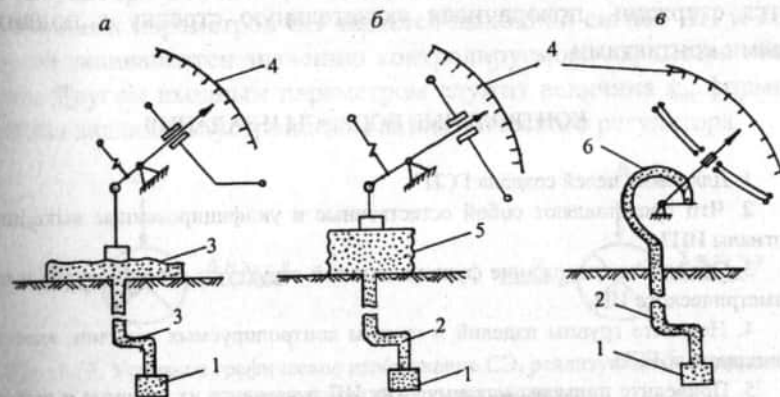


Рис. 3.16. Манометрические ИП: 1 — термобаллон; 2 — капиллярная трубка; 3 — мембрана; 4 — шкала; 5 — сифон; 6 — пружинная трубка

Существенными недостатками рассматриваемых термопреобразователей является значительная инерционность, погрешность до 1...2,5 % и ограниченный диапазон измерения температуры, обусловленный параметрами рабочего тела (жидкости или газа).

К термомеханическим ИП относятся биметаллические и dilatометрические реле температуры, в основу действия которых положено свойство твердых тел изменять свои линейные размеры при изменении температуры.

У биметаллических термореле воспринимающим органом служит биметаллическая, т. е. двойная, выполненная из двух разных металлов, спираль. Пластины спирали при нагреве удлиняются неодинаково, поэтому они изгибаются в сторону металла с меньшим коэффициентом теплового расширения, и при достижении заданной температуры замыкаются контакты.

Дилатометрический преобразователь представляет собой стержень и трубку с разными коэффициентами теплового расширения, соединенные между собой жестко. К свободному концу стержня крепится указательная стрелка. При изменении температуры изменяется длина трубки и в связи с этим, перемещается стержень, поворачивая указательную стрелку с подвижными контактами

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Для каких целей создана ГСП?
2. Что представляют собой естественные и унифицированные выходные сигналы ИП?
3. Объясните содержание функциональной структуры генераторного и параметрического ИП.
4. Назовите группы изделий и группы контролируемых величин, классифицируемых ГСП.
5. Приведите примеры механических ИП и назовите их входные и выходные параметры.
6. Назовите признаки разделения электромеханических ИП.
7. Назовите виды тензометрических ИП и охарактеризуйте их.
8. Что представляет собой индуктивный дифференциальный ИП и чем он отличается от простейшего?
9. Объясните физические преобразования входного параметра в выходной в магнитоупругом ИП.
10. Приведите примеры индукционных и емкостных ИП.
11. Объясните устройство и принцип действия пьезоэлектрического ИП.
12. Приведите примеры тепловых ИП, объясните их устройство и принцип действия.
13. Назовите основной параметр, который является общим для всех рассмотренных ИП.

### 3.6. Сравнивающие устройства

#### 3.6.1. Назначение и классификация сравнивающих устройств

Сравнивающим элементом в системах автоматизации называется устройство, которое определяет знак и значение рассогласования (определяет ошибку выходного сигнала ИП) между заданным параметром и его действительным значением.

В отличие от ИП сравнивающий элемент (СЭ) изображается в структурных схемах систем автоматизации в виде окружности с секторами (рис. 3.17). В структуре построения автоматического регулятора СЭ, как правило, располагается после ИП. Одним из входных параметров СЭ является выходной сигнал ИП  $y$ , который эквивалентен значению контролируемого параметра объекта. Другим входным параметром служит величина  $x_0$ , формируемая задающим устройством автоматического регулятора.



Рис. 3.17. Условное графическое изображение СЭ, реализующих операции: а – вычитания; б – суммирования

Обязательным условием является подача на вход СЭ двух параметров, имеющих одинаковую физическую природу, что позволяет выполнять операцию сравнения их количественных значений. В большинстве случаев СЭ выполняет математическую операцию вычитания и изображается в виде окружности с секторами, один из которых заштриховывается (рис. 3.17, а). Сравнивающий элемент может выполнять операцию суммирования, что встречается крайне редко в системах автоматизации и условно изображается в виде окружности с секторами (рис. 3.17, б).

В некоторых случаях входных параметров в СЭ может быть и более двух (например, в системах автоматизации с корректирующим устройством, которое обеспечивает местную обратную

связь (параграф 2.3)). В параграфе 2.3 рассматривается система автоматизации, имеющая СЭ в виде измерительного моста, на вход которого поступают три параметра одной физической природы (рис. 2.6).

В зависимости от физической природы входных сигналов и конструкции различают потенциометрические, трансформаторные, механические, емкостные, сельсинные, пневматические и гидравлические сравнивающие устройства.

### 3.6.2. Виды сравнивающих устройств

В качестве *потенциометрического* сравнивающего устройства весьма широко применяются в системах автоматизации измерительные мосты постоянного и переменного тока.

Примером может служить простой измерительный мост постоянного тока (рис. 3.18), в котором резисторы  $R_2$  являются ИП, т. е. каждый из них может использоваться для измерения соответствующего параметра объекта. Один из резисторов  $R_2$  является терморезистором, который измеряет температуру, а второй – потенциометрическим ИП (потенциометром), измеряющим механический контролируемый параметр, например перемещение. Потенциометр  $R_3$  применяется для установления равновесия моста, а резисторы  $R_1$  и  $R_4$ , имеющие постоянное сопротивление, являются плечами этого четырехплечего моста.

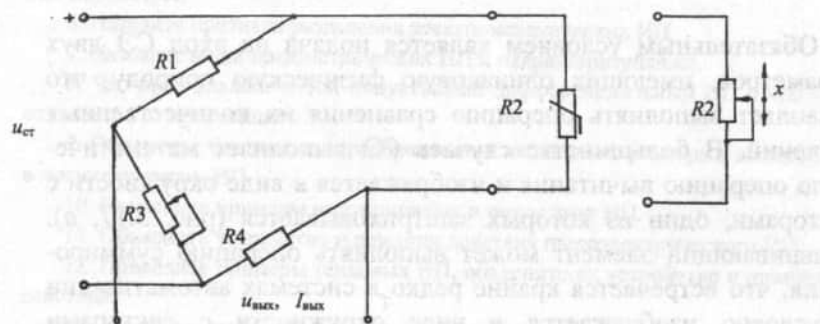


Рис. 3.18. Потенциометрический СЭ

Измерительный мост может находиться в равновесном или неравновесном состоянии. Равновесное состояние моста выра-

жается математической зависимостью  $R_2R_3 = R_1R_4$  и соответствует заданному режиму работы объекта управления. Основное свойство равновесного моста – отсутствие электрического сигнала в его выходной диагонали при любом значении стабилизированного напряжения источника питания. Значение контролируемого параметра объекта соответствует его заданному значению, т. е.  $x = x_0$ . Автоматический регулятор находится в состоянии покоя и не вырабатывает управляющего воздействия  $u(t)$ .

Отклонение контролируемого параметра от заданного значения в ту или иную сторону нарушает равновесие измерительного моста, что выражается неравенством  $R_2R_3 \neq R_1R_4$ . В его выходной диагонали появляется электрический сигнал определенной полярности и нарушается состояние покоя автоматического регулятора. Появившийся сигнал проходит по непрерывной цепи, образуемой элементами функциональной структуры автоматического регулятора, и вырабатывается управляющее воздействие  $u(t)$ , которое нейтрализует отклонение контролируемого параметра объекта.

Однако управляющее воздействие  $u(t)$  вырабатывается автоматическим регулятором не при каждом отклонении контролируемого параметра от заданного значения. В случае малого отклонения, сопоставимого с чувствительностью автоматического регулятора, в системе автоматизации, как правило, не появляется управляющее воздействие. Оно вырабатывается только при отклонении, превышающем чувствительность автоматического регулятора, иначе говоря, оно должно быть больше ошибки автоматического регулятора.

Входными параметрами сравнивающего устройства является электрическое сопротивление  $R_2$ , вызванное изменением значения регулируемого параметра, и сопротивление  $R_3$ , соответствующее заданному значению регулируемого параметра объекта. Потенциометр  $R_3$  выполняет функции задающего элемента. В данном случае сравнивающий и задающий элементы совмещаются в одном устройстве, название которому – измерительный мост.

*Трансформаторные* СЭ представляют собой трансформатор с двумя первичными обмотками (рис. 3.19). В основе принципа

действия такого сравнивающего устройства – закон электромагнитной индукции. При изменении одного из двух входных напряжений или одновременно двух входных напряжений изменяется магнитное состояние трансформатора и соответственно индуцируемая ЭДС взаимоиндукции во вторичной обмотке (выходной цепи).

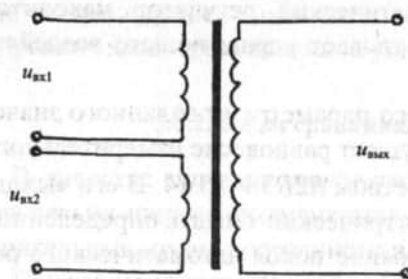


Рис. 3.19. Трансформаторный СЭ

Емкостное сравнивающее устройство (рис. 3.20) представляет собой измерительный мост переменного тока, элементами (плечами) которого являются конденсаторы. Два из них,  $C3$  и  $C4$ , имеют постоянную емкость, а два других,  $C1$  и  $C2$ , выполнены конструктивно так, что относительно двух крайних неподвижных пластин может перемещаться средняя пластина. Средняя, подвижная, пластина совместно с неподвижными выполняет функции ИП (рис. 3.11, с). При ее перемещении относительно двух крайних пластин изменяются электрофизические свойства, и прежде всего емкости  $C1$  и  $C2$  этих конденсаторов. В результате этого изменяются полное сопротивление  $Z1$  и  $Z2$  конденсаторов  $C1$  и  $C2$ , от значений которых зависит состояние измерительного моста.

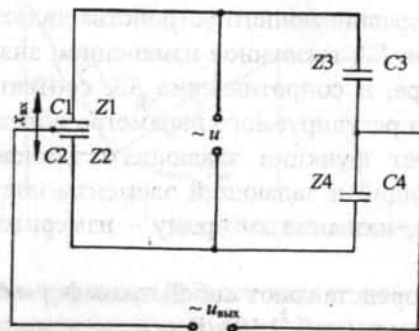


Рис. 3.20. Емкостный СЭ

Его равновесное состояние, выражаемое зависимостью  $Z1Z4 = Z2Z3$ , соответствует в системе автоматизации заданному режиму работы объекта управления.

Свойства емкостного СЭ аналогичны свойствам рассмотренного потенциометрического СЭ, так как оба представляют собой четырехплечий измерительный мост. Отличительной особенностью емкостного СЭ является то, что устройство питается от источника переменного тока.

Механический СЭ – рычажное устройство (рис. 3.21), которое может выполнять математическую операцию сложения или вычитания.

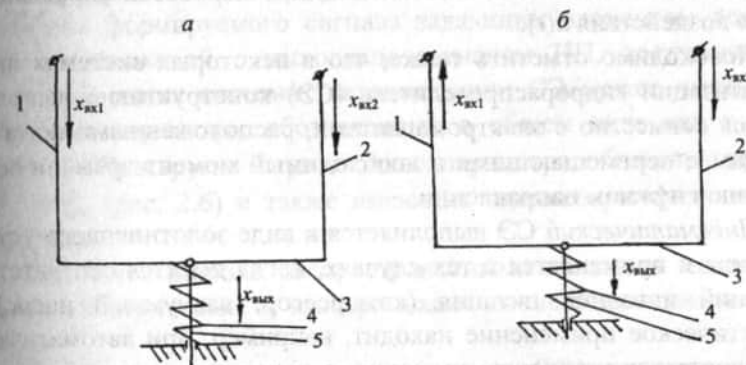


Рис. 3.21. Механические СЭ: 1, 2, 5 – стержни; 3 – рычаг; 4 – пружина

Механическое сравнивающее устройство состоит из стержней и рычага с пружиной. При действии входных механических параметров (усилий, перемещений, давлений) на стержни 1 и 2 в одном направлении (рис. 3.21, а) стержень 5 перемещается в том же направлении, и значение выходного параметра зависит от суммарного действия входных параметров, т. е.  $x_{вых} = x_{вх1} + x_{вх2}$ . Если входные параметры  $x_{вх1}$  и  $x_{вх2}$  имеют противоположное направление (рис. 3.21, б), то значение выходного параметра зависит от разности значений входных параметров, т. е.  $x_{вых} = x_{вх1} - x_{вх2}$ .

Сельсинное сравнивающее устройство (рис. 3.9, б) представляет собой два сельсина, включенных по схеме в трансформаторном режиме. Применяется такое устройство для измерения угла рассогласования, например двух валов, расположенных на некотором расстоянии друг от друга.

Гидравлический СЭ – золотниковое устройство, т. е. гидрораспределитель – изучается в специальных дисциплинах «Трак-

торы», «Сельскохозяйственные машины», «Мелиоративные и строительные машины».

Золотник гидрораспределителя, находящийся в нейтральном положении, соответствует заданному режиму работы объекта управления. Отклонение золотника от нейтрального положения обусловлено тем, что режим работы объекта управления не соответствует заданному. Это является определяющим для появления сигнала в системе автоматизации и выработки управляющего воздействия  $u(t)$ .

Необходимо отметить также, что в некоторых системах автоматизации гидрораспределитель (СЭ) конструктивно выполняется совместно с электромагнитами, расположенными по его торцам и перемещающими в необходимый момент времени золотник в нужном направлении.

*Пневматический СЭ* выполняется в виде золотникового устройства и применяется в тех случаях, когда имеется соответствующий источник питания (компрессор, вакуумный насос). Практическое применение находит, например, при автоматизации доильных установок, имеющих в качестве источника питания вакуумный насос.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ.

1. Дайте определение и классификацию СЭ.
2. Объясните функциональную сущность и свойства СЭ.
3. Раскройте содержание и характерные особенности каждого СЭ.

### 3.7. Задающие устройства

*Задающее устройство (задатчик)* – это элемент системы автоматизации, с помощью которого устанавливается требуемое значение либо закон (программа) изменения регулируемого параметра.

Задающие устройства являются весьма важными элементами в системах автоматизации, так как с их помощью задается необходимый режим работы объектов управления.

Требования к задающим устройствам заключаются в следующем. Прежде всего, простота конструкции, несложность и

возможность быстрого задания (установления) значения контролируемого параметра или его закона (программы). Наряду с этим задающий элемент должен обеспечивать необходимую точность формирования значения заданного параметра или закона (программы) его изменения.

Задающее устройство формирует задающее воздействие и преобразует его в однозначно соответствующий физический параметр, удобный для сравнения. Это означает, что физическая природа формируемого сигнала задающим элементом должна быть одинаковой с выходным сигналом ИП, поступающего в СЭ. В одних системах автоматизации СЭ может иметь два входных параметра, обозначенных в общем виде как  $x_0$  и  $y$  (рис. 3.17), в других – три входных параметра, обозначенных  $R_0$ ,  $R_0$ ,  $\Delta R_{oc}$  (рис. 2.6) и также имеющих одинаковую физическую природу.

Наиболее широко распространенными являются механические, электрические и электромеханические задающие устройства.

К механическим задающим элементам (ЗЭ) относятся кулачковые механизмы, перфокарты, киноплёнки, пружины, грузы, шаблоны, винты, поводки и другие устройства. Конструктивное исполнение кулачковых механизмов, перфокарт, киноплёнок позволяет разрабатывать необходимые программы, согласно которым обеспечивается режим работы различных объектов. При помощи пружин, шаблонов, грузов, винтов, поводков и т. п. задаются значения регулируемых параметров.

*Электрическими ЗЭ* являются потенциометры, конденсаторы переменной емкости, резисторы переменного сопротивления, эталонные источники тока и напряжения, катушки индуктивности с подвижным сердечником и некоторые другие.

К *электромеханическим ЗЭ* относятся программные реле времени и путевые переключатели. Вначале в системах автоматизации широко использовались реле времени типа 2РВМ и командный прибор КЭП-12У, в которых применялись электротехнические и механические элементы с синхронным электродвигателем. Затем их сменили бесконтактные устройства, разработанные на основе полупроводниковых элементов и используемые в современных системах автоматизации. Примером может слу-

жить бесконтактное реле времени ВЛ-58УХЛ4, используемое в системе автоматизации теплогенераторов (параграф 11.2).

Электромеханическим ЗЭ является, например, устройство (рис. 3.22), включающее источник света, перфорированную ленту и фоторезистор.

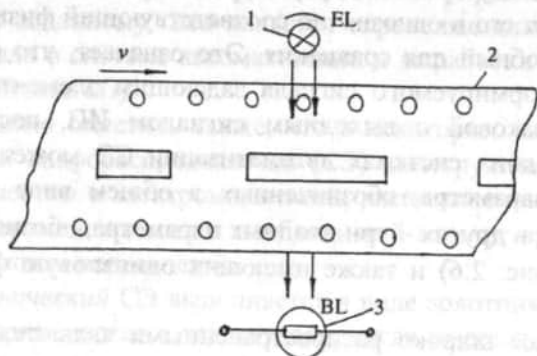


Рис. 3.22. Электромеханическое задающее устройство: 1 – источник света; 2 – перфорированная лента; 3 – фоторезистор

Начало включения и отключения фоторезистора, находящегося в соответствующей цепи управления системы автоматизации, определяется длиной прямоугольных отверстий, расстоянием между ними и скоростью движения ленты. При попадании светового потока на фоторезистор его сопротивление снижается до минимального значения и по цепи управления протекает ток. Появление электрического сигнала в цепи управления обеспечивает в дальнейшем выработку автоматическим регулятором необходимого управляющего воздействия  $u(t)$ .

На структурных схемах систем автоматизации задающие устройства принято изображать в виде прямоугольника с указанием физической природы выходного сигнала и буквенным обозначением ЗЭ (рис. 2.6).

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ.

1. Что называется ЗЭ и на какие виды они разделяются?
2. Объясните функциональную сущность ЗЭ в системах автоматизации.
3. Приведите примеры задающих устройств каждого вида.
4. Какие требования предъявляются к ЗЭ?

## Глава 4. УПРАВЛЯЮЩИЕ И КОРРЕКТИРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Управляющие и корректирующие устройства систем автоматизации выполняют функции формирования как по мощности, так и по физической природе сигналов управления, обеспечивающих включение в работу исполнительных механизмов. В целях формирования управляющих сигналов могут использоваться операции их усиления, хранения, передачи и дальнейшего преобразования согласно принятому алгоритму управления.

Исполнительные механизмы работают в системах автоматизации на основе действия командной информации, которая формируется в виде управляющего сигнала определенной мощности. Такой сигнал подается в исполнительный механизм, который воздействует через регулирующий орган на объект управления.

Нередко для автоматического управления несложными объектами применяются сравнительно простые управляющие элементы в виде усилителей, реле, логических устройств, формирующие П-, И- и релейный алгоритмы управления. Для реализации ПИ- и ПИД-алгоритмов управления дополнительно применяются в усилителях различные корректирующие элементы, например резисторы и конденсаторы, выполняющие функции обратной связи (параграфы 4.2 и 4.4). Иногда корректирующие элементы не входят в состав некоторых функциональных элементов усилителей, а используются в виде отдельных корректирующих устройств в системах автоматизации (параграф 2.3).

Реализация более сложных алгоритмов функционирования объектов (оптимальное управление, самоприспособление, поиск экстремума показателя качества и др.), выполнение взаимосвязанного управления нескольких контролируемых параметров объекта, логических операций при пуске и остановке объекта и т. п., требует применения более сложных управляющих устройств. Такими устройствами являются микроконтроллеры и микропроцессорные системы, выполняемые в виде больших интегральных схем (БИС). В настоящее время эффективно также применение управляющих вычислительных комплексов (УВК).

Управление более сложными и относительно несложными объектами, как правило, не обходится без использования усилительных устройств.

#### 4.1. Общие сведения об усилителях и их классификация

Информационно-измерительные устройства (ИП, СЭ, ЗЭ) обеспечивают формирование определенной физической природы выходного сигнала, на основании которого должен включаться в работу исполнительный механизм, приводящий в действие регулирующий орган. Иначе говоря, автоматический регулятор должен выработать необходимое управляющее воздействие  $u(t)$ . Однако мощность выходного сигнала информационно-измерительных устройств, как правило, незначительная, и ее недостаточно для включения в работу исполнительного механизма. Для повышения мощности таких сигналов используются различные усилительные устройства.

*Усилителем* называется устройство, которое, не изменяя физической природы входного сигнала, увеличивает его за счет энергии источника питания.

Усилители характеризуются выходной мощностью, видом энергии источника питания, коэффициентом усиления, принципом действия, формой характеристик и рядом иных признаков (параметров).

Усилительные устройства разделяются по виду энергии источника питания на электрические, гидравлические и пневматические. Электрические усилители, в свою очередь, разделяются на электромеханические, магнитные, электронные, ламповые и полупроводниковые.

К *электромеханическим* усилителям относятся электромагнитные реле, пускатели и контакторы, а также электромашинные усилители. Устройство и принцип действия, а также характеристики и другие параметры этих усилительных устройств изучаются в дисциплине «Электрооборудование сельскохозяйственного производства».

С точки зрения автоматизации, необходимо раскрыть сущность усиления входного сигнала указанными устройствами. Общим по функциональной значимости для них является то, что

конструктивно каждое из устройств имеет обмотку(и) с магнитопроводом. В обмотку реле, пускателя или контактора поступает электрический сигнал в виде незначительного тока, создающего магнитный поток, за счет которого каждое из этих устройств срабатывает. В результате замыкаются их силовые контакты, которые могут пропускать электрический ток, по значению, многократно превышающему его входное значение, а также работать при значительно большем напряжении, чем входное. Следовательно, электромагнитные реле, магнитные пускатели и контакторы могут усиливать входной сигнал как по току, так и по напряжению, т. е. по каждому из этих параметров или по обоим одновременно.

*Электромашиный* усилитель представляет собой генератор постоянного тока, в котором входной электрический сигнал, поступающий в обмотку управления, усиливается за счет источника механической энергии, подводимой к валу усилителя от приводного электродвигателя. Усилители имеют мощность до 100 кВт, коэффициент усиления по мощности порядка  $10^4$  и сравнительно малую инерционность.

*Гидравлические и пневматические* усилители, которыми являются широко распространенные устройства в виде гидроцилиндров, а также различные по конструкции пневмокамеры, изучаются в дисциплинах «Сельскохозяйственные машины», «Механизация животноводства». Источниками питания гидравлических усилителей являются гидронасосы, а пневматических – вакуумные насосы или компрессоры.

Коэффициент усиления таких усилителей может достигать  $10^4 \dots 10^5$ , они не боятся тряски и вибраций, относительно просты по устройству, обладают высоким быстродействием и позволяют получать на выходе мощность до 100 кВт. Кроме того, пневматические усилители взрывобезопасны. К их недостаткам следует отнести необходимость промежуточного источника энергии для создания давления в гидро- или пневмосистеме, эксплуатационные неудобства, характерные для герметизированных систем, а также влияние изменения вязкости рабочей жидкости или влажности воздуха в системе на характеристики усилителя.

Необходимо отметить, что гидроцилиндры и пневмокамеры, выполняющие функции усилителя, могут также использоваться

в системах автоматизации в качестве исполнительных или регулирующих элементов. Их принадлежность к конкретному элементу функциональной структуры автоматического регулятора определяется назначением, устройством и принципом действия системы автоматизации.

К усилителю предъявляются следующие основные требования: он должен иметь требуемый коэффициент усиления (передачи) по мощности или другим параметрам; постоянная времени, характеризующая его быстродействие, должна быть малой по сравнению с таким же показателем других элементов автоматического регулятора; статическая характеристика усилителя в рабочей зоне изменения входного и выходного параметров должна быть линейной; порог чувствительности усилителя должен быть минимальным и не превышать допустимого значения.

По виду статической характеристики, отражающей зависимость между выходным и входным параметрами, усилители подразделяются на линейные и нелинейные. Обычно предпочтительнее линейная характеристика, являющаяся наиболее простой.

Одним из основных показателей усилителя является коэффициент усиления. В электрических усилителях различают усиление входного сигнала по мощности, напряжению и току, что количественно определяется значением коэффициента усиления, которое представляет собой отношение выходного параметра усилителя к его входному значению. Так, коэффициент усиления по мощности  $k_p = P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}$ , по току —  $k_I = I_{\text{вых}}/I_{\text{вх}}$  и по напряжению —  $k_u = u_{\text{вых}}/u_{\text{вх}}$ , где  $P_{\text{вых}}$ ,  $I_{\text{вых}}$ ,  $u_{\text{вых}}$  — выходные значения мощности, тока, напряжения;  $P_{\text{вх}}$ ,  $I_{\text{вх}}$ ,  $u_{\text{вх}}$  — входные значения мощности, тока и напряжения.

В других видах усилителей усиливаются входные параметры иной физической природы, например усилие, давление, перемещение и т. д.

#### 4.2. Усилители на транзисторах

Полупроводниковый усилитель — это устройство, которое состоит из транзистора, являющегося основным активным усиливающим элементом, а также из резисторов, конденсаторов и источника питания постоянного тока.

Усиливающий элемент совместно с резисторами, конденсаторами и другими элементами схемы называется усилительным каскадом. В случае недостаточного усиления одним каскадом применяется последовательное соединение нескольких каскадов. В связи с этим принято различать одно- и многокаскадные усилители.

Усилительные каскады без последнего каскада выполняют роль предварительного усиления и обеспечивают работу последнего каскада, который называется выходным (окончательным). Первый каскад, в который поступает усиливаемый сигнал, называется входным.

Коэффициент усиления транзисторных усилителей на один каскад имеет следующие значения:  $k_p = 10^2 \dots 10^4$ ,  $k_I \leq 100$ ,  $k_u \leq 100$ . Максимальная выходная мощность достигает 10 кВт при КПД, равном 96...98 %.

По способу включения транзистора усилители разделяются на три основных вида: с общим эмиттером, с общей базой, с общим коллектором. В схемах этих усилителей один из электродов является общей точкой входа и выхода каскада усиливаемого сигнала.

Схема усилителя с *общим эмиттером* (рис. 4.1, а) является наиболее распространенной, так как такой усилитель дает наибольшее усиление по мощности. Входной переменный сигнал усиливается по току и напряжению. Коэффициент усиления каскада по мощности может быть равным сотням, тысячам и даже десяткам тысяч. Коэффициент усиления по току составляет десятки единиц, а по напряжению — десятки и сотни.

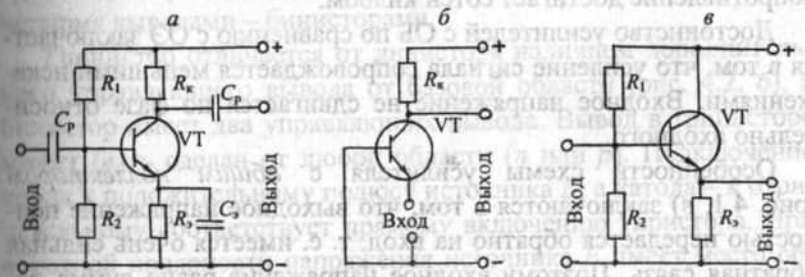


Рис. 4.1. Схема усилительных каскадов на транзисторах: а — с общим эмиттером; б — с общей базой; в — с общим коллектором

Усилитель обладает сравнительно большим входным сопротивлением, которое по закону Ома  $R_{вх} = u_{вх}/I_{вх} = u_{бэ}/I_б$  и составляет от сотен ом до единиц килоом ( $u_{бэ}$  – напряжение эмиттерного перехода;  $I_б$  – ток базы). Выходное напряжение сдвигается по фазе относительно входного на  $180^\circ$ . Резистор  $R_3$  создает отрицательную обратную связь по постоянному току и стабилизирует рабочий режим усилителя.

Недостатками усилительного каскада по сравнению со схемой с общей базой являются худшие частотные и температурные свойства. С повышением частоты усиление входного сигнала снижается в значительно большей степени, нежели в схеме с общей базой. Режим работы усилителя по схеме с общим эмиттером сильно зависит от температуры.

Схема усилителя с *общей базой* (рис. 4.1, б) дает значительно меньшее усиление по мощности и имеет еще меньшее входное сопротивление, чем схема усилителя с общим эмиттером. Несмотря на эти недостатки, усилитель с общей базой по своим частотным и температурным свойствам значительно лучше схемы с общим эмиттером.

Коэффициент усиления по току меньше единицы, а по напряжению получается таким же, как и в схеме с общим эмиттером, т. е. равным десяткам или сотням.

Входное сопротивление  $R_{вх} = u_{бэ}/I_б$  получается в десятки раз меньше, чем в схеме с ОЭ. Входное сопротивление для схемы с ОБ составляет всего лишь десятки, а у более мощных транзисторов – даже единицы Ом. Такое малое сопротивление является существенным недостатком усилителей с ОБ. Выходное сопротивление достигает сотен килоом.

Достоинство усилителей с ОБ по сравнению с ОЭ заключается в том, что усиление сигнала сопровождается меньшими искажениями. Входное напряжение не сдвигается по фазе относительно входного.

Особенности схемы усилителя с *общим коллектором* (рис. 4.1, в) заключаются в том, что выходное напряжение полностью передается обратно на вход, т. е. имеется очень сильная обратная связь. Поэтому входное напряжение равно сумме переменного напряжения база – эмиттер  $u_{бэ}$  и выходного напряжения, т. е.  $u_{вх} = u_{бэ} + u_{вых}$ .

Коэффициент усиления по току такой же, как в схеме с ОЭ, т. е. равен нескольким десяткам. Коэффициент усиления по напряжению близок к единице, но всегда меньше ее. Коэффициент усиления по мощности примерно равен коэффициенту усиления по току, т. е. нескольким десяткам.

Выходное напряжение не сдвигается по фазе относительно входного.

Входное сопротивление усилительного каскада с ОК составляет десятки килоом, что является важным достоинством этой схемы.

### 4.3. Тиристорные усилители

В тиристорном усилителе активным элементом, вырабатывающим управляющий сигнал, является тиристор.

Тиристоры – это переключающие полупроводниковые приборы. Их название происходит от греческого слова *thera* («тира»), означающего «дверь», «вход».

*Тиристором* называется полупроводниковый прибор с двумя устойчивыми состояниями, который имеет три и более электронно-дырочных перехода и может переключаться из закрытого (выключенного) состояния в открытое (включенное) и наоборот. Тиристоры выпускаются на токи от 1 мА до 10 кА и напряжения от нескольких В до нескольких кВ. Применяются преимущественно в силовых устройствах преобразовательной техники и в автоматике.

Тиристоры с двумя выводами называются динисторами (диодными), с тремя выводами – тринисторами (триодными), а с четырьмя выводами – бинисторами.

Тринистор отличается от динистора наличием дополнительного управляющего вывода от базовой области (рис. 4.2, б), а бинистор имеет два управляющих вывода. Вывод в тринисторе может быть сделан от любой области (*n* или *p*). Подключение анода к положительному полюсу источника  $E$ , а катода – к отрицательному соответствует прямому включению тиристора. При обратной полярности напряжения источника  $E$  имеет место обратное включение, и через тиристор протекает небольшой обратный ток.

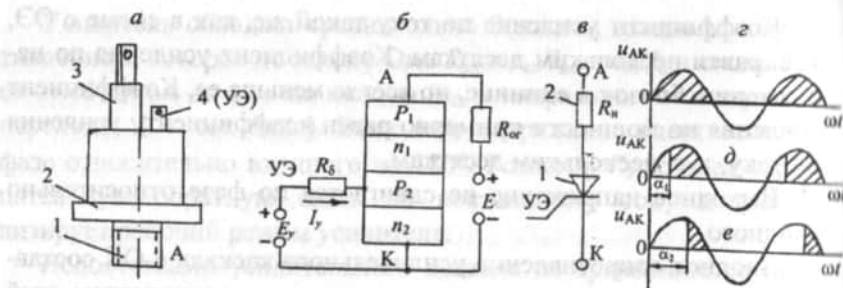


Рис. 4.2. Устройство (а) и структура (б) тиристора, схема усилителя (в) и графики напряжения (z, д, е): 1 – анодный вывод; 2 – основание; 3 – катодный вывод; 4 – управляющий вывод

При достаточном значении напряжения источника  $E$ , приложенного между анодом и катодом, подача импульса прямого напряжения источника  $E_y$  через катод и вывод управляющего электрода УЭ на эмиттерный  $n_2 - p_2$ -переход переводит тиристор в открытое состояние. Его сопротивление весьма быстро уменьшается до минимального значения, и ток в цепи тиристора резко увеличивается. Происходит так называемый тепловой пробой, при котором выделяющаяся в слое полупроводника теплота оказывается достаточной для возбуждения валентных электронов в атомах полупроводника и превращения их в электроны проводимости. Это означает, что электроны атомов полупроводника переходят лавинообразно из валентной зоны в зону проводимости.

Бинистор открывается в результате одновременной подачи тока управления в обе базы тиристора (в оба управляющих вывода).

Перевод тиристорov в закрытое (выключенное) состояние может осуществляться разрывом цепи питания или подачей на анод обратного запирающего напряжения. Тиристоры и бинисторы могут выключаться также подачей импульсов в управляющие выводы запирающей (обратной) полярности.

Пятислойный тиристор может работать при любых полярностях приложенного к аноду напряжения (его вольт-амперная характеристика симметричная) и называется симистором (симметричным тиристором). Симисторы широко применяются для стабилизации и регулирования переменного тока в значительных пределах.

Рассмотренные тиристоры называются незапираемыми. Существуют также запираемые тиристоры, которые из открытого состояния в закрытое могут быть переведены изменением тока управляющего электрода. Они отличаются от незапираемых конструкцией.

По сравнению с биполярными транзисторами тиристоры могут обеспечить больший коэффициент усиления по току включения, имеют больший ток и одновременно большее напряжение, что позволяет получить хорошие характеристики мощных устройств. Тиристоры позволяют получить высокий КПД преобразования энергии, обладают высокой надежностью и долговечностью, имеют малые габариты, просты в эксплуатации.

Тиристоры широко применяются в устройствах автоматизации, телемеханики, вычислительной техники, электроприводах, в качестве бесконтактных переключателей, в стабилизаторах напряжения и т. д.

Принципиальная электрическая схема силовой части усилителя (рис. 4.2, в) имеет в своем составе тиристор 1 и нагрузку 2. Работа усилителя характеризуется тем, что тиристор может находиться только в двух состояниях: закрытом и открытом. В закрытом состоянии тиристор имеет высокое сопротивление и через него протекает малый ток, в открытом состоянии сопротивление тиристора мало и через него протекает большой ток.

Ввиду высокой интенсивности развития лавинного процесса при тепловом пробое включение тиристора происходит практически мгновенно, время включения составляет 1...5 мкс. После этого тиристор находится во включенном состоянии даже при снятии управляющего сигнала, если питается от источника постоянного тока. Отключение тиристора достигается снятием анодного напряжения. Время отключения тиристора составляет 5...50 мкс.

В случае питания усилителя переменным током в течение каждого полупериода ток переходит через нуль и, как следствие, создаются естественные условия для отключения тиристора. В период включенного состояния тиристора к нагрузке  $R_n$  будет приложено переменное напряжение  $u_{AK}$ , повторяющее по форме и значению напряжение питающей сети. После снятия управляющего сигнала тиристор будет пропускать ток, изменяющийся по своему закону до его естественного нулевого значения.

С помощью тиристора можно регулировать действующие значения напряжения и тока, следовательно, и значение мощности, передаваемой нагрузке от источника питания. Это достигается использованием специальных устройств управления (блоков управления), которые формируют импульс электрического сигнала и в нужный момент времени подают его в управляющий электрод тиристора. Для формирования управляющего сигнала применяются различные по конструктивному исполнению фазосдвигающие устройства, называемые системами импульсно-фазового управления (СИФУ).

Наиболее широкое применение нашли фазосдвигающие устройства, в которых формирование фазы управляющего сигнала построено по горизонтальному или вертикальному принципу. Горизонтальный принцип предусматривает сдвиг во времени (по оси абсцисс) управляющего сигнала. При вертикальном принципе регулируемое напряжение сравнивается с опорным напряжением, заданное значение которого можно изменять целенаправленно. В момент их равенства фазосдвигающее устройство формирует сигнал и подает его в управляющий электрод тиристора.

Сущность регулирования напряжения на нагрузке  $R_n$  усилителя сдвигом фазы управляющего сигнала во времени можно раскрыть построением временных диаграмм (рис. 4.2, *з*, *д*, *е*) изменения указанного напряжения.

Если момент подачи управляющего сигнала совпадает с начальной фазой питающего усилитель напряжения  $u_{AK}$ , т. е. начальная фаза питающего напряжения  $u_{AK}$  в момент подачи управляющего сигнала равна нулю, то положительная полуволна напряжения проходит через тиристор (рис. 4.2, *з*).

Задержка момента подачи управляющего сигнала на угол  $\alpha_1$  приводит к тому, что только некоторая часть полуволны напряжения проходит через тиристор (рис. 4.2, *д*). Действующее напряжение  $u_{AK}$  на нагрузке  $R_n$  снизится. При дальнейшем увеличении угла  $\alpha = \alpha_2$  будет в большей мере снижаться действующее напряжение на нагрузке (рис. 4.2, *е*).

С изменением действующего напряжения на нагрузке будет изменяться и ток, следовательно, будет изменяться мощность, передаваемая нагрузке от источника.

#### 4.4. Операционные усилители

Операционными усилителями (ОУ) называют широкий класс усилителей с гальваническими связями, работающих при наличии глубокой обратной связи. Обратная связь настолько значительна, что характеристики и параметры устройства на основе ОУ практически полностью определяются видом и характеристиками элементов, входящих в цепь обратной связи.

Вначале ОУ использовались в аналоговых вычислительных машинах для выполнения математических операций сложения, вычитания, интегрирования и некоторых других. В современных ЭВМ математические операции выполняются логическими (цифровыми) интегральными микросхемами (ИМС), а ОУ для этих целей не используются. Однако термин «операционные усилители» за ними сохранился.

Операционные усилители выполняются в виде небольшой интегральной микросхемы. Интегральная микросхема (ИМС) — это микроминиатюрное электронное устройство, элементы которого нераздельно связаны (объединены) конструктивно, технологически и электрически. По способу объединения (интеграции) элементов различают ИМС полупроводниковые, или монолитные (основной тип), многокристальные, пленочные и др.

ИМС представляют собой миниатюрный кремниевый кристалл, содержащий в небольшом объеме диоды, транзисторы, резисторы и другие активные и пассивные элементы, общее число которых может достигать нескольких десятков, сотен, тысяч, десятков тысяч и более. ОУ — это аналоговые микросхемы, предназначенные для работы в устройствах с непрерывными во времени электрическими сигналами. Характерным для аналоговых микросхем является то, что их входные и выходные электрические сигналы могут иметь любые значения в заданном диапазоне напряжения.

Основным недостатком ИМС является невозможность введения изменений в ее внутреннюю структуру, так как все микросхемы изготавливаются в базовом кремниевом кристалле. Базовый кристалл — это подложка из полупроводникового материала с определенным набором сформированных в ней не соединенных между собой элементов, используемая для создания

ИМС путем изготовления избирательных межэлементных соединений.

ОУ, выполняемые в виде ИМС, являются удобными функциональными узлами, которые используются для изготовления более сложных устройств.

Независимо от сложности принципиальной электрической схемы почти все ОУ можно представить в виде структурной схемы (рис. 4.3). ОУ, построенные по такой схеме, имеют два входа и один выход. Отклонения от такой структурной схемы некоторых ОУ носят непринципиальный характер. Например, может быть три каскада усиления напряжения, схема защиты выхода усилителя от короткого замыкания, схема защиты входного каскада от перенапряжений и др. Принципиальным является то, что приведенная структурная схема в определенной мере раскрывает конструктивное содержание (общее устройство) ОУ.

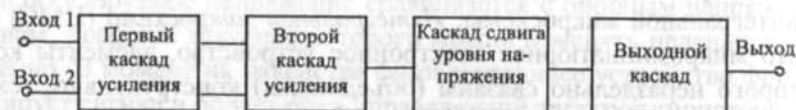


Рис. 4.3. Структурная схема операционного усилителя

Каскады *усиления* (первый, второй и т. д.) служат для обеспечения заданного коэффициента усиления. В современных ОУ коэффициент усиления по напряжению достигает  $10^6 \dots 10^7$ .

Каскад *сдвига уровня напряжения* исключает появление постоянной составляющей напряжения, которая возникает в ОУ при непосредственной связи между каскадами усиления. Благодаря этому каскаду на выходе ОУ устанавливается нулевое напряжение при отсутствии сигналов на его входе, что весьма важно при работе усилителя в системе автоматизации.

*Выходной* (оконечный) каскад служит для получения малого выходного сопротивления ОУ в целях лучшего согласования усилителя с нагрузкой (последующими элементами автоматического регулятора). В некоторых ОУ в выходном каскаде предусматривается схема защиты от перегрузок, с помощью которой ограничивается максимальный ток выходного каскада.

Принято изображать ОУ на принципиальных схемах в виде условного символа (рис. 4.4, а). Каждый вход усилителя имеет свое назначение, что определяется необходимыми функциональными преобразованиями входных сигналов. Сигнал, подаваемый в *инвертирующий* вход усилителя, приводит к формированию выходного сигнала противоположной полярности. Сигнал, поданный в *неинвертирующий* вход усилителя, обеспечивает выработку выходного сигнала той же полярности, которую имеет входной сигнал.



Рис. 4.4. Условный символ для обозначения операционного усилителя на принципиальных схемах (а) и его передаточная характеристика (б)

Зависимость выходного напряжения ОУ от входного (рис. 4.4, б) в определенном интервале их изменения для конкретного усилителя имеет линейный характер. Это означает, что в интервале линейности характеристики между  $U_{\text{вых}}$  и  $U_{\text{вх}}$  существует прямо пропорциональная зависимость.

Схема *инвертирующего* включения ОУ изображена на рис. 4.5, а. На схеме не показано подключение источника питания.

Входной сигнал поступает через резистор  $R1$  в инвертирующий вход ОУ (обозначен знаком «-»), и поэтому выходной сигнал имеет противоположный знак по отношению к входному. Если входное напряжение, поступающее на резистор  $R1$ , немного увеличится, то это приведет к некоторому повышению напряжения на инвертирующем входе усилителя, и в результате выходное напряжение ОУ уменьшится. Это сниженное выходное напряжение передается через цепь обратной связи  $R2$  усили-

теля и уменьшает возрастание напряжения на инвертирующем входе. Таким образом, снижение выходного напряжения почти полностью компенсирует увеличение напряжения на инвертирующем входе усилителя.

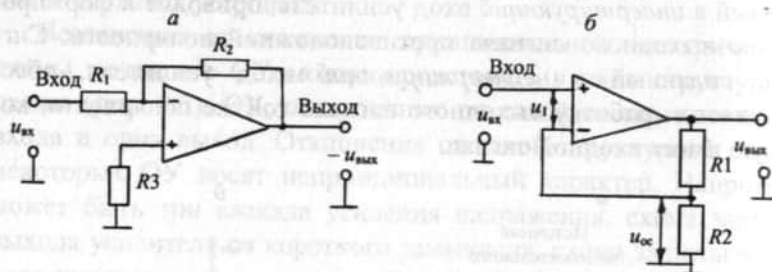


Рис. 4.5. Инвертирующие (а) и неинвертирующие (б) включения операционного усилителя

Неинвертирующий вход ОУ подключается к общей точке (земле или корпусу) через резистор R3, что обеспечивает нулевое значение напряжения между инвертирующим и неинвертирующим входами.

Так как ОУ имеют очень высокие входные сопротивления, то ток, втекающий во входную цепь усилителя, очень мал. Ток, текущий через R1, равен входному напряжению  $u_{вх}$ , разделенному на R1. Точно так же ток, текущий через R2, равен  $-u_{вых}/R2$ , где  $u_{вых}$  – выходное напряжение усилителя. Знак минус означает, что полярность выходного напряжения противоположна полярности входного напряжения. Эти два тока почти равны, т. е. можно записать равенство  $u_{вх}/R1 = -u_{вых}/R2$ . Отсюда  $-u_{вых}/u_{вх} = R2/R1$ .

Отношение  $u_{вых}/u_{вх}$  представляет коэффициент усиления ОУ с цепью обратной связи. Коэффициент усиления такого усилителя определяется лишь соотношением сопротивлений резисторов R1 и R2 и не зависит от коэффициента усиления самого ОУ. Резистор R2 обеспечивает в ОУ отрицательную обратную связь.

Схема неинвертирующего включения ОУ (рис. 4.5, б) работает следующим образом. Входное напряжение, поступающее на неинвертирующий вход усилителя, на его выходе не инвертируется, т. е. полярность входного сигнала сохраняется и в выход-

ной цепи усилителя. К выходу усилителя подключается делитель напряжения, состоящий из резисторов R1 и R2. Сигнал отрицательной обратной связи снимается с узловой точки соединения этих резисторов и подается в инвертирующий вход усилителя.

Если входное напряжение  $u_{вх}$  увеличивается на некоторое значение, то выходное напряжение  $u_{вых}$  также повышается. Часть выходного напряжения подается на инвертирующий вход для организации отрицательной обратной связи. Потенциалы на обоих входах ОУ увеличиваются почти на равные значения.

В таком усилителе равенство  $u_1 = 0$  выполняется в том случае, если  $u_{вх} = u_{oc} = u_{вых}R2/(R1 + R2)$ . Тогда коэффициент усиления  $k_u = u_{вых}/u_{вх} = (R1 + R2)/R2 = 1 + R1/R2$ .

Если R1 намного больше R2, то коэффициент усиления схемы примерно равен  $R1/R2$  и поэтому не зависит от собственных характеристик используемого ОУ.

Наряду с большим коэффициентом усиления для ОУ характерны также высокая точность выполнения той или иной функции, высокое входное сопротивление (20 кОм...10 мОм), малый уровень шумов и др.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что называется усилителем? По каким признакам классифицируются усилители?
2. Назовите основные схемы усилителей, выполненных на транзисторах, их преимущества и недостатки.
3. Объясните устройство и принцип действия тиристорного усилителя, а также сущность регулирования его выходных параметров.
4. Что является элементной базой операционных усилителей?
5. Объясните состав структурной схемы операционных усилителей.

## Глава 5. ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА

### 5.1. Общие сведения

Входной непрерывно изменяющийся во времени сигнал, поступающий в логический (цифровой) элемент, отображает протекание процесса в объекте управления и является непрерывной функцией. Первой операцией, совершаемой над непрерывным сигналом в цифровой аппаратуре, является дискретизация его во времени. Для этого в зависимости от спектра сигнала и заданной точности измерений через интервал времени  $\Delta t$  берутся мгновенные значения сигнала (рис. 5.1).

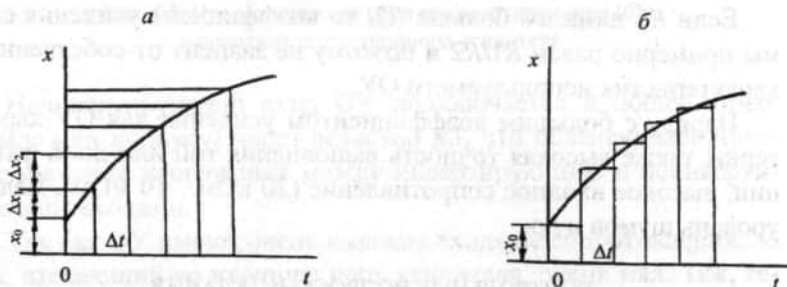


Рис. 5.1. Приближенная замена непрерывного входного сигнала ( $x$ ) последовательностью ступенчатых ( $a$ ) и прямоугольных ( $b$ ) импульсов

Временную непрерывную характеристику входного сигнала можно представить последовательностью его ступенчатых значений  $x_0, \Delta x_1, \Delta x_2, \dots$ , которые сдвинуты одно относительно другого на время  $\Delta t$  (рис. 5.1,  $a$ ), или последовательностью прямолинейных импульсов длительностью  $\Delta t$  каждого значения (рис. 5.1,  $b$ ). В результате входной непрерывный сигнал, имеющий произвольную форму изменения во времени, с большей или меньшей точностью аппроксимируется суммой своих дискретных значений. Непрерывный сигнал дискретизирован и по времени, и по уровню (значению)

$$x(t) = \sum_{n=0, 1, 2, \dots}^{\infty} x(n \Delta x; k \Delta t).$$

*Аппроксимация* (от лат. *approximo* – приближаться) – замена одних математических объектов (например, чисел или функций) другими, более простыми и в том или ином смысле близкими к исходным (например, кривых линий близкими к ним ломаными).

Аналоговые входные параметры, к которым относятся, например, постоянные или меняющиеся по какому-либо закону напряжение, температура, линейные и угловые перемещения и т. п., преобразуются в цифровой вычислительной машине (ЦВМ) в дискретные с последующим цифровым кодированием. Задачу дискретизации непрерывных сигналов решают специальные устройства, называемые аналого-цифровыми преобразователями (АЦП).

В отличие от аналоговых функциональных элементов, для которых характерна непрерывность во времени входного и выходного сигналов, логические (цифровые) элементы имеют только два дискретных состояния – включено и выключено. Цифровые функциональные элементы, как правило, работают в режиме переключения, и их принципиальные схемы существенно отличаются от аналоговых функциональных элементов такого же назначения. Кроме того, существует целый ряд основных специфических цифровых элементов, не имеющих себе подобных и не использующихся при создании аналоговой аппаратуры. Особенностью цифровых функциональных элементов, выгодно отличающей их от аналоговых, является работа в дискретных режимах.

В связи с развитием микроэлектроники и вычислительной техники оказалось более целесообразным значительную часть непрерывной информации представлять в цифровой форме.

*Логический элемент* (ЛЭ) – это простейшая структурная единица ЦВМ, выполняющая одну определенную логическую операцию над двоичными переменными. Состоит обычно из электронных приборов (полупроводниковых диодов, транзисторов) и резисторов либо из интегральной микросхемы; имеет несколько входов для приема сигналов, соответствующих исходным переменным, и выход для выдачи сигнала, соответствующего результату выполненных операций.

Под логической операцией принято понимать связь между входным и выходным параметрами, которые могут быть только

на одном из двух условных уровней: низком или высоком – или, что эквивалентно, в состоянии логического 0 (нуля) или логической 1 (единицы). Сигналы, принимающие только один из двух условных уровней, называются *логическими переменными*.

Источником логических переменных может быть любое физическое устройство, имеющее два устойчивых состояния, которые характеризуются состоянием выходной цепи логического элемента или конкретным значением его выходной переменной, например: включено – выключено, есть напряжение – нет напряжения и т. д.

Входные переменные логических элементов принято обозначать буквой  $x$ , а выходные – буквой  $y$ . Функциональная связь между выходными и входными логическими переменными элемента называется *логической функцией*  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

Каждый логический элемент выполняет вполне определенную логическую операцию. Логические элементы являются основой построения более сложных логических устройств (систем), используемых для решения в системах автоматизации таких задач, как управление, сигнализация, защита, блокировка. Логические элементы широко применяются в ЭВМ, импульсных и других цифровых устройствах.

Логические переменные представляют собой двоичные сигналы, преобразования которых выполняются в соответствии с логическими действиями булевой алгебры.

## 5.2. Основные положения алгебры логики

Для описания логических операций используется математический аппарат, получивший название *алгебры логики*, или *булевой алгебры*, разработанный ирландским математиком Дж. Булем. Алгебра логики изучает взаимосвязь между простыми высказываниями, которые образуют сложные высказывания. Под *высказыванием* понимается всякое предположение, в котором содержится утверждение истинности или ее отрицание. С точки зрения алгебры логики, простое высказывание может иметь только истинное или только ложное значение. Одно из этих значений принимается за 1, второе – за 0. Следовательно, простое высказывание может быть только двоичной переменной.

Алгебра логики широко применяется в теории цифровой техники, в которой используются устройства с двумя устойчивыми состояниями равновесия. Одно состояние соответствует, например, высокому уровню напряжения и обозначается единицей, а второе, с низким уровнем напряжения, – нулем. Символы 0 и 1 используются для описания процессов в дискретных системах автоматизации. В них логическая 1 соответствует выполнению некоторого условия, а логический 0 – его невыполнению. Уровень выходного напряжения логического элемента зависит от уровня входного или нескольких входных напряжений. Связь между выходными и входными переменными отображается следующими основными логическими операциями.

Операция *логического отрицания* НЕ преобразует истинное высказывание в ложное или наоборот. Например, ложное высказывание: «один больше двух» приобретает истинный смысл с отрицанием НЕ: «один НЕ больше двух».

Алгебраическая запись логического отрицания читается: « $y$  равен НЕ  $x$ ». В зависимости от значения аргумента операция логического отрицания имеет два исхода: 1) если  $x = 0$ , то  $y = 1$ , и 2) если  $x = 1$ , то  $y = 0$ . Функция НЕ означает, что переменная  $y$  на выходе логического элемента появляется только при отсутствии переменной  $x$  на его входе.

Операция *логического сложения* ИЛИ используется для образования сложного высказывания из простых. При этом сложное высказывание будет истинным, если истинно хотя бы одно из простых высказываний, и ложным, если ложны все простые высказывания.

Алгебраическая запись логического сложения, например для трех входных переменных читается: « $y$  равен  $x_1$ , или  $x_2$ , или  $x_3$ ». Функция такой операции означает, что переменная  $y$  на выходе логического элемента появляется тогда, когда имеется переменная хотя бы на одном из входов –  $x_1$  или  $x_2$ , или  $x_3$ .

Операция логического умножения И тоже используется для образования сложного высказывания из простых. При этом сложное высказывание считается истинным только тогда, когда истинны простые высказывания. Алгебраическая запись логического умножения читается: « $y$  равен  $x_1$  и  $x_2$ ». Функция операции И означает, что переменная  $y$  на выходе логического элемента

появляется только тогда, когда одновременно есть переменные на входах  $x_1$  и  $x_2$ .

В булевой алгебре существует четыре пары основных законов.

1. Переместительный (коммутативный) закон:  
 относительно сложения  $x_1 + x_2 + x_3 = x_3 + x_1 + x_2$ ;  
 относительно умножения  $x_1 x_2 x_3 = x_3 x_2 x_1$ .

2. Сочетательный (ассоциативный) закон:  
 относительно сложения  $(x_1 + x_2) + x_3 = x_1 + (x_2 + x_3)$ ;  
 относительно умножения  $(x_1 x_2) x_3 = x_1 (x_2 x_3)$ .

3. Распределительный (дистрибутивный) закон:  
 относительно сложения  $(x_1 + x_2) x_3 = (x_1 x_3) + (x_2 x_3)$ ;  
 относительно умножения  $x_1 x_2 + x_3 = (x_1 + x_2) \cdot (x_1 + x_3)$ .

4. Закон инверсии:  
 относительно сложения  $\bar{x}_1 + \bar{x}_2 = \overline{x_1 x_2}$ ;  
 относительно умножения  $\bar{x}_1 \bar{x}_2 = \overline{x_1 + x_2}$ .

Черта над левыми частями равенств означает, что берется отрицание от данного выражения, а в правой части получается выражение, которое имеет обратное значение по отношению к исходному.

Основные следствия алгебры логики следующие:

- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| относительно сложения   | относительно умножения  |
| $x_1 + x_1 = x_1$ ;     | $x_1 \cdot x_1 = x_1$ ; |
| $x_1 + \bar{x}_1 = 1$ ; | $x_1 \bar{x}_1 = 0$ ;   |
| $x_1 + 0 = x_1$ ;       | $x_1 \cdot 0 = 0$ ;     |
| $x_1 + 1 = 1$ ;         | $x_1 \cdot 1 = x_1$ .   |

При разработке ЛЭ используются основные логические операции: логическое отрицание НЕ (инверсия); логическое сложение ИЛИ (дизъюнкция); логическое умножение И (конъюнкция). Алгебраическая форма записи каждой логической операции имеет следующий функциональный вид: функция отрицания НЕ:  $y = \bar{x}$ , функция сложения ИЛИ:  $y = x_1 \vee x_2 \vee \dots$ , функция умножения И:  $y = x_1 \wedge x_2 \wedge \dots$ .

Наряду с алгебраической записью логические операции представляются в виде таблиц, названных таблицами истинности. В табл. 5.1 приводится для основных логических операций соответствие значений выходной переменной определенным значениям входных переменных.

Таблица 5.1

Условные обозначения простейших логических операций

Логическая Операция	Алгебраическая формула	Таблицы истинности	Обозначение ЛЭ															
НЕ (инверсия)	$y = \bar{x}$	<table border="1"> <tr><td>x</td><td>y</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	x	y	0	1	1	0										
x	y																	
0	1																	
1	0																	
ИЛИ (дизъюнкция)	$y = x_1 \vee x_2$ или $y = x_1 + x_2$	<table border="1"> <tr><td><math>x_1</math></td><td><math>x_2</math></td><td>y</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	$x_1$	$x_2$	y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	
$x_1$	$x_2$	y																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	1																
И (конъюнкция)	$y = x_1 \wedge x_2$ или $y = x_1 x_2$	<table border="1"> <tr><td><math>x_1</math></td><td><math>x_2</math></td><td>y</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	$x_1$	$x_2$	y	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	
$x_1$	$x_2$	y																
0	0	0																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																

Сложные логические операции выполняются на основе простейших операций НЕ, ИЛИ, И.

Операция отрицания логического сложения ИЛИ – НЕ (стрелка Пирса) означает, что переменная  $y$  на выходе ЛЭ отсутствует только тогда, когда имеется переменная хотя бы на одном из входов или на обоих входах одновременно. Эта операция обозначается функциональной зависимостью  $y = \bar{x}_1 + \bar{x}_2$ .

Операция отрицания логического умножения И – НЕ (операция Шеффера) означает, что переменная  $y$  на выходе ЛЭ отсутствует тогда, когда одновременно есть переменные на входах  $x_1$  и  $x_2$ . Функциональное выражение такой операции имеет вид  $y = \bar{x}_1 \bar{x}_2$ .

Логическая операция РАВНОЗНАЧНОСТЬ означает, что переменная  $y$  на выходе ЛЭ существует тогда, когда на обоих входах одновременно имеются или отсутствуют переменные  $x_1$  и  $x_2$ .

Эта логическая операция имеет функциональную зависимость  $y = x_1 x_2 + \bar{x}_1 \bar{x}_2$ .

Логическая операция ИМПЛИКАЦИЯ означает, что переменная  $y$  на выходе ЛЭ существует только тогда, когда отсутствует переменная на входе  $x_1$  или имеется на входе  $x_2$ . Эта операция имеет запись  $y = \bar{x}_1 + x_2$ .

Логическая операция ЗАПРЕТ означает, что переменная  $y$  на выходе ЛЭ появляется только при наличии переменной на входе  $x_2$  и отсутствии сигнала на запрещающем входе  $x_1$ . Между переменными  $y$  и  $x$  существует алгебраическая зависимость  $y = \bar{x}_1 x_2$ .

Функция ЗАДЕРЖКА означает, что переменная  $y$  на выходе ЛЭ появляется через время  $t_1$  после подачи переменной  $x$  на вход. Алгебраическая зависимость имеет вид  $y = x_1(t - t_1)$ .

Черта над переменными означает, что берется от них отрицание.

Для выполнения логических операций в системах автоматизации широко используются ЛЭ на основе интегральных микросхем, а в отдельных случаях – ЛЭ на основе пневматических устройств.

### 5.3. Базовые логические элементы

Логические элементы служат для выполнения простейших логических операций над цифровой информацией. Набор логических операций ИЛИ, И, НЕ является функционально полным, что позволяет, выполняя эти операции в заданном порядке, производить самые сложные преобразования цифровых двоичных переменных. Базовые логические операции выполняются с помощью логических функциональных элементов ИЛИ, И, НЕ. Объединяя базовые ЛЭ, можно создавать самые сложные цифровые устройства и системы. ЛЭ работают в режиме переключения (или открыты, или полностью закрыты) и могут быть выполнены на любых усилительных элементах. Однако в настоящее время используются преимущественно полупроводниковые логические элементы в интегральном исполнении. Они выполняются на основе  $n-p-n$ -транзисторов и МОП-транзисторов

(МОП-структура металл – оксид – полупроводник) в виде взаимно дополняющих комплементарных пар с  $n$ - и  $p$ -каналами.

Наиболее просто выполняется схема ЛЭ, с помощью которой производится инверсия переменной, т. е. логическая операция НЕ. Эта логическая операция может быть реализована ЛЭ, изображенными на рис. 5.2.

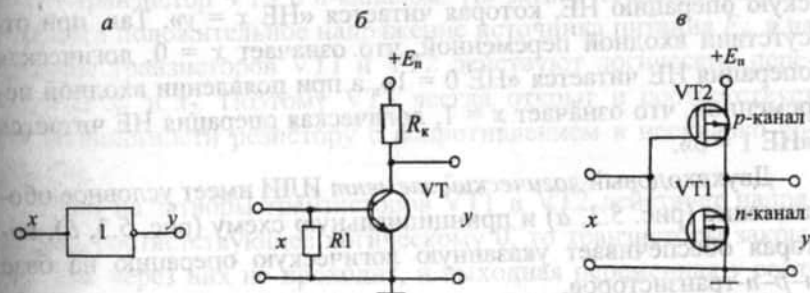


Рис. 5.2. Логические элементы операции НЕ: а – условное обозначение ЛЭ; б – ЛЭ на основе  $n-p-n$ -транзистора; в – ЛЭ на основе МОП-транзистора

Логический элемент НЕ имеет условное обозначение (рис. 5.2, а), и работа его схемы на основе  $n-p-n$ -транзистора (рис. 5.2, б) сводится к инверсии входной переменной.

Если на входе ЛЭ переменная отсутствует, что означает логический 0, транзистор VT заперт и ток через него не проходит. На резисторе  $R_n$  отсутствует падение напряжения, и на входе ЛЭ значение переменной  $y$  равно примерно напряжению питания  $E_n$ , что соответствует логической 1.

Если на вход ЛЭ поступает положительное напряжение, что соответствует логической 1, то транзистор VT полностью открыт, имея минимальное сопротивление. Падение напряжения на нем не превышает нескольких десятых долей вольта, и выходная переменная  $y$  эквивалентна логическому 0.

Логическая операция НЕ реализуется также при помощи схемы (рис. 5.2, в) на двух полевых МОП-транзисторах с  $n$ - и  $p$ -каналами. При нулевом напряжении на входе схемы, что означает  $x = 0$  и соответствует логическому 0,  $n$ -канального транзистора VT1 заперт, а  $p$ -канальный транзистор VT2 полностью открыт. Поэтому напряжение на выходе практически равно ЭДС источника питания  $E_n$ , что соответствует логической 1.

Когда на входе действует положительное напряжение, отображающее логическую 1, транзистор VT1 отпирается, а VT2 запирается. Напряжение на выходе ЛЭ является практически нулевым, а значит, его выходная переменная соответствует логическому 0.

Таким образом, приведенные схемы ЛЭ реализуют логическую операцию НЕ, которая читается «НЕ  $x = y$ ». Так, при отсутствии входной переменной, что означает  $x = 0$ , логическая операция НЕ читается «НЕ  $0 = 1$ », а при появлении входной переменной, что означает  $x = 1$ , логическая операция НЕ читается «НЕ  $1 = 0$ ».

Двухвходовый логический элемент ИЛИ имеет условное обозначение (рис. 5.3, а) и принципиальную схему (рис. 5.3, б), которая обеспечивает указанную логическую операцию на базе  $n-p-n$ -транзисторов.

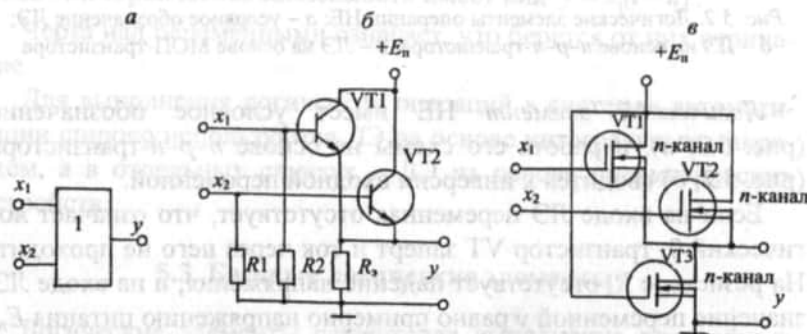


Рис. 5.3. Логические элементы операции сложения ИЛИ: а – условное обозначение ЛЭ; б – ЛЭ на основе  $n-p-n$ -транзистора; в – ЛЭ на основе МОП-транзистора

Когда значения входных переменных  $x_1$  и  $x_2$  эквивалентны логическому 0, что означает отсутствие входных напряжений, транзисторы VT1 и VT2 заперты. Ток через них не протекает, и на резисторе  $R_3$ , который включен в цепь эмиттеров обоих транзисторов, нет напряжения. Выходная переменная  $y$  соответствует логическому 0. Если на одном из входов ЛЭ появляется напряжение, эквивалентное логической 1, то соответствующий транзистор отпирается и на резисторе  $R_3$  появляется напряжение, отображающее логическую 1. Когда на обоих входах действует

напряжение, отображающее логическую 1, то оба транзистора открыты и на выходе ЛЭ также появляется напряжение, эквивалентное логической 1.

Вариант схемы (рис. 5.3, в) на МОП-транзисторах имеет в цепи транзисторов VT1 и VT2 дополнительно включенный МОП-транзистор VT3 с  $n$ -каналом. На затвор транзистора VT3 подается положительное напряжение источника питания  $E_n$ , а на затворы транзисторов VT1 и VT2 действуют логические переменные  $x_1$  и  $x_2$ . Поэтому VT3 всегда открыт и соответствует по проводимости резистору с сопротивлением в несколько сотен Ом.

Если на затворы транзисторов VT1 и VT2 действует напряжение, соответствующее логическому 0, то транзисторы закрыты. Ток через них не проходит, и выходная переменная  $y$  соответствует логическому 0. Когда на затвор одного из транзисторов, VT1 или VT2, подается напряжение, эквивалентное логической 1, то соответствующий транзистор открывается и на выходе ЛЭ появляется напряжение, тоже эквивалентное логической 1. Выходная переменная  $y$  соответствует логической 1 и в том случае, когда на оба входа транзисторов VT1 и VT2 одновременно подается напряжение, эквивалентное логической 1.

Оба ЛЭ выполняют логическое сложение ИЛИ по правилу  $x_1 + x_2 = y$ . При конкретных значениях входных переменных логическая операция читается так: 0 ИЛИ 0 = 0; 0 ИЛИ 1 = 1; 1 ИЛИ 0 = 1; 1 ИЛИ 1 = 1.

В общем случае число входных сигналов в ЛЭ ИЛИ может достигать 8...10. Тогда в схеме ЛЭ увеличивается число параллельно включаемых транзисторов с учетом числа входных переменных и каждый транзистор работает как повторитель.

Двухвходовый ЛЭ логического умножения И имеет условное обозначение (рис. 5.4, а) и принципиальную схему (рис. 5.4, б), которая обеспечивает логическую операцию на базе  $n-p-n$ -транзисторов. В схеме ЛЭ применяется многоэмиттерный транзистор (МЭТ) VT1, что является очень удобным для исполнения такой схемы по интегральной технологии.

Если входные переменные  $x_1$  и  $x_2$  поступают на уровне высокого потенциала, т. е. логической 1, то все переходы эмиттер – база транзистора VT1 закрываются, а его переход база – коллек-

тор открывается. Ток коллекторного перехода МЭТ протекает через переход эмиттер – база транзистора VT2, который входит в режим насыщения. На резисторе R4 возникает падение напряжения, и выходная переменная  $y$  соответствует логической 1.

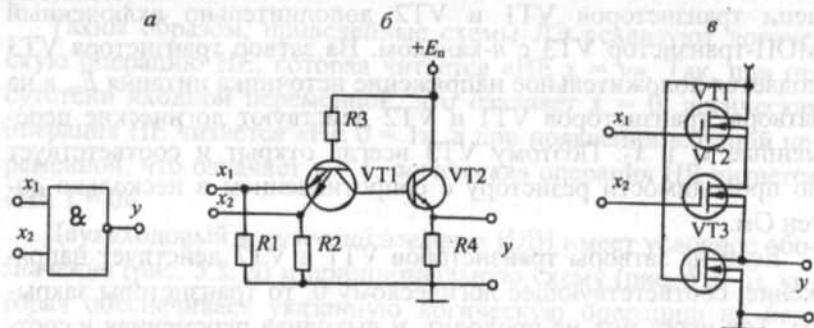


Рис. 5.4. Логические элементы операции умножения И: а – условное обозначение ЛЭ, б – ЛЭ на основе  $n-p-n$ -транзистора; в – ЛЭ на основе МОП-транзистора

Если на один из входов схемы ЛЭ или на оба входа одновременно поступает переменная логического 0, что соответствует низкому потенциалу (нулевому), то транзистор VT2 входит в режим отсечки (запирается). На резисторе R4 возникает нулевое значение падения напряжения, т. е. выходная переменная  $y$  соответствует логическому 0.

Описанные ЛЭ выполняют логическое умножение И в соответствии с правилом логической операции  $x_1 x_2 = y$ . Различные сочетания двоичных значений входных переменных обеспечивают в ЛЭ кодированное значение выходной переменной:  $0 \text{ И } 0 = 0$ ;  $0 \text{ И } 1 = 0$ ;  $1 \text{ И } 0 = 0$ ;  $1 \text{ И } 1 = 1$ .

Базовые логические элементы И, ИЛИ, НЕ используются в определенном сочетании между собой для образования универсальных и более сложных ЛЭ. Более сложными по своей структуре являются элементы И – НЕ, ИЛИ – НЕ или И – ИЛИ – НЕ. Каждый образованный ЛЭ имеет свое условное обозначение (рис. 5.5).

Принципиальные схемы таких ЛЭ приводятся в дисциплине «Электроника», и их рассмотрение выходит за пределы программы и объема данного пособия. Поэтому целесообразно ука-

занные ЛЭ представить условными обозначениями и изложить их функциональное содержание текстовым материалом с учетом логических операций, выполняемых базовыми ЛЭ И, ИЛИ, НЕ.

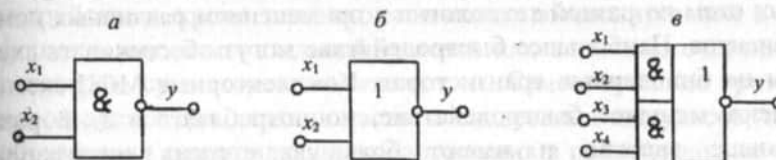


Рис. 5.5. Условные обозначения логических элементов: а – ЛЭ И – НЕ; б – ЛЭ ИЛИ – НЕ; в – ЛЭ И – ИЛИ – НЕ

Логический элемент И – НЕ, имеющий условное обозначение (рис. 5.5, а), выполняет логические операции И и НЕ в соответствии с правилом НЕ ( $x_1 \cdot x_2 = y$ ). Это означает, что результаты логического умножения ( $0 \text{ И } 0 = 0$ ;  $0 \text{ И } 1 = 0$ ;  $1 \text{ И } 0 = 0$ ;  $1 \text{ И } 1 = 1$ ) логическим элементом И – НЕ инверсируются. Следовательно, различные сочетания значений входных сигналов приобретают на выходе ЛЭ следующие закодированные результаты и логические операции И – НЕ читаются: НЕ ( $0 \text{ И } 0$ ) = 1; НЕ ( $0 \text{ И } 1$ ) = 1; НЕ ( $1 \text{ И } 0$ ) = 1; НЕ ( $1 \text{ И } 1$ ) = 0.

В логическом элементе ИЛИ – НЕ с условным обозначением (рис. 5.5, б) выполняются операции логического сложения ИЛИ и логического отрицания НЕ по правилу НЕ( $x_1 + x_2$ ) =  $y$ . В логическом элементе ИЛИ – НЕ также происходит инверсирование, но только выполняемого им логического сложения, имеющего результаты в виде  $0 \text{ ИЛИ } 0 = 0$ ;  $0 \text{ ИЛИ } 1 = 1$ ;  $1 \text{ ИЛИ } 0 = 1$ ;  $1 \text{ ИЛИ } 1 = 1$ . При различных уровнях входных переменных, эквивалентных логическим 0 и 1, в выходной цепи ЛЭ появляются кодированные сигналы и логические операции ИЛИ – НЕ читаются: НЕ( $0 \text{ ИЛИ } 0$ ) = 1; НЕ( $0 \text{ ИЛИ } 1$ ) = 0; НЕ( $1 \text{ ИЛИ } 0$ ) = 0; НЕ( $1 \text{ ИЛИ } 1$ ) = 0.

Логический элемент, содержащий в своем составе элементы И, ИЛИ, НЕ и выполняющий эти операции, имеет условное обозначение согласно рис. 5.5, в. Логические операции И и ИЛИ, выполняемые логическим элементом, затем инверсируются и в выходной цепи переменная имеет следующие значения: если на всех входах логический 0, то на выходе – логическая 1; если на входах  $x_1$  и  $x_2$  или  $x_3$  и  $x_4$  одновременно действует логическая 1,

то на выходе появляется логический 0; если на всех входах логическая 1, то на выходе – логический 0.

Логические схемы могут быть выполнены в виде интегральных схем по разной технологии с применением различных компонентов. Наибольшее быстродействие могут обеспечивать схемы на биполярных транзисторах. Комплекторные МОП-схемы имеют меньшее быстродействие, но потребляют в 2...3 раза меньше энергии и имеют большую степень интеграции (плотность упаковки элементов). Наивысшее быстродействие (до  $10^3$  МГц) обеспечивают логические схемы на основе туннельных диодов и элементов, основанных на явлении сверхпроводимости.

#### 5.4. Триггерные структуры

Триггером называется электронное устройство, обладающее двумя состояниями устойчивого равновесия и способное под действием внешнего управляющего напряжения (входной переменной) переходить скачком из одного устойчивого состояния в другое.

В состоянии устойчивого равновесия ток и напряжение в любой точке схемы триггера остаются неизменными во времени. Переход в новое устойчивое состояние (опрокидывание триггера) возможен только при условии, если управляющая переменная достигнет определенного (порогового) значения. В таком случае ток и напряжение в выходной цепи триггера принимают новые значения.

Характеристика триггера (рис. 5.6) представляет собой зависимость выходной переменной  $y$  от входной  $x$ . Для перевода триггера в новое устойчивое равновесие 2 необходимо обеспечить условие  $x > x_2$ . Чтобы перевести из состояния 2 в состояние 1, необходимо выполнение условия  $x < x_1$ . Зависимость  $y = f(x)$  для различных схем триггера может обличаться уровнями (значениями) входных и выходных переменных.

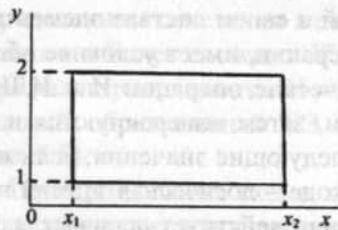


Рис. 5.6. Характеристика триггера

Триггеры могут быть на биполярных транзисторах и в интегральном исполнении.

Интегральные триггеры используются как самостоятельные устройства и, кроме того, входят в состав вычислительной и информационно-измерительной техники как элементы счетчиков, регистров, сумматоров, памяти и т. п. Самостоятельно триггер используется для деления частоты следования импульсов, преобразования синусоидального напряжения в прямоугольные импульсы с высокой крутизной и формой среза, сравнения напряжения и т. п. Современные интегральные триггеры часто строятся на основе нескольких ЛЭ, объединенных в одну микросхему. Они могут иметь несколько входов и различаться способами ввода входной информации.

В обобщенную структурную схему триггерной системы (рис. 5.7) входят устройство управления УУ и триггер. Устройство управления служит для преобразования информации, поступающей в его входы А и В, в необходимые комбинации сигналов, действующие на входы триггера. Это устройство расширяет функциональные возможности триггера.

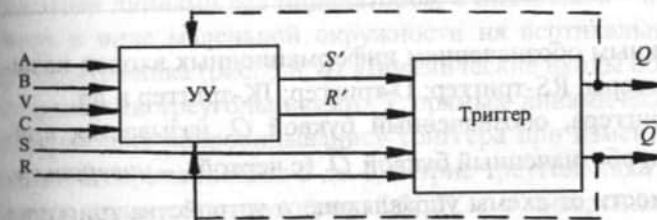


Рис. 5.7. Структурная схема триггерной системы: А, В – информационные (логические) входы; V – подготовительный вход; С – тактовый (синхронный) вход; S и R – внешние входы; S' и R' – внутренние входы; Q̄ и Q – внешние выходы

Входные переменные А, В, V, С, S, R подразделяются на информационные (логические), подготовительные (разрешающие) и исполнительные (командные). Входы триггера, в которые подаются эти переменные, называются информационными (логическими), предустановочными (подготовительными) и тактовыми (синхронизирующими). В зависимости от назначения триггера

ра предустановочные и тактовые входы могут отсутствовать, а информационные входы имеются у каждого триггера.

На схемах входы изготавливаемых триггерных систем могут иметь буквенные обозначения латинского алфавита в соответствии с табл. 5.2.

Таблица 5.2  
Функциональное назначение входов триггерной системы

Условное обозначение	Назначение
<i>Информационные (логические) входы</i>	
S	Вход для раздельной установки триггера в состоянии 1
R	Вход для раздельной установки триггера в состоянии 0
J	Вход для установки в состоянии 1 JK-триггера
K	Вход для установки в состоянии 0 JK-триггера
T	Счетный вход триггера
D	Вход для установки триггера в состоянии 0 и 1
<i>Управляющие входы</i>	
V	Подготовительный вход для разрешения приема информации
C	Подготовительный вход для осуществления приема информации. Вход синхронизации

По буквенным обозначениям информационных входов называются и триггеры: RS-триггер; D-триггер; JK-триггер и др.

Выход триггера, обозначенный буквой  $Q$ , называется *прямым*, а выход, обозначенный буквой  $\bar{Q}$  (с чертой), – *инверсным*.

В зависимости от схемы управляющего устройства триггеры разделяются на асинхронные и синхронные (от греческих слов «а» – не, «син» – вместе, «хронос» – время). *Асинхронные* триггеры имеют только информационные (логические) входы, и запись осуществляется в них в момент поступления информации, т. е. входная переменная, несущая информацию, вызывает переключение триггера в момент ее поступления. В *синхронных* триггерах поступившая в логические входы информация записывается только при поступлении в синхронизирующий вход дополнительно командного сигнала. Запись информации (переключение) происходит в синхронном триггере при одновременном воздействии входного и синхронизирующего (разрешающего) сигналов. Синхронные триггеры могут иметь и асинхронные

входы, служащие для установки триггера в нужное исходное состояние.

Асинхронные триггеры используются в качестве коммутаторов, электрических ключей, счетчиков импульсов и т. п. Синхронные триггеры применяются в вычислительной и цифровой технике.

Работой триггеров можно управлять изменением значений входных переменных при достижении ими определенных уровней (порогов) срабатывания, а также фронтами и срезами, возникающими при изменении значений входных переменных. Управляемые триггеры по уровню входных переменных называются триггерами со статическим управлением, а по фронтам и срезам – триггерами с динамическим управлением.

На схемах триггеры изображаются прямоугольником (рис. 5.8), разделенным вертикальной линией на две части: правая часть – основное поле, левая – дополнительное. Основное поле обозначается буквой  $T$ , а в дополнительном поле у каждого входа пишется буква, указывающая на его функциональное назначение. Статические прямые входы и выходы изображаются прямыми линиями без индикаторов, а инверсные – имеют индикатор в виде маленькой окружности на вертикальной стороне прямоугольника (рис. 5.8, а). Динамические входы обозначаются небольшими треугольниками. У прямых динамических входов, вызывающих «опрокидывание» триггера при изменении уровня входной переменной от 0 до 1, острый треугольник направлен внутрь прямоугольника (рис. 5.8, б), а у инверсных, вызывающих «опрокидывание» триггера при изменении уровня входной переменной от 1 до 0, – наружу (рис. 5.8, в).

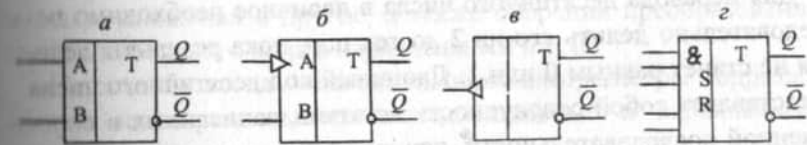


Рис. 5.8. Условные обозначения триггеров

Триггер может иметь несколько информационных входов, объединенных в группы операциями И либо ИЛИ. Группа входов, объединенная операцией логического умножения И, в до-

полнительном поле помечается символом логического умножения (рис. 5.8, з). Группа входов, объединенная операцией логического сложения ИЛИ, дополнительных символов в условном обозначении не имеет.

### 5.5. Цифровые микроэлектронные устройства

Цифровые машины и системы могут строиться на базе любой позиционной системы счисления. Однако в современных ЭВМ используется двоичная система счисления, которая позволяет значительно проще различать два состояния, в отличие, например, от десятичной системы, имеющей десять состояний.

Основанием десятичной системы счисления является число 10, так как используются десять основных цифр: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Размещая эти цифры на различных позициях или придавая им различный «вес», можно выражать числа, большие чем 10. Например, число 18 можно представить в виде  $1 \cdot 10^1 + 8 \cdot 10^0$ . Разрядами в такой системе счисления являются единицы –  $10^0$ , десятки –  $10^1$ , сотни –  $10^2$ , тысячи –  $10^3$  и т. д.

Места, занимаемые цифрами числа, называются *разрядами*. В десятичной системе счисления единица каждого разряда «весит» в 10 раз больше единицы соседнего справа разряда.

Основанием двоичной системы счисления является число 2. Для представления любого числа в этой системе требуется всего лишь две цифры – 0 и 1. Наличие разряда обозначается 1, а его отсутствие – 0. Разрядами в такой системе являются единицы –  $2^0$ , двойки –  $2^1$ , четверки –  $2^2$ , восьмерки –  $2^3$  и т. д.

Для перевода десятичного числа в двоичное необходимо последовательно делить его на 2 до тех пор, пока результат деления не станет равным 0 или 1. Двоичный код десятичного числа представляет собой совокупность остатков, записанных в определенной последовательности, начиная с записи частного, полученного при последнем делении, затем пишется последний остаток, предпоследний и т. д. Например, число 18 переводится в двоичный код так:  $18 : 2 = 9$  (остаток 0),  $9 : 2 = 4$  (остаток 1),  $4 : 2 = 2$  (остаток 0),  $2 : 2 = 1$  (остаток 0). В итоге двоичный код числа 18 следующий 10010.

Таким образом, десятичный код числа 18 имеет два разряда: единицы (цифра 8) и десятки (цифра 10), а двоичный код 10010 этого числа – пять разрядов: 1, 0, 0, 1, 0. Поэтому для записи любого числа (кроме числа 1) в двоичной системе счисления необходимо иметь большее число разрядов, чем для записи этого числа в десятичной системе. Несмотря на этот недостаток, двоичная система широко применяется в цифровой технике, так как для изображения одного разряда числа требуется устройство с двумя устойчивыми состояниями, одно из которых принимается за 0, а другое – за 1. Таким устройством, как известно, может служить триггер.

Арифметические действия с двоичными числами оказываются наиболее простыми (по сравнению с другими системами счисления) и выполняются согласно следующим правилам:

- двоичное сложение:  $0 + 0 = 0$ ;  $0 + 1 = 1$ ;  $1 + 0 = 1$ ;  $1 + 1 = 10$ ;
- двоичное вычитание:  $0 - 0 = 0$ ;  $1 - 0 = 1$ ;  $1 - 1 = 0$ ;  $10 - 1 = 1$ ;
- двоичное умножение:  $0 \cdot 0 = 0$ ;  $0 \cdot 1 = 0$ ;  $1 \cdot 0 = 0$ ;  $1 \cdot 1 = 1$ .

Наряду с двоичной системой счисления в ЦВМ применяются восьмеричная, шестнадцатеричная и двоично-десятичная. Эти системы являются вспомогательными и используются при подготовке задач к решению, т. е. при программировании.

#### 5.5.1. Регистры

*Регистрами* называются устройства, предназначенные для приема, хранения и передачи информации, представленной в виде двоичного кода (слова). Каждому разряду двоичного кода соответствует определенный разряд (ячейка памяти) регистра. Регистры выполняют операции поразрядного логического сложения, умножения и другие, а также операции преобразования последовательного кода в параллельный и т. п.

По способу ввода – вывода информации регистры подразделяются на параллельные, последовательные и параллельно-последовательные.

В *параллельных* регистрах запись информации (слова) выполняется параллельным кодом, т. е. одновременно во все разряды регистра. Записанная информация может многократно считываться и храниться в регистре длительное время. Поэтому их называют регистрами памяти.

Последовательные регистры наряду с записью и хранением информации позволяют выполнять логическую операцию сдвига кода записанного числа (слова) на любое количество разрядов. Поэтому их называют сдвигающими регистрами, или регистрами сдвига.

Параллельно-последовательные регистры позволяют преобразовывать параллельный код в последовательный и наоборот.

Реверсивные регистры позволяют сдвигать записанный в них код вправо или влево. В отличие от сдвигающего регистра реверсивный имеет перед каждой ячейкой устройство управления, которое выполнено на трех двухвходовых элементах И – НЕ.

По виду выполняемых операций над словами (двоичным кодом) различают регистры для приема, передачи и сдвига информации.

В качестве примера рассмотрим параллельный регистр (рис. 5.5, а), состоящий из  $n$  D-триггеров. В исходном состоянии во всех выходах  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  триггеров действуют переменные, эквивалентные логическому 0.

Запись необходимой информации выполняется при подаче на входы D всех триггеров логического 0 или 1 и на входы C триггеров логической 1, разрешающей запись. В результате на выходах триггеров  $Q_1, \dots, Q_n$  появляются переменные, соответствующие сигналам на их входах D. Например, если на вход первого триггера действует в момент разрешения записи логическая 1, то этот триггер переключается и на выходе  $Q_1$  появляется переменная логической 1. Если на входах остальных триггеров действует логический 0, то на выходе этих триггеров тоже будет 0. Триггеры запомнят такую введенную информацию и будут помнить до тех пор, пока не придет переменная установки логического 0 или не выключится напряжение источника питания. Точно так же триггеры будут помнить любую другую введенную информацию, отличающуюся от описанной.

Считывание записанной кодированной информации выполняется через двухвходовые ЛЭ И. При этом на один из входов каждого ЛЭ И подается переменная логической 1, разрешающая считывание записанной в триггерах информации. Если на обоих входах ЛЭ действуют логические 1, то и на выходах будут действовать логические 1. Если на выходе  $Q$  какого-либо триггера 0, то на выходе соответствующего ЛЭ И тоже будет 0.

Записанный в регистре (его триггерах) двоичный код может быть считан в виде обратного (инверсного) кода, в котором 1 заменяется на 0 и, наоборот, 0 на 1. Для этого надо подавать на входы ЛЭ И переменные с инверсных выходов  $\bar{Q}$  триггеров.

Структурная схема последовательного регистра (регистра сдвига) приведена на рис. 5.9, б. Исходное состояние всех триггеров соответствует установке на их выходах  $Q$  логических 0. Исходное состояние означает, что на вход D первого триггера может поступать информация двоичного кода с заданным чередованием 0 и 1. Для записи программной информации синхронно с ее поступлением на вход C каждого триггера подаются импульсы разрешающей записи (логическая 1).

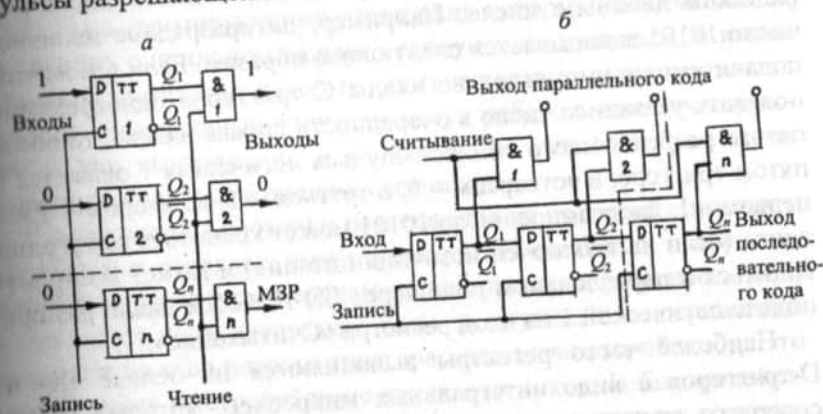


Рис. 5.9. Структурные схемы регистров; а – параллельного; б – последовательного

Например, на вход первого триггера поступает логическая 1. Эта единица записывается первым триггером при одновременной подаче синхроимпульса на вход C. С некоторой задержкой, обусловленной окончанием импульса синхронизации, на выходе  $Q_1$  появляется логическая 1. На выходах остальных триггеров остаются логические 0, поскольку на их входах действуют эквивалентные им переменные. При подаче следующего синхроимпульса на входы C триггеров логическая 1 с выхода первого триггера  $Q_1$  записывается во второй триггер. Состояние всех последующих триггеров не изменяется, и на их выходах остаются

0. Одновременно на выходе первого триггера появляется логический 0 вместо ушедшей логической 1. Затем после окончания третьего синхроимпульса на выходе третьего триггера появится логическая 1, переписанная с выхода второго триггера. На выходе второго триггера будет действовать 0, а на выходе первого триггера – логический 0 или логическая 1, т. е. та логическая переменная, которая подается на вход D первого триггера в момент действия третьего синхроимпульса. Так происходит запоминание поданных логических переменных в регистр путем последовательной их записи: сначала первым триггером, затем перезаписи (сдвига) во второй, третий и последующие триггеры.

В последовательном регистре можно записывать любой разрядности двоичное число. Например, пятиразрядное двоичное число 10101 записывается следующим образом. Если в моменты подачи синхроимпульсов во входы С триггеров одновременно подавать указанное число в очередности справа налево, то после пятого разрешающего синхроимпульса логическая 1 окажется в пятом триггере, в четвертом – 0, в третьем – 1, во втором – 0 и в первом – 1. Записанное число 10101 может храниться как угодно долго (если не выключен источник питания) и может воспроизводиться в параллельном коде через ЛЭ И любое число раз при подаче логической 1 на вход регистра «Считывание».

Наиболее часто регистры выполняются на основе JK- и D-триггеров в виде интегральных микросхем, которые могут содержать до нескольких десятков и сотен отдельных триггеров.

### 5.5.2. Счетчики импульсов

*Счетчики* импульсов представляют собой устройства, предназначенные для подсчета числа импульсов, поступающих в их вход, и хранения результата счета в виде кода. Счетчики импульсов широко применяются в измерительной технике и в устройствах цифровой обработки информации – для подсчета числа импульсов, деления частоты их следования, выполнения различных преобразований цифровых сигналов и т. д. В ЭВМ счетчики применяются для формирования адресов команд, подсчета количества шагов при выполнении операций умножения и деления.

Чаще всего импульсы подсчитываются в двоичной системе счисления. Основным элементом двоичного счетчика является триггер со счетным запуском, выполняющим подсчет импульсов по модулю 2. Количество последовательно соединенных триггеров определяет количество разрядов счетчика. Последовательное соединение триггеров выполняется путем подключения счетного входа каждого последующего триггера к выходу предыдущего. Импульсы подаются на счетный вход первого триггера, являющегося младшим разрядом счетчика. Основными параметрами счетчиков являются емкость, быстродействие, время счета, чувствительность, нагрузочная способность, надежность.

Счетчики бывают простые и реверсивные. Простые счетчики могут быть суммирующими, показания которых увеличиваются на единицу с приходом каждого следующего импульса, и вычитающими, показания которых соответственно уменьшаются на единицу. Реверсивные счетчики могут работать как суммирующие и как вычитающие и являются, по сути, комбинациями суммирующих и вычитающих счетчиков.

Суммирующие счетчики разделяются на счетчики с последовательным и параллельным переносом. В счетчиках с последовательным переносом переключение триггеров (перенос числа) выполняется последовательно одно за другим, т. е. переменная поступает во вход первого триггера, затем – во второй и т. д. Это ограничивает быстродействие таких счетчиков. В быстродействующих цифровых системах применяются счетчики с параллельным переносом, в которых входная переменная действует на входы всех триггеров, входящих в счетчик.

В вычитающих счетчиках переключение триггера последнего разряда происходит при переключении триггера предыдущего разряда из нулевого состояния в единичное.

В двоичных счетчиках частота следования импульсов на выходе каждого разряда в два раза меньше частоты поступления импульсов на его вход. Следовательно, каждый разряд двоичного счетчика выполняет деление частоты входных сигналов на 2, а в целом  $n$ -разрядный двоичный счетчик имеет коэффициент деления  $k_d = 2^n$ . Изменяя число разрядов, можно построить счетчики импульсов с коэффициентом деления 2, 4, 8, 16, 32, 64 и т. д.

Наряду с двоичными счетчиками широко применяются двоично-десятичные счетчики – в измерительной технике, различной связной аппаратуре, устройствах отображения информации в цифровом десятичном коде и т. п. Такие счетчики получили название *пересчетных декад*, или просто *декад*. Они выпускаются в интегральном исполнении или могут быть выполнены из различных интегральных ЛЭ. По принципу построения декады разделяются на выполненные на четырех триггерах и кольцевые.

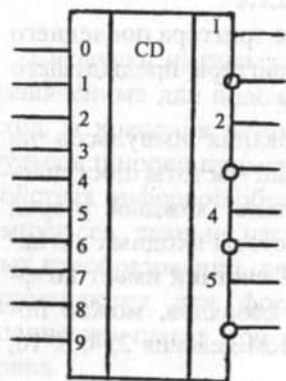
В декадах на четырех триггерах используются основные и дополнительные обратные связи, что повышает быстродействие счетчиков.

Кольцевые декады строятся на пяти или десяти триггерах. Достоинство кольцевых декад заключается в отсутствии дополнительных обратных связей между разрядами.

### 5.5.3. Шифраторы, дешифраторы и распределители

Процесс обработки информации о состоянии объекта управления в системах автоматизации часто начинается с ее кодирования при помощи электронных устройств. Цифровые электронные устройства, используемые в микропроцессорной технике, обрабатывают входные аналоговые переменные, преобразуя их в выходные в виде логических 0 и 1. Операцию кодирования аналоговых переменных выполняют шифраторы.

*Шифратор*, или *кодер* – это устройство, выполняющее кодирование входных переменных.



Условное графическое обозначение шифратора принято изображать в виде прямоугольника, показанного на рис. 5.10.

Рис. 5.10. Условное обозначение шифратора

*Дешифраторами* принято называть устройства в виде комбинации особым образом соединенных ЛЭ, позволяющие преобразовывать цифровые коды из одного вида в другой.

Условное графическое изображение дешифратора показано на рис. 5.11. Обычно входы дешифратора подключаются к выходам разрядов регистра или счетчика. Кодированная информация регистров и счетчиков в дешифраторах преобразуется в управляющие сигналы, которые подаются на исполнительные элементы вычислительного

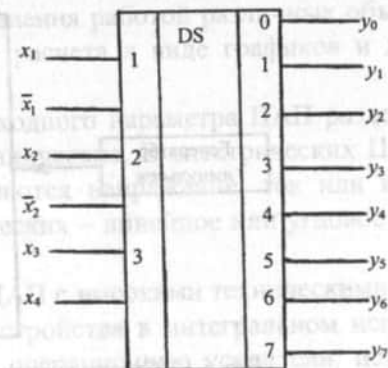


Рис. 5.11. Условное обозначение дешифратора

устройства, в устройства отображения информации и т. п. Преобразование кодированной информации заключается в переводе двоичной информации в десятичную.

Дешифраторы подразделяются на одноступенчатые, или линейные, и многоступенчатые.

Достоинством одноступенчатых дешифраторов является высокое быстродействие, определяемое временем задержки сигнала в одном ЛЭ И, а недостатком – значительное число входов ЛЭ и высокие требования к нагрузочной способности элементов входного регистра.

Дешифраторы, структура которых усовершенствована за счет каскадного объединения отдельных входов, называются многоступенчатыми.

Промышленностью выпускаются дешифраторы всех основных кодов в виде интегральных микросхем. Они применяются в устройствах управления ЦВМ, для преобразования параллельного кода в последовательный, построения распределителей импульсов по различным цепям и т. п.

*Распределителями* называются импульсные устройства, генерирующие заданные последовательности импульсов по нескольким каналам (рис. 5.12). Распределители используются как

составная часть многих устройств управления, позволяя последовательно по заданной программе один за другим включать и выключать те или иные узлы и блоки в системах автоматизации.

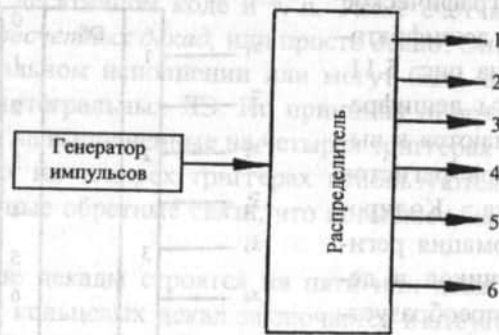


Рис. 5.12. Структурная схема распределителя

Импульсы с заданной частотой следования, источником которых является генератор импульсов, поступают на вход распределителя и последовательно появляются на выходах его каналов. Распределитель может работать как циклически, так и в однократном режиме, выдавая одну или несколько последовательностей управляющих импульсов. Распределители обычно выполняются на основе регистров и счетчиков с подключением дополнительных ЛЭ.

#### 5.5.4. Аналого-цифровые и цифроаналоговые устройства

*Аналого-цифровые* преобразователи служат для преобразования аналоговых (непрерывных) сигналов в цифровые. Информация в виде цифрового кода необходима для работы ЦВМ. Преобразование аналоговых сигналов в цифровые является измерительным процессом, основанным на сравнении, например непрерывно изменяющегося напряжения с набором эталонных напряжений. В результате этого непрерывное мгновенное значение напряжения заменяется ближайшим дискретным значением эталонного напряжения, т. е. происходит квантование непрерывного сигнала по уровню (значению). Искажения за счет квантования по значению будут тем меньше, чем меньше интервал между соседними дискретными уровнями (значениями).

*Цифроаналоговые* преобразователи (ЦАП) обеспечивают преобразование цифровых переменных в аналоговый (непрерывный) вид. Такое преобразование является необходимым при использовании ЦВМ для управления работой различных объектов, отображения результатов расчета в виде графиков и для других целей.

В зависимости от вида выходного параметра ЦАП разделяются на электрические и механические. В электрических ЦАП выходными параметрами являются напряжение, ток или временной интервал, а в механических – линейное или угловое перемещение, скорость и т. п.

Элементную базу АЦП и ЦАП с высокими техническими характеристиками составляют устройства в интегральном исполнении: логические элементы, операционные усилители, источники опорных напряжений и др. ЛЭ являются основой цифровой и логической частей АЦП и ЦАП. На основе ОУ разрабатываются устройства, выполняющие операции сложения, вычитания и умножения, а также генераторы и стабилизаторы тока и напряжения и др.

Для цифровых и логических частей АЦП и ЦАП широко применяются микропроцессоры. Это позволяет значительно сокращать объем устройств управления и совместить процессы преобразования и предварительной обработки информации.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Чем различаются аналоговые и логические элементы?
2. Дайте определение ЛЭ.
3. Назовите основные простые и сложные логические операции и объясните их содержание.
4. Назовите базовые ЛЭ и приведите их примеры.
5. Дайте определение триггера, объясните его назначение и принцип действия.
6. Объясните структурную схему триггера и функциональное назначение его входов.
7. Назовите цифровые микроселекционные устройства и объясните их назначение.

## Глава 6. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

### 6.1. Назначения и требования к исполнительным механизмам

*Исполнительным механизмом (ИМ)* называется устройство системы автоматизации, которое воздействует непосредственно или через согласующие конструктивные элементы на регулирующий орган объекта.

ИМ приводят в действие регулирующие органы и развивают при этом необходимые скорость и мощность. Конструктивно ИМ и регулирующий орган могут быть выполнены в одном узле или раздельно, и тогда между ними используются дополнительно согласующие устройства.

К исполнительным механизмам предъявляются следующие требования: способность развивать необходимые перестановочные усилия или моменты, которые должны удовлетворять требованиям регулирующих органов систем автоматизации; иметь высокие технико-экономические показатели (надежность, низкую стоимость и другие параметры); обладать необходимым быстродействием, малой зоной нечувствительности, линейными статическими характеристиками.

Исполнительные устройства, применяемые в системах автоматизации, классифицируются по следующим основным признакам: физической природе, конструктивному исполнению, характеру движения выходного (рабочего) органа.

По *физической природе* они делятся на электрические, гидравлические, пневматические, механические и комбинированные. С точки зрения *конструктивного исполнения* различают электромагнитные, электродвигательные, поршневые, мембранные и комбинированные исполнительные механизмы. По *характеру движения* выходного (рабочего) органа исполнительные механизмы делятся на поворотные и прямоходовые. *Поворотные* устройства бывают одно- и многооборотные. *Прямоходовые* делятся на исполнительные механизмы с постоянной скоростью выходного органа и механизмы, у которых скорость перемещения выходного органа пропорциональна входному

сигналу, т. е. управляемому параметру объекта системы автоматизации.

ИМ является в системе автоматизации силовым устройством и должен не только совершать необходимую для перемещений регулирующего органа работу, но и выполнять эти перемещения с возможно меньшими искажениями заданных алгоритмов или программ управления, а также отклонениями управляемого параметра объекта от его заданного значения.

К энергетическим показателям исполнительных устройств относятся номинальный и пусковой моменты. *Номинальный момент* — это значение момента сопротивления, которое ИМ может развить при номинальном значении его входного сигнала, поступающего из выходной цепи усилителя. *Пусковой момент* — это максимальное значение крутящего момента, которое развивает ИМ в момент его включения, под действием номинального значения входного сигнала. Обычно в характеристике ИМ указываются номинальный и пусковой параметры: мощность, крутящий момент, усилие.

Параметр, определяемый отношением пускового момента к приведенному моменту инерции ИМ, характеризует его инерционность. Для уменьшения времени разгона пусковой момент ИМ обычно в 2...2,5 раза превышает номинальный.

Исполнительные механизмы, как правило, на своем выходном органе развивают многократно большие по сравнению с его входным сигналом усилие, мощность, крутящий момент или другие параметры. Поэтому ИМ можно рассматривать как усилитель, характеризуемый коэффициентом усиления, который определяется отношением значений усилия, мощности, крутящего момента или другого по физическим свойствам параметра на его выходном устройстве к таким же параметрам его входного сигнала.

Необходимо обратить внимание на то обстоятельство, что свойство ИМ усиливать входной сигнал используется в системах автоматизации достаточно широко и разнообразно. Так, в одних системах автоматизации одно и то же устройство выполняет функции ИМ, в других это же устройство выполняет функции усилительного органа.

Эксплуатационная пригодность ИМ оценивается по таким показателям, как коэффициент полезного действия, безотказность работы, гарантированный срок службы, надежность, коэффициент технического использования, полный технический ресурс и ремонтпригодность.

В сельскохозяйственном производстве для автоматизации стационарных объектов используются преимущественно электрические, значительно реже – пневматические ИМ, а на мобильных объектах применяются в основном гидравлические.

## 6.2. Электромагнитные исполнительные механизмы

Электромагнитный ИМ представляет собой устройство, в котором входной сигнал всегда имеет электрическую природу, а выходной наряду с электрической может иметь и другую физическую природу. В некоторых электромагнитных устройствах входной и выходной сигналы не изменяют физической природы и являются электрическими. Такие устройства в одних системах автоматизации выполняют функции ИМ, а в других выполняют уже функции усилительного органа. Такими устройствами являются электромагнитные реле постоянного и переменного тока, магнитные пускатели и контакторы. В иных электромагнитных устройствах входной сигнал является электрическим, а выходной имеет другую физическую природу. Такие электромагнитные устройства выполняют только функции ИМ, и к ним относятся электромагниты (соленоиды) переменного и постоянного тока.

Электромагнитный (соленоидный) ИМ представляет собой электромагнит и в большинстве случаев соединен непосредственно с регулирующим органом, которым может быть клапан, шибер, задвижка, золотник. Электромагнит и регулирующий орган образуют одну целую конструкцию. Примером может служить электромагнит, изображенный на рис. 6.1. При протекании тока по катушке возникает электромагнитная сила, которая тягивает стальной сердечник, и клапан поднимается. При отсутствии тока в катушке, что соответствует исчезновению входного сигнала, клапан вместе с сердечником опускается, закрывая проходное отверстие, и движение регулирующей среды

прекращается. Клапан может опускаться в результате действия силы тяжести, зависящей от массы сердечника и клапана вместе взятых, а также под действием пружины, которая может быть в конструкции электромагнита и потому создавать дополнительную силу. Такое устройство представляет двухпозиционный ИМ, обеспечивающий два положения (позиции) регулирующего органа: открыто и закрыто.

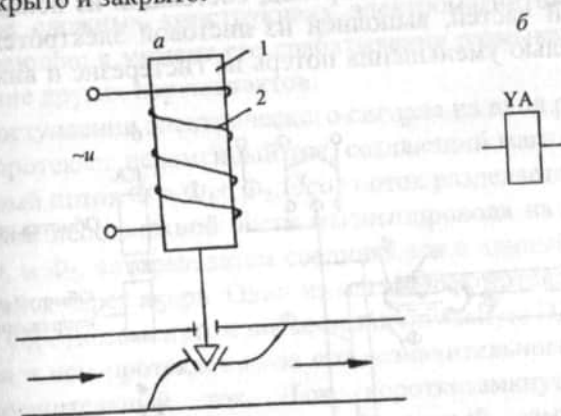


Рис. 6.1. Устройство электромагнитного ИМ (а) и условное обозначение на принципиальных электрических схемах (б): 1 – сердечник; 2 – обмотка; 3 – клапан;

Электромагниты широко используются в качестве электропневматических и электрогидравлических ИМ для перемещения золотника в тех системах автоматизации, которые имеют дополнительный источник питания в виде компрессора, вакуумного насоса или гидронасоса. Регулирующей средой объекта может быть воздух, газ или жидкость (вода, масло или другое вещество).

Электромагнитными ИМ могут служить электромагнитные реле.

По конструктивному исполнению электромагнитные реле бывают разными и могут реагировать на различные по физической природе параметры, т. е. входные сигналы. В зависимости от вида входного сигнала они разделяются на электромагнитные, магнитоэлектрические, пневматические, гидравлические и некоторые другие.

Промышленность выпускает электромагнитные реле переменного и постоянного тока, которые могут быть реле тока и реле напряжения. Реле переменного тока (рис. 6.2) состоит из обмотки, магнитопровода, передающей и контактной систем. Обмотка служит для приема входного переменного характера электрического сигнала и расположена на неподвижной части магнитопровода. Магнитопровод, состоящий из неподвижной и подвижной частей, выполнен из листовой электротехнической стали с целью уменьшения потерь на гистерезис и вихревые токи.

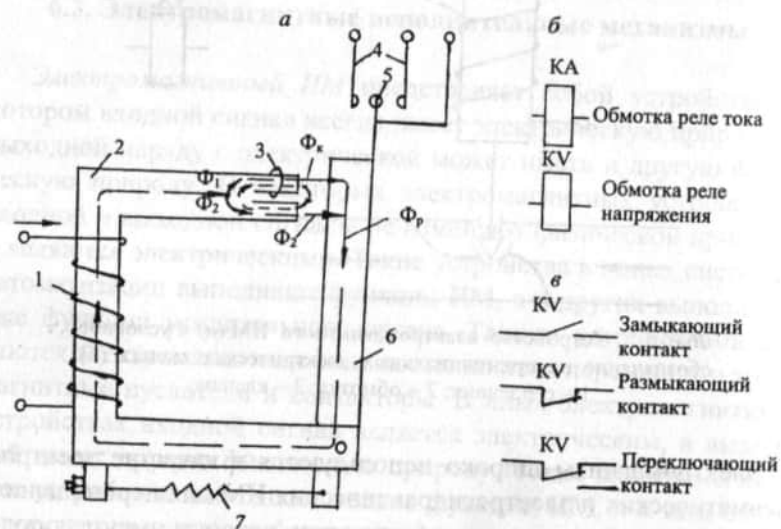


Рис. 6.2. Устройство реле переменного тока (а) и условные обозначения его элементов на электрических схемах (б, в): 1 — обмотка; 2 — неподвижный магнитопровод; 3 — короткозамкнутый виток; 4 — неподвижные контакты; 5 — подвижный контакт, 6 — подвижный магнитопровод; 7 — пружина возврата

Подвижную часть магнитопровода принято называть якорем. Одним концом якорь свободно посажен на ось, а на другом его конце закреплен подвижный контакт, обеспечивающий замыкание неподвижных контактов. Контактная система, в составе которой неподвижные и подвижный контакты, может иметь и другое, более сложное конструктивное решение. Например, в отличие от приведенной на рис. 6.2 схемы, реле может иметь

несколько пар контактов. Неподвижная часть магнитопровода выполнена так, что на одном ее конце расположено отверстие для посадки оси крепления якоря, а на другом, раздвоенном конце, размещен короткозамкнутый виток. Малое сопротивление этого витка позволяет при незначительной индуцируемой в нем ЭДС поддерживать в витке значительный ток. Передающая система реле включает рычаги, поводки и толкатели, имеющиеся в более сложных конструкциях электромагнитных реле и обеспечивающие в момент его срабатывания размыкание одних и замыкание других пар контактов.

При поступлении электрического сигнала на вход реле по его обмотке протекает переменный ток, создающий магнитное поле и магнитный поток  $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$ . Этот поток разделяется на конце раздвоенной неподвижной части магнитопровода на магнитные потоки  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , которые затем соединяются в единый поток, замыкающийся через якорь. Один из магнитных потоков  $\Phi_1$  индуцирует в короткозамкнутом витке незначительную ЭДС самоиндукции, и в нем протекает из-за его незначительного сопротивления значительный ток. Ток короткозамкнутого витка индуцирует значительный магнитный поток  $\Phi_r$ , замыкающийся в неподвижном магнитопровode только в той его части, где магнитопровод раздваивается. Магнитный поток  $\Phi_r$  направлен совместно с потоком  $\Phi_1$  и усиливает его, а с потоком  $\Phi_2$  направлен встречно, и, находясь с ним в противофазе, уменьшает его. В итоге возникает результирующий магнитный поток  $\Phi_p$ , который в любой момент времени работы реле не равен нулю и действует на якорь так, что с некоторой электромагнитной силой последний постоянно прижат к неподвижной части магнитопровода. Таким образом, короткозамкнутый виток служит для устранения вибрации якоря и поддерживает контакт постоянно замкнутым. Реле срабатывает тогда, когда результирующий магнитный поток создает такую электромагнитную силу притяжения якоря, которая превышает противодействие пружины.

По такому принципу действуют реле тока и реле напряжения. В реле тока контролируемый ток (ток входного сигнала) протекает через последовательную катушку (обмотку), которая имеет небольшое количество витков провода большого сечения. Катушка реле напряжения подключается параллельно тому уча-

стку электрической цепи, на котором необходимо контролировать напряжение, и имеет большое количество витков провода малого сечения.

Электромагнитные реле постоянного тока разделяются на *нейтральные и поляризованные*. Общим признаком для них является наличие магнитопровода, выполненного из сплошного металла. В то же время магнитная система реле постоянного тока отличается от магнитной системы реле переменного тока конструкцией магнитопровода. Наряду с этим, реле постоянного тока различаются и между собой тем, что в поляризованном реле в отличие от нейтральных некоторая часть магнитопровода изготовлена из постоянного магнита.

*Нейтральными* называются реле, которые в одинаковой мере реагируют только на значение тока входного сигнала и нечувствительны к его полярности. Таким образом, действие нейтрального реле зависит только от значения тока, протекающего через обмотку, и не зависит от направления этого тока.

В системах автоматизации возникает необходимость применять поляризованные реле, которые реагируют на полярность тока входного электрического сигнала. В магнитной системе поляризованных реле наряду с обычным сплошным стальным магнитопроводом дополнительно используется постоянный магнит. Постоянный магнит имеет Ш-образный вид, к его среднему сердечнику при помощи оси крепится подвижный якорь, выполненный из сплошного стального материала. Якорь одним концом соединяется с постоянным магнитом, а на другом его конце крепятся по обе стороны два контакта, которые являются подвижными. На среднем сердечнике постоянного магнита располагается также обмотка (катушка).

При протекании тока по катушке в любом направлении всегда возникает магнитный поток. Причем если ток протекает по катушке в одном направлении, то магнитный поток возникает и замыкается через средний сердечник, якорь и один крайний сердечник. В результате якорь притягивается к этому крайнему сердечнику постоянного магнита, и контакт якоря, являясь подвижным, замыкается с неподвижным контактом. Когда ток протекает по катушке в обратном направлении, также возникает магнитный поток, который замыкается, как и ранее, через сред-

ний сердечник и якорь, а далее – уже через другой крайний сердечник постоянного магнита. Тогда якорь поворачивается в противоположном направлении и притягивается к другому крайнему сердечнику постоянного магнита. Происходит замыкание другого контакта, расположенного на якоре и являющегося подвижным, с другим неподвижным контактом.

В системах автоматизации чрезвычайно широко применяются в качестве исполнительных механизмов магнитные пускатели и контакторы.

Каждый *магнитный пускатель и контактор* имеет катушку, магнитную и контактную системы, а также электротепловые реле. Магнитная система представляет собой магнитопровод Ш-образной формы, набранный из листов электротехнической стали толщиной 0,3...0,5 мм для уменьшения потерь на гистерезис и вихревые токи. Магнитопровод имеет неподвижную и подвижную части. На среднем сердечнике неподвижной части магнитопровода расположена катушка, которая может работать под фазным или линейным напряжением и принимает входной электрический сигнал. Подвижная часть магнитопровода также имеет Ш-образную форму и соединена с подвижными контактами. Электротепловые реле обеспечивают защиту силового оборудования от длительной перегрузки. Контактная система имеет подвижные и неподвижные контакты и разделяется на силовые (главные) и блокировочные (вспомогательные) контакты.

Силовые контакты управляют мощными электрическими цепями, которые питают силовое оборудование систем автоматизации, например асинхронные трехфазные электродвигатели, нагревательные элементы и другие устройства. Вспомогательные контакты, часто называемые блок-контактами, выполняют некоторые только им свойственные функции. Они могут управлять электрическими цепями значительно (многократно) меньшей мощности по сравнению с силовыми контактами. Очень часто вспомогательные контакты используются в системах автоматизации для шунтирования контактов других устройств с целью обеспечения электрического питания катушки магнитного пускателя или контактора на нужное время.

Принцип действия магнитных пускателей и контакторов аналогичен принципу действия электромагнитных реле. Магнитные

пускатели и контакторы могут выполнять также функции усилителей. Объясняется это тем, что силовые контакты, имеющие различные конструктивные размеры, могут пропускать, в отличие от катушки, больший по значению ток.

### 6.3. Электродвигательные исполнительные механизмы

В общем виде *электродвигательный ИМ* может состоять из электродвигателя, редуктора, тормозного устройства и контрольно-пусковой аппаратуры, которой являются путевые (концевые) выключатели, магнитные пускатели, кнопочные устройства и некоторые другие элементы. В отдельных электродвигательных ИМ могут отсутствовать, например, редуктор, тормозное устройство или путевые выключатели.

Основным элементом электродвигательного ИМ является электродвигатель. Часто в качестве ИМ малой мощности применяются двухфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором и синхронные, а также двигатели постоянного тока. Мощность таких двигателей переменного и постоянного тока обычно находится в пределах 10...1000 Вт.

Частота и направление вращения ротора двухфазного асинхронного электродвигателя зависит от значения напряжения и его сдвига на обмотке управления. Реверсирование ротора электродвигателя обеспечивается изменением фазы управляющего напряжения. Так, при изменении фазы напряжения на управляющей обмотке от  $+90^\circ$  до  $-90^\circ$  направление вращения ротора изменяется на противоположное.

Двухфазные асинхронные электродвигатели имеют КПД в пределах 15...30 %, и по этой причине в качестве ИМ применяются двигатели только малой мощности, значения которой не превышают 10...20 Вт.

В более мощных ИМ применяются асинхронные трехфазные электродвигатели с короткозамкнутым или фазным ротором. Для пуска и ручного управления асинхронными трехфазными электродвигателями используются кнопочные устройства и магнитные пускатели.

В системах автоматизации, как правило, предусматриваются ручное и автоматическое управление. Обычно кнопочные уст-

ройства и магнитные пускатели используются в обоих режимах работы. В одних системах автоматизации отсутствует необходимость реверсирования ротора электродвигателя, а в других такая необходимость появляется. Это и определяет количество используемых в системе автоматизации кнопочных устройств и магнитных пускателей.

Конструктивно электродвигательные ИМ обычно изготавливаются с вращательным движением выходного вала и реже – с поступательным перемещением выходного штока. В зависимости от конструкции и принципа действия регулирующего органа используются одно-, многооборотные и постоянно вращающиеся электродвигательные ИМ.

*Однооборотные ИМ* с углом поворота выходного вала  $120...270^\circ$  используются для привода в действие таких регулирующих органов, как краны, шиберы, заслонки и некоторых других устройств. В этом случае используются путевые (концевые) выключатели, которые обеспечивают необходимый угол поворота выходного вала ИМ.

*Многооборотные ИМ* служат для изменения возвратно-поступательного перемещения рабочего элемента таких регулирующих органов, которыми являются запорные вентили, задвижки, дроссели. Выходной вал ИМ может совершать необходимое число оборотов с целью поступательного перемещения рабочих элементов регулирующих органов. Рабочим элементом в запорном вентиле служит клапан, а в задвижке – две щеки.

Два крайних положения рабочего элемента определяют и два состояния регулирующего органа: «открыто» и «закрыто». В состоянии «открыто» регулирующий орган обеспечивает необходимое поступление в объект регулирующей (рабочей) среды, а в состоянии «закрыто» прекращается подача регулирующей среды в объект.

### 6.4. Гидравлические и пневматические исполнительные механизмы

*Гидравлический ИМ* – устройство, которое преобразует энергию потока рабочей жидкости, создаваемую гидронасосом, в энергию механического поступательного движения поршня или в энергию вращательного движения ротора.

*Пневматический ИМ* отличается от гидравлического тем, что в нем используется энергия потока воздуха, нагнетаемого в пневмосистему компрессором, или энергия потока воздуха, отсасываемого из пневмосистемы вакуумным насосом.

Гидравлические и пневматические ИМ применяются в тех случаях, когда отсутствует источник электрической энергии и возникает необходимость создания больших усилий для перемещения рабочего элемента регулирующих органов, а также для уменьшения инерционности системы автоматизации в целом.

По сравнению с электрическими ИМ они имеют следующие преимущества: широкий диапазон плавного изменения скорости выходного рабочего органа; преобразование энергии потока рабочей среды в механическую энергию возвратно-поступательного или вращательного движения; удачное сочетание значительной выходной мощности с малыми габаритами конструкции ИМ, а также важны простота конструкции и относительно небольшая стоимость.

Наряду с положительными свойствами гидравлические и пневматические ИМ имеют и существенные недостатки: необходимость обеспечения герметичности гидросистемы и пневмосистемы; потребность в гидравлических и пневматических источниках питания; зависимость статических и динамических характеристик ИМ от температуры окружающей среды и достаточно сложное обеспечение дистанционного управления.

Широкое практическое применение в системах автоматизации получили гидравлические ИМ с поступательно движущимся поршнем. Таким ИМ является гидроцилиндр. Он может быть по конструктивному исполнению двойного и одностороннего действия. В гидроцилиндрах двойного действия перемещение поршня при прямом и обратном ходе обеспечивается силой давления рабочей жидкости. В гидроцилиндрах одностороннего действия поршень перемещается в одну сторону силой давления рабочей жидкости и одновременно сжимается пружина, а в обратную – силой разжимающейся пружины. В зависимости от вида управляющего гидроцилиндром устройства, которое влияет на движение рабочей жидкости, различают гидравлические ИМ золотникового, объемного и струйного управления.

*ИМ с золотниковым управлением* представляет собой гидроцилиндр и золотниковое устройство в виде гидрораспределе-

ля. От положения золотника зависит поступление рабочей жидкости в гидроцилиндр. При нейтральном положении золотника рабочая жидкость не поступает ни в одну полость гидроцилиндра двойного действия. И только при смещении золотника в любую сторону рабочая жидкость под давлением, создаваемым гидронасосом, поступает в одну из полостей гидроцилиндра. В результате поршень поступательно перемещается в направлении давления рабочей жидкости и развивает на штоке необходимое усилие.

*ИМ с объемным управлением* имеет в качестве управляющего устройства регулируемый насос, подачу рабочей жидкости которого можно изменить во времени и тем самым развивать необходимое усилие.

*ИМ со струйным управлением* имеют в качестве управляющего устройства трубку с конической сужающейся насадкой, что увеличивает кинетическую энергию вытекающей из насадки жидкости.

Наряду с ИМ поршневого типа применяются ИМ мембранного типа. Поршневые ИМ имеют большой ход выходного органа, а мембранные – относительно малые перемещения выходного органа. Иногда вместо мембран применяются сильфоны, представляющие гофрированные изделия из упругоэластичного материала.

*Пневматические ИМ* по конструкции и принципу действия аналогичны гидравлическим и находят практическое применение в системах автоматизации. Например, пневматические ИМ мембранного типа широко применяются в системах автоматизации доильных установок. Оба типа ИМ существенно различаются между собой только видом рабочей среды, а также конструктивными параметрами.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Дайте определение ИМ и объясните его назначение.
2. Назовите требования, предъявляемые к ИМ, и признаки их классификации.
3. Какие устройства могут выполнять функции ИМ и усилителей?
4. Что представляют собой электромагнитные, электродвигательные, гидравлические и пневматические ИМ?
5. Назовите преимущества и недостатки гидравлических и пневматических ИМ.

## Глава 7. РЕГУЛИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ

### 7.1. Общие сведения о регулирующих органах

*Регулирующим органом (РО)* называется устройство, которое изменяет состояние объекта путем изменения потока вещества или энергии.

В системах автоматизации РО обеспечивает подачу потока вещества или энергии в объект управления. подача необходимого количества вещества или энергии определяется значением сигнала, который вырабатывается управляющими элементами систем автоматизации. Управляющий сигнал определяет необходимость появления управляющего воздействия  $u(t)$ , время действия которого соответствует длительности управляющего сигнала. Длительность управляющего сигнала зависит от того, как долго объект будет находиться в состоянии, отличающемся от заданного.

При работе систем автоматизации РО может находиться в состоянии покоя, т. е. не работать, или в рабочем режиме. Это определяется состоянием объекта управления, которое характеризуется установившимся заданным режимом, что соответствует алгоритму функционирования, или не установившимся режимом. Заданный режим объекта управления обеспечивает состояние покоя РО. Отклонение объекта от заданного устойчивого равновесия, характеризуемого отклонением его управляемых параметров от заданных значений, соответствует появлению управляющего сигнала и включению в работу РО. В случае стабилизации заданного состояния объекта РО прекращает свою работу. Частота включений и отклонений РО в системах автоматизации зависит от состояния объекта, которое, в свою очередь, зависит в определенной мере от свойств объекта.

В зависимости от вида объекта на его неустановившееся состояние могут оказывать влияние потоки вещества или энергии, причем длительность состояния объекта зависит от того, сколько вещества или энергии будет подано в него в единицу времени. Вещество может быть твердым, жидким или газообразным, а энергия – электрической, механической и тепловой. Объект является определяющим фактором в вопросах выбора и разработки вида конструкции РО.

Конструктивно РО может быть представлен простейшим устройством в виде клапана, крана, вентиля, дросселя, задвижки, заслонки, шиберы нагревательного элемента и т. п., а также сравнительно сложными конструкциями в виде насоса, дозатора, питателя, транспортера, вентилятора, компрессора, вакуум-насоса и т. д., вплоть до манипулятора и робота.

В сельскохозяйственном производстве применяются самые разнообразные по физической природе вещества и разнообразная энергия и в соответствии с этим используются различные РО. Вид и конструкция объектов определяют конструктивные особенности применяемых в системах автоматизации РО, а также физическую природу потоков вещества и энергии.

### 7.2. Регулирующие органы для твердых веществ

В сельскохозяйственном производстве используется большое число разнообразных видов твердых веществ [3]: штучные, волокнистые, плохосыпучие, хорошосыпучие вещества. К твердым веществам штучного вида относятся корнеклубнеплоды (картофель, свекла), фрукты без упаковки (яблоки, груши и другие фрукты), а также фрукты и ягоды в упаковках и некоторые другие овощи. Твердыми волокнистыми веществами являются сено, сенаж, солома. К мелким плохосыпучим веществам относятся измельченные корнеклубнеплоды, зеленая трава и сено, комбикорма негранулированные, мука концентрированных кормов (зерна), а также смеси в их разнообразном сочетании. Мелкими хорошосыпучими веществами являются зерно различных культур и гранулированные комбикорма.

Для перемещения твердых веществ штучного вида применяются *скребковые* и *ленточные* питатели, для волокнистых веществ – *битерные* питатели, для мелких плохосыпучих – *шнековые* питатели и для мелких хорошосыпучих – *тарельчатые* питатели и *шнеки*. Потоки смесей твердых веществ в их различном сочетании и различной консистенции регулируются специальными устройствами, например двухвальными шнеками, питателями вибрационного типа, лопастными питателями.

По принципу действия устройства для перемещения и регулирования потоков твердых веществ можно разделить на две

группы: непрерывного действия и циклические, т. е. устройства прерывистого действия.

К питателям непрерывного действия относятся питатели ленточного, вибрационного, тарельчатого, лопастного, барабанного и шнекового типов, которые наиболее широко применяются в качестве РО в системах автоматизации, объектами управления которых являются, например, комбикормовые заводы и кормоцехи.

Работа каждого питателя непрерывного действия характеризуется различными по физической природе параметрами, входящими в соответствующие математические зависимости, определяющие подачу (кг/с) различных твердых веществ.

Пользуясь методом аналогии и анализируя известные и изложенные в существующей литературе [3] формулы подачи твердых веществ различными питателями, можно сделать вывод о том, что они аналогичны с точки зрения функциональной связи между подачей и общими параметрами. Во всех математических зависимостях подача является функцией площади сечения потока вещества  $S$  и скорости его движения  $v$ , т. е.  $Q = f(S, v)$ , где  $Q$  – подача твердых веществ. Учитывая, что площадь сечения потока твердого вещества в каждом виде регулирующего органа (питателя) определяется двумя параметрами: шириной  $B$  и высотой  $h$  регулирующего потока, можно записать функциональную зависимость в следующем виде  $Q = f(B, h, v)$ .

В качестве примера можно использовать ленточный питатель (рис. 7.1), который является РО системы автоматизации, а объектом управления служит, например, кормоцех. Подачу потока твердого вещества штучного вида можно регулировать путем изменения одного из параметров –  $B$ ,  $h$ ,  $v$ . С технической и экономической точек зрения целесообразно регулировать подачу изменением высоты подъема заслонки, т. е. изменением толщины потока твердого вещества. При работе РО ленточного типа перемещение заслонки и изменение толщины регулирующего потока происходят почти мгновенно. Поэтому такой РО в системе автоматизации можно считать звеном безынерционным с точки зрения нарастания или уменьшения потока регулирующей среды. Однако в данном случае в РО проявляется дистанционное запаздывание, которое является одним из свойств любого объекта

управления. Объясняется это тем, что вырабатываемое управляющее воздействие  $u(t)$ , в данном случае в виде подачи  $Q$ , достигает объекта системы автоматизации с некоторым запаздыванием, которое легко определяется по формуле

$$t = l/v,$$

где  $l$  – длина пути перемещения потока вещества в питателе, м;  
 $v$  – скорость движения потока вещества, м/с.

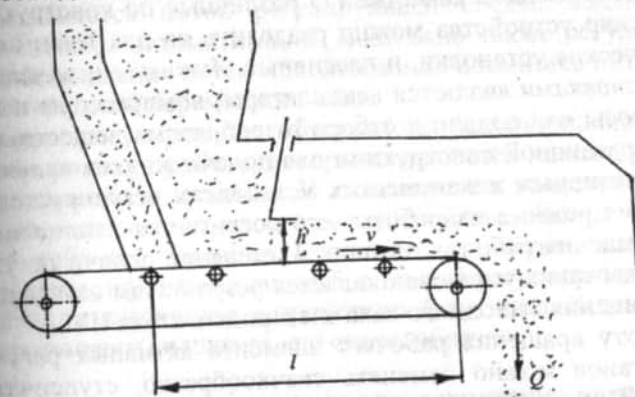


Рис. 7.1. Схема устройства ленточного питателя

Необходимо отметить следующее. Рассмотренный пример системы автоматизации в общем виде предполагает, что она имеет сложный объект управления, и поэтому ленточный питатель выполняет в системе автоматизации функции РО. В других системах автоматизации сам ленточный питатель вполне может быть объектом управления. Тогда регулирующим органом является не он сам, а его конструктивный элемент в виде заслонки приемника питателя.

### 7.3. Регулирующие органы для жидких и газообразных веществ

Жидкие вещества разнообразны по вязкости и консистенции и делятся на тестообразные, полужидкие и жидкие. Тестообразными жидкими веществами являются навоз и различные кормосмеси, влажность которых не превышает 70%. К полужидким веществам относятся кормосмеси 70%-й влажности, а к жидким – вода, обрат, пахта, молоко, моющая жидкость для промыв-

ки доильных установок и другого оборудования. Устройства для подачи потока жидких веществ выбираются в зависимости от их вязкости. Для тестообразных веществ применяются шнековые или скребковые питатели, для полужидких – насосные установки и для жидких – насосы, клапаны, задвижки, краны, вентили.

Поток газообразных веществ регулируется при помощи вакуумных насосов, компрессорных и вентиляционных установок путем их включения или отключения, а также при помощи газовых клапанов, заслонок и других устройств.

Используемые в качестве РО различные по конструкции механические устройства можно разделить на два типа: активные механические установки, и пассивные. *Активными механическими установками* являются вентиляторы, компрессоры и вакуумные насосы для подачи и отбора газообразных веществ, а также насосы различной конструкции для подачи жидких веществ. Подача в активных механических установках регулируется путем изменения режима их работы, что достигается изменением частоты вращения рабочих органов. Изменение подачи регулирующей среды таких установок является результатом изменения частоты вращения выходного вала электродвигателя ИМ.

Частоту вращения рабочего элемента активных регулирующих органов можно изменять скачкообразно, ступенчато или плавно. В соответствии с такими режимами вращения рабочего элемента РО в объект подается регулирующий поток жидких и газообразных веществ также скачкообразно, ступенчато или плавно.

*Скачкообразно* частоту вращения можно регулировать от номинального значения до нуля путем подключения электродвигателя к источнику питания, а затем его отключения от источника питания. При номинальной частоте вращения выходного вала ИМ регулирующим органом подается некоторое время номинальное количество жидкого или газообразного вещества. При отключении электродвигателя от источника питания частота вращения выходного вала ИМ становится равной нулю и прекращается подача в объект системы автоматизации жидкого или газообразного вещества.

*Ступенчатое* регулирование частоты вращения выходного вала ИМ обеспечивается изменением числа пар полюсов, имеющих в электродвигателе, или использованием механического редуктора в виде коробки перемены передач. В результате ступенчато изменяется частота вращения рабочего элемента РО, что приводит к ступенчатому изменению потока подаваемого в об-

ект системы автоматизации жидкого или газообразного вещества во времени.

*Плавное* регулирование частоты вращения короткозамкнутого ротора электродвигателя достигается путем плавного изменения напряжения источника питания с применением, например, тиристорного устройства. В случае использования электродвигателя в ИМ с фазным ротором его частота вращения плавно регулируется путем изменения скольжения, что достигается регулирующим реостатом в цепи ротора. Естественно, что в этом случае плавно изменяется поток регулирующей среды, подаваемой в объект системы автоматизации. Возможно также регулирование частоты вращения путем использования источника питания с различной частотой переменного тока.

*Пассивное* регулирование обусловлено использованием пассивных запорных устройств, которыми являются клапан, краны, вентили, задвижки и заслонки. В этом случае в качестве РО используются активные и пассивные устройства. Когда частота вращения рабочего элемента активного устройства, например насоса, соответствует номинальной, а подача регулирующей среды изменяется пассивным устройством (вентилем, задвижкой), она может изменяться плавно или скачкообразно.

#### 7.4. Регулирующие органы для энергетических потоков

В сельскохозяйственном производстве используются различные виды энергии: электрическая, тепловая, механическая, световая, химическая. Основным, наиболее распространенным видом является электрическая энергия, которая преобразуется в другие виды энергии, например в тепловую, механическую, световую и химическую. Для преобразования электрической энергии в другие виды применяются соответствующие электротехнические устройства, которые используются в системах автоматизации в качестве РО. К таким энергопреобразовательным устройствам относятся электронагревательные элементы (ТЭНы), электродные элементы, электрические лампы светового, инфракрасного и ультрафиолетового излучения, электродвигатели и некоторые другие устройства.

ТЭНы и электродные нагревательные элементы применяются в водогрейных установках семейства КЭВ, ВЭТ и УАП, в парообразователях типа КВ, водогрейных и паровых котлах серий ЭКВ и ЭКП и других нагревательных установках. Как правило, водогрейные и паровые установки оснащаются системами автоматизации, в которых РО являются электрические электропреоб-

разовательные устройства. Практическое применение паровые и водогрейные установки находят на фермах, в ремонтных мастерских, автогаражах, где горячая вода используется для бытовых нужд, заправки в зимний период автомашин и тракторов, а пар – для приготовления кормов и других целей. Применяются также такие установки для локального обогрева бытовых помещений ремонтных мастерских, овощехранилищ, фруктохранилищ и других сооружений.

Электрические лампы разделяются на нагревательные инфракрасного спектра излучения, а также люминесцентные светового и ультрафиолетового спектра излучения и лампы накаливания видимого спектра излучения. Спектр излучения таких ламп достаточно широкий, и потому они находят применение в быту, производственных условиях для обогрева и облучения молодняка птицы и животных, в качестве бактерицидных источников. Электрические лампы используются в различного рода установках как преобразователи электрической энергии в тепловую, световую и энергию бактерицидного действия и выполняют в системах автоматизации функции РО.

В ремонтном деле применяются гальванические операции для покрытия антикоррозийными металлами различных деталей. В процессе электролиза в гальванических ваннах используются специальные электроды, которые выполняют функции РО, так как при помощи электродов, помещенных в соответствующий химический раствор, электрическая энергия преобразуется в химическую.

Для зарядки аккумуляторов широко применяются специальные электротехнические устройства в виде выпрямителей, при помощи которых электрическая энергия преобразуется в химическую.

Отопление теплиц, овощехранилищ и фруктохранилищ осуществляется стационарными отопительными батареями, а также калориферами тепловентиляторов, которые являются преобразователями электрической энергии в тепловую и выполняют в системах автоматизации функции РО.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Дайте определение РО.
2. Назовите РО, выполненные в виде простейших устройств, а также в виде сравнительно сложных конструкций.
3. Приведите примеры РО, применяемые для твердых, жидких и газообразных веществ, а также энергетических потоков.
4. Что представляет собой скачкообразное, ступенчатое и плавное изменение потока регулирующей среды, подаваемой в объект?

## Глава 8. УПРАВЛЯЮЩИЕ МИКРОПРОЦЕССОРЫ И МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ

### 8.1. Общие сведения о микропроцессорах

Любая ЭВМ перерабатывает вводимую в нее информацию и выдает результаты в виде таблиц, графиков, последовательности чисел, текста и т. п. ЭВМ имеют определенные различия. Однако, несмотря на отличительные особенности, каждая ЭВМ имеет четыре основных устройства (рис. 8.1): арифметико-логическое, управляющее, запоминающее и устройство ввода-вывода информации.



Рис. 8.1. Структурная схема ЭВМ

*Арифметико-логическое устройство (АЛУ)* выполняет арифметические и логические операции над числами, которые представлены в виде двоичного кода.

*Управляющее устройство (УУ)* управляет работой АЛУ и других устройств ЭВМ. УУ обеспечивает управление по специальным командам, порядок выполнения которых определяется заданной программой.

АЛУ и УУ работают в тесном взаимодействии и представляют собой единое целое – центральный процессор, сокращенно *процессор* (от англ. слова to process – обрабатывать). Современная интегральная технология обеспечивает выполнение элементов процессора в виде одной или нескольких больших интегральных схем (БИС). Такие процессоры получили название микропроцессоров (МП).

*Микропроцессор* – это программно управляемое устройство, непосредственно обеспечивающее процесс обработки цифровой информации и управление им, построенное на одной или нескольких БИС.

*Программа* – это алгоритм преобразования данных в форме последовательности команд ЭВМ.

*Команда* – указание, определяющее один шаг в общем процессе выполнения программы.

*Запоминающее устройство (ЗУ)* представляет собой изделие, реализующее память.

*Память* – это функциональная часть ЭВМ, предназначенная для запоминания и (или) выдачи данных.

*Данные* – информация, представленная в формализованном виде и предназначенная для обработки ее техническими средствами, например ЭВМ, или уже обработанная ими.

*Устройства ввода-вывода (УВВ)* информации (периферийные устройства) служат для преобразования входной информации в вид, необходимый для ввода в ЭВМ, а также обеспечивают вывод из ЭВМ результатов переработки информации в виде таблиц, графиков, последовательности чисел и т. п.

По назначению МП разделяются на универсальные и специализированные.

*Универсальным* является МП общего назначения, используемый для решения различных задач. Такой МП входит в состав ЭВМ широкого применения. *Специализированный* МП служит для решения конкретной задачи по вполне определенной программе.

Микропроцессор используется в определенном сочетании с интегральным ЗУ, а также с БИС вспомогательного назначения, обеспечивающими сопряжение МП с ЗУ, УВВ и другими внешними устройствами. Определенные сочетания указанных устройств образуют различные структуры вычислительных цифровых систем управления.

*Вычислительная система (ВС)* – это совокупность нескольких ЭВМ с обобщенными или индивидуальными периферийными устройствами, взаимно координирующих свою работу при решении одной или нескольких различных задач и воспринимаемых каждым из пользователей как функциональное единое целое.

*МикроЭВМ* – это ЭВМ, состоящая из микропроцессора, полупроводниковой памяти, средств связи с периферийными устройствами, а при необходимости пульта управления и источника питания, объединенных общей несущей конструкцией.

*Управляющая микроЭВМ* – это микроЭВМ, которая использует данные (информацию) о процессе и вырабатывает выходные сигналы, управляющие работой объектов, которые участвуют в этом процессе.

*МиниЭВМ* – малая вычислительная машина, имеющая широкое применение благодаря малым габаритам, низкой стоимости, относительно высокой производительности.

## 8.2. Структура микропроцессора

Микропроцессор (рис. 8.2) имеет в своем составе три основных узла: арифметико-логическое устройство, управляющее устройством и узел регистров. Связь между этими узлами обеспечивает внутренняя шина данных. Эта шина имеет линии, число которых соответствует разрядности МП (например, для восьмиразрядного МП эта шина имеет восемь линий). По линиям передаются восьмиразрядные (восьмибитовые) слова (байты) и командная информация. Между узлами МП по внутренней шине данных передаются слова в обоих направлениях, но в разные непересекающиеся временные интервалы.

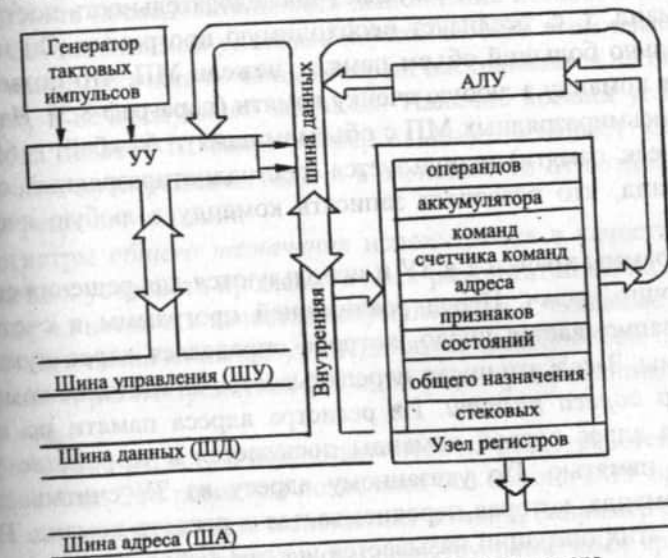


Рис. 8.2. Структурная схема микропроцессора

Основным узлом МП является АЛУ, которое обрабатывает данные. АЛУ выполняет операции: сложение, вычитание, логическое сложение (ИЛИ), логическое умножение (И), сложение по модулю 2 (ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ), инверсию, сдвиг, пересылку. Обычно АЛУ имеет два входа, называемые *входными портами*, и один выход, называемый *выходным портом*. Данные во входные порты АЛУ поступают из внутренней шины данных или из специального регистра, называемого *аккумулятором*, через *буферные* регистры или регистры *операндов*, которые обеспечивают временное хранение данных.

Аккумулятор имеет буферный регистр, через который из него во вход АЛУ поступают данные. Результат выходного порта АЛУ поступает в аккумулятор, называемый также накопительным регистром, или накопителем. Буфер аккумулятора исключает одновременное подключение к аккумулятору входа и выхода АЛУ.

УУ управляет работой АЛУ и внутренними регистрами. Оно извлекает из регистра *команд* очередную команду, дешифрирует ее, т. е. выполняет необходимое цифровое кодирование, и обеспечивает выполнение закодированной команды в АЛУ.

*Счетчик команд* обеспечивает последовательность поступления команд, т. е. реализует необходимую программу. Он имеет значительно больший объем памяти, нежели МП, что позволяет записать команду в любую ячейку памяти (параграф 8.3). Например, в восьмиразрядных МП с объемом памяти 64 кбайт = 65536 слов (ячеек памяти) используется шестнадцатиразрядный счетчик команд, что позволяет записать команду в любую ячейку памяти.

Программы хранятся в ЗУ и используются для решения соответствующих задач. Перед реализацией программы в счетчик команд записывается число, которое определяет адрес нужной программы. Затем это число переписывается из счетчика команд в регистр *адреса памяти*. Из регистра адреса памяти по шине адреса адрес первой команды посылается в устройство управления памятью. По указанному адресу из ЗУ считывается первая команда, которая переписывается в регистр команд. Выполнение этих операций называется *циклом выборки*, или *фазой адресации*.

После записи команды в регистр УУ выполняется ее распознавание (декодирование). Для этого в АЛУ поступают сигналы, стимулирующие выполнение данной команды. Этот процесс называется *циклом* (или *фазой*) *выполнения команды*.

Цикл выборки совместно с циклом выполнения команды образуют *цикл команды*.

В начале выполнения цикла команды показания счетчика команд автоматически увеличиваются на единицу, т. е. счетчик настраивается на следующую команду. Следовательно, в процессе выполнения цикла команды счетчик содержит адрес следующей команды.

Регистр *признаков* (флажковый регистр) обеспечивает индикацию различных признаков результатов операций, которые выполняет АЛУ: нулевой результат, переполнение и др. Регистр состоит из триггеров, называемых флажками, которые в зависимости от проявления того или иного признака устанавливаются в состояние 0 или 1. Эта информация необходима программисту при составлении и отладке программы вычислений.

Регистр *состояний* воспринимает информацию из регистра признаков. В зависимости от значений признаков позволяет также изменять последовательность выполнения команд и осуществлять так называемые *условные переходы*. При этом изменяется содержание счетчика команд, который настраивается на выборку нужной, а не следующей команды. Наличие команд условного перехода делает МП более универсальным, позволяет выбирать различные пути решения задачи в зависимости от возникающих в ходе решения условий.

Регистры *общего назначения* используются в качестве запоминающих устройств промежуточных результатов вычислений и команд, а иногда и в качестве аккумуляторов. Отдельные регистры общего назначения могут соединяться между собой последовательно и рассматриваться как один регистр с большим числом разрядов.

*Стековые* регистры подразделяются на регистры стека и указатель стека. Эти регистры позволяют без обмена с ЗУ организовать последовательность выполнения команд, например последовательность выполнения по старшинству различных арифметических действий. Стековые регистры подключаются так, что

записанная в первый регистр первая команда при записи второй команды «проталкивается» во второй регистр, а в первом регистре оказывается записанной вторая команда. При записи третьей команды первая переходит в третий регистр, вторая – во второй и т. д. При выборке команд из стека первой выбирается последняя, затем предпоследняя и т. д., подобно тому как из штабеля дров первым берется последнее положенное полено (от англ. stack – штабель).

Количество регистров, или глубина стека, является важной характеристикой МП. Для увеличения глубины стека его часто организуют в некоторой области внешнего ЗУ.

Указатель стека определяет адрес ячейки памяти (разряда) стека, выполненной последней командой. Эта ячейка памяти называется *вершиной стека*. После выборки команды из стека содержимое указателя стека уменьшается на 1, а при записи в стек очередной команды – увеличивается на 1.

Генератор тактовых импульсов является высокостабильным устройством и обеспечивает взаимодействие и координацию работы всех узлов МП. Тактовые импульсы генератора формируют циклы команд и машинные циклы. *Машинным циклом* называется время, требуемое для извлечения одного байта (восьмиразрядного слова) информации из памяти ЗУ или выполнения команды, определяемой одним машинным словом.

### 8.3. Запоминающие устройства

В процессе обработки информации возникает необходимость запоминания текущих значений сигналов на некоторое, часто длительное, время с последующим воспроизведением. Такой информацией могут быть исходные данные, программы решения задач, различные константы, промежуточные и конечные результаты вычислений и др. Элементами памяти в ЭВМ являются запоминающие устройства.

*Запоминающие устройства* обеспечивают запись, хранение и выдачу информации, которая необходима для решения различных задач на ЭВМ.

Информация в виде слов (слов) в двоичном коде располагается в ячейке памяти, состоящей из запоминающих элементов

(ЗЭ). Один ЗЭ может хранить записанное число 0 или 1. Это означает, что такой ЗЭ обладает емкостью в 1 бит. При наличии в ячейке памяти  $N$  ЗЭ ее емкость составляет  $N$  бит. Число запоминающих элементов в ячейке памяти определяет ее разрядность и разрядность записываемого в нее слова. Восьмиразрядное (восьмибитовое) слово называется байтом.

Операция записи в ячейке памяти ЗУ кодового слова называется *записью информации*, а операция извлечения из ЗУ хранимого слова – *считыванием информации*. Часто запись и считывание информации называют *обращением к ЗУ*. Каждая ячейка памяти имеет свой адрес (номер) в ЗУ, которые называются *адресными*. В безадресных ЗУ обращение к ячейкам памяти выполняется по специальным признакам слов, хранимых в памяти ЭВМ.

Важнейшими параметрами ЗУ является емкость и быстродействие.

*Емкость* ЗУ выражается в битах и определяется произведением числа ячеек памяти в ЗУ на их разрядность. Емкость может выражаться также в байтах или словах.

*Быстродействие* ЗУ определяется временем, которое затрачивается на одно обращение к памяти ЭВМ для записи или считывания информации. Быстродействие ЗУ определяет скорость вычислительных процессов и, следовательно, производительность ЭВМ.

Память ЭВМ определяется совокупностью ЗУ, имеющих различную емкость и быстродействие. С учетом этих параметров принято различать следующие ЗУ:

- *сверхоперативные ЗУ (СОЗУ)*, период обращения которых составляет десятые или сотые доли микросекунды, а емкость – от  $10^3$  до  $10^5$  бит;

- *оперативные ЗУ (ОЗУ)*, у которых период обращения составляет 0,5...10 мкс, а емкость –  $10^4$ ... $10^6$  бит. ОЗУ используются для хранения программ вычислений и данных, необходимых для вычисления;

- *постоянные ЗУ (ПЗУ)* с периодом обращения 0,1...10 мкс и емкостью  $10^4$ ... $10^7$  бит. В ПЗУ информация записывается при их изготовлении и в дальнейшем не изменяется. В качестве такой

информации могут быть различные константы, таблицы функций, постоянно используемые программы и подпрограммы;

- *внешние ЗУ (ВЗУ)*, имеющие период обращения от десятков миллисекунд до десятков и сотен секунд и емкость  $10^6 \dots 10^{10}$  бит. ВЗУ используются для хранения больших массивов информации, которые непосредственно в вычислительном процессе не используются и при необходимости передаются в ОЗУ через буферные ЗУ;

- *буферные ЗУ (БЗУ)* используются в качестве промежуточно устройства памяти, через которые выполняется обмен информацией между ОЗУ и ВЗУ. Период обращения БЗУ составляет от единиц микросекунд до десятков миллисекунд, а емкость –  $10^5 \dots 10^8$  бит.

Для построения ЗУ используются материалы, изготовленные элементы из которых имеют два или более состояний устойчивого равновесия. В ЭВМ первого и второго поколений в ЗУ широко использовались ферритовые сердечники. Однако время обращения таких ЗУ было значительно, что ограничивало быстродействие ЭВМ.

С развитием микроэлектроники появилась возможность использования для изготовления ЗУ материалы, представляющие собой статические и динамические неоднородности в однородном объеме твердого тела.

*Статические неоднородности* присущи микроскопическим областям полупроводниковых приборов, свойства которых не должны изменяться за все время хранения и эксплуатации интегральных микросхем. При построении ЗУ используются элементы интегральной микроэлектроники, схематический путь развития которой связан с изготовлением в одном кристалле полупроводника большого числа электронных приборов. С возрастанием уровня интеграции размеры статических неоднородностей уменьшаются, однако такое уменьшение допустимо до некоторого предела, что в определенной мере ограничивает плотность упаковки элементов в ИМС.

Свойством статической неоднородности обладают некоторые полупроводниковые материалы, из которых изготавливаются запоминающие элементы в виде интегральных триггеров. Они изготавливаются на основе биполярных структур, МДП-структур

(структура металл – диэлектрик – полупроводник), комплементарных МДП-структур (КМДП-структур), МОП-структур (структура металл – оксид – полупроводник), МНОП-структур (структура металл – нитрид кремния – оксид – полупроводник). МНОП транзистор отличается от МОП- или МДП-транзистора тем, что у него между пленкой диоксида кремния  $\text{SiO}_2$  и металлическим затвором помещается слой нитрида кремния  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Заряд, накопленный на границе раздела  $\text{Si}_3\text{N}_4 \dots \text{SiO}_2$ , может сохраняться при отключенном питании в течение нескольких тысяч часов. Способность МНОП-транзисторов сохранять записанную информацию при отключенном источнике питания позволяет использовать их при построении постоянных ЗУ.

В последние годы проводятся исследования новых физических принципов и эффектов с целью создания принципиально новых электронных устройств. Это направление получило название функциональной электроники. Работа приборов функциональной электроники, связанной с обработкой и хранением информации, основана на использовании *динамических неоднородностей* в однородном объеме твердого тела.

Построение новых электронных устройств связано с использованием гановских электрических доменов (ГЭД), цилиндрических магнитных доменов (ЦМД), пакетов зарядов в приборах с зарядовой связью (ПЗС), поверхностных и объемных акустических волн и др. Длительность существования динамических неоднородностей может быть кратковременной – в электронных устройствах, выполненных на основе приборов с зарядовой связью, или долговременной – в устройствах, изготовленных на основе ЦМД. Такие неоднородности создаются физическими методами и исчезают при снятии внешнего возбуждающего фактора. Динамические неоднородности обладают способностью управляемого переноса по объему тела и могут выполнять перенос сигнала как в аналоговой, так и в дискретной форме.

При создании функциональных устройств обнадеживающие результаты получены в нескольких направлениях исследований: акустоэлектронике, магнитоэлектронике, квантовой микроэлектронике и др.

Примером ЗУ на основе ПЗС может служить следующая схема (рис. 8.3), которая представляет собой цепочку МДП-кон-

денсаторов. В таком ЗУ динамическими неоднородностями являются пакеты зарядов неосновных носителей, создаваемых у поверхности полупроводника под действием внешнего электрического поля.

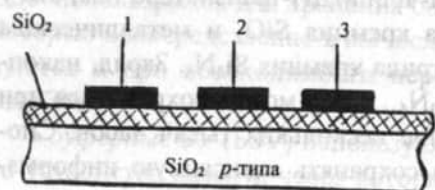


Рис. 8.3. Структурная схема прибора с зарядовой связью

При подаче на первый электрод положительного напряжения основные носители заряда, которыми являются дырки, уходят в глубину подложки. В результате под этим электродом образуется обедненная основными носителями область, которая получила название *потенциальной ямы*. В образовавшуюся потенциальную яму собираются неосновные носители заряда, которыми являются электроны и которые создают в ней некоторый заряд (зарядовый пакет).

Если потом на второй электрод подавать напряжение  $u_2 > u_1$ , то под этим электродом образуется более глубокая потенциальная яма. В эту яму переходит заряд неосновных носителей из первой потенциальной ямы и т. д. Расстояния между электродами очень малые, что обеспечивает перетекание зарядовых пакетов из одной потенциальной ямы в другую без потерь на диффузию.

Запоминающими устройствами на основе ЦМД (рис. 8.4) являются магнитные пленки, в которых ЦМД представляют собой малые области. Размеры ЦМД могут быть от единиц до десятков микрометров. Намагниченность этих областей определяется напряженностью магнитного поля  $H_n$ , которая противоположна намагниченности пленки  $H_p$ . Энергия ЦМД тем меньше, чем меньше магнитное поле. Поэтому ЦМД стремятся перейти из области сильных магнитных полей в область более слабых, называемых *магнитными энергетическими ямами*. Это свойство используется при управлении движением ЦМД, направление которого показано горизонтальной стрелкой.

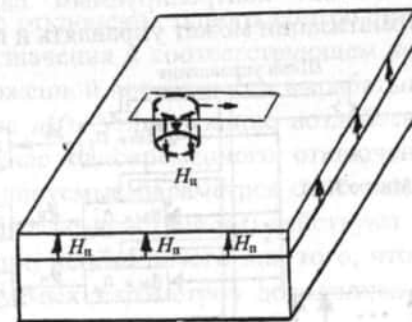


Рис. 8.4. Запоминающий элемент на основе цилиндрического магнитного домена

Память, созданная на основе ЦМД, обладает высоким быстродействием и стойкостью к радиации. Время записи составляет  $1,5 \cdot 10^{-4}$  с, время считывания —  $10^{-7}$  с, а время цикла —  $5 \cdot 10^{-7}$  с. ЦМД позволяют выполнять многократную перезапись информации, а записанная информация сохраняется и при отключении источников питания.

#### 8.4. Микропроцессоры в системах управления объектами

В настоящее время достаточно широко используются в системах автоматизации МП для управления различными объектами. Для одних объектов системы автоматизации с применением МП уже разработаны, для других — находятся в стадии разработки.

Согласно материалам [23], возможны два направления при создании новых систем автоматического управления.

*Первое* обусловлено использованием центральных управляющих микроЭВМ, которые обрабатывают исходные данные (информацию) об объекте и вырабатывают управляющие сигналы. Их можно применять для управления сложными объектами или группами объектов, например работой кормоцехов и раздачей кормов в животноводстве и птицеводстве, а также функционированием тепличного овощеводства и другими не менее сложными техническими процессами.

Это направление систем автоматизации может быть отражено в виде общей структурной схемы, показанной на рис. 8.5. Структурная схема представляет САУ сложным объектом. Рассматриваемая система управления является связанной многомерной, так как управление объектом обеспечивается по

нескольким контролируемым параметрам  $x$ . Такая система автоматизации может управлять и группами объектов.

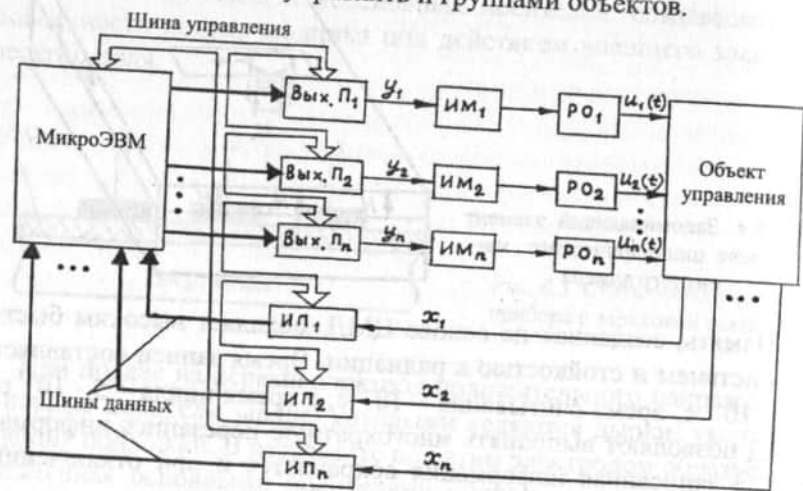


Рис. 8.5. Структурная схема системы автоматизации с центральной управляющей микроЭВМ: Вых. П<sub>1</sub>...Вых. П<sub>n</sub> – выходные преобразователи; ИП<sub>1</sub> – ИП<sub>n</sub> – измерительные преобразователи контролируемых параметров объекта управления; ИМ<sub>1</sub>... – ИМ<sub>n</sub> – исполнительные механизмы; РО<sub>1</sub>...РО<sub>n</sub> – регулирующие органы

Программа, используемая в управляющих микроЭВМ, может носить различный характер и состоять из нескольких самостоятельных частей. Например, одна часть является собственно временной программой, обеспечивающей функционирование отдельного конкретного объекта во времени, другая – содержит предписание поддерживать некоторые контролируемые параметры  $x$  на заданных уровнях  $x_0$ , а третья – предписание изменять некоторые параметры по заданному закону и т. п. Каждая часть программы может носить самостоятельный характер и обеспечивать выполнение заданного алгоритма управления с целью обеспечения необходимого алгоритма функционирования объекта.

Измерительные преобразователи ИП<sub>1</sub>, ИП<sub>2</sub>, ..., ИП<sub>n</sub> контролируют состояние объекта по значениям параметров  $x$  и такая информация непрерывно поступает в микроЭВМ. Далее информация проходит соответствующую обработку и цифровое кодирование. Одновременно текущие значения параметров  $x$  сравни-

ваются с заданными. В случае отклонения одного контролируемого параметра от заданного значения в соответствующем контуре управления с учетом заложенной погрешности вырабатывается управляющее воздействие  $u(t)$ . Управляющие воздействия вырабатываются также в случае одновременного отклонения нескольких или всех  $n$  контролируемых параметров от их заданных значений, т. е. управляющие воздействия  $u(t)$  действуют таким образом в течение времени, необходимого для того, чтобы текущие значения контролируемых параметров доводились до заданных.

Так, выходные преобразователи Вых. П<sub>1</sub>, Вых. П<sub>2</sub>, ..., Вых. П<sub>n</sub>, в каждый из которых может входить ЦАП, обеспечивают декодирование выработанных микроЭВМ управляющих сигналов. В выходных преобразователях дискретные значения преобразуются в аналоговые (непрерывные) с учетом заданного алгоритма управления. Далее управляющие сигналы  $u$  действуют на исполнительные механизмы, которые через регулирующие органы стабилизируют работу объекта по каждому контролируемому параметру.

В такой системе автоматизации реализуется программа, содержание которой определяет стабилизацию значений контролируемых параметров объекта.

Кроме рассмотренной системы управления сложным многомерным объектом центральная микроЭВМ может обеспечивать также управление несколькими отдельными объектами, имеющими по одному контролируемому параметру. В этом случае система автоматизации с микроЭВМ представляет собой некоторую совокупность одномерных систем управления. Виртуальная структура такой системы автоматизации (рис. 8.6) включает  $n$  одномерных систем автоматического регулирования, каждая из которых представляет собой замкнутый контур в виде главной обратной связи и имеет свою программу управления ПУ<sub>1</sub>, ПУ<sub>2</sub>, ..., ПУ<sub>n</sub>. Контролируемый параметр  $x$  каждого объекта может иметь различную или одинаковую физическую природу.

В этом случае возможна реализация нескольких самостоятельных программ. Одна из них, например, является временной и обеспечивает функционирование каждого объекта в заданное время. Другая программа может быть разработана для стабили-

зации значения контролируемого параметра одного или нескольких объектов, а третья, например, – с целью изменения контролируемого параметра объекта (объектов) по заданному закону и т. п.

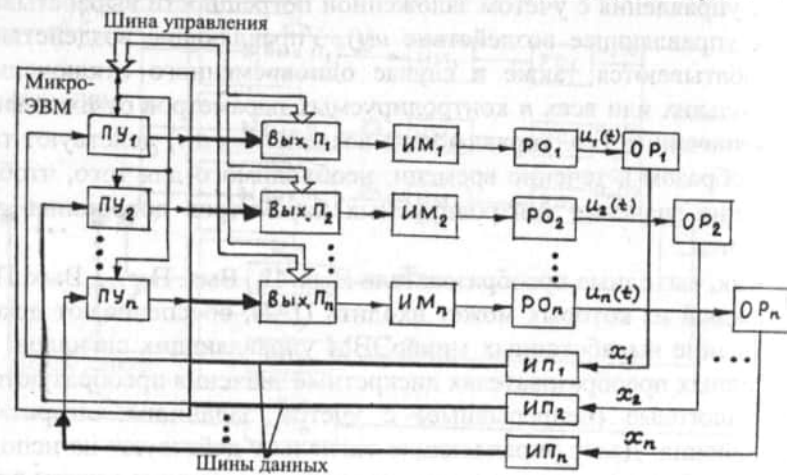


Рис. 8.6. Виртуальная структура системы автоматизации центральной микроЭВМ: ПУ<sub>1</sub>, ..., ПУ<sub>n</sub> – программы управления; ОР<sub>1</sub>, ..., ОР<sub>n</sub> – объекты регулирования

Управляющее воздействие  $u(t)$  может вырабатываться центральной микроЭВМ для каждого объекта регулирования с учетом отклонения контролируемого параметра от заданного значения. Возможно также обслуживание микропроцессором каналов управления в определенной очередности. Такая очередность может выполняться как по жесткой, например, временной программе, так и по мере поступления заявок от отдельных каналов управления с учетом вносимых в программу изменений. Возможен также учет приоритетного обслуживания тех или иных заявок.

В каждом случае программа управления разрабатывается на основе алгоритма функционирования конкретного объекта.

Второе направление развития систем автоматизации с микроЭВМ представляет собой использование в каждом контуре управления автономной микроЭВМ, часто называемой микроконтроллером. Структурная схема с микроконтроллерами МК<sub>1</sub>, МК<sub>2</sub>, ..., МК<sub>n</sub> представляет собой систему автоматизации (рис. 8.7), в которой используются упрощенные варианты мик-

роЭВМ, размещаемые в непосредственной близости от объектов управления. В микроконтроллерных системах автоматизации центральная ЭВМ может отсутствовать или быть и выполнять функции диспетчера.

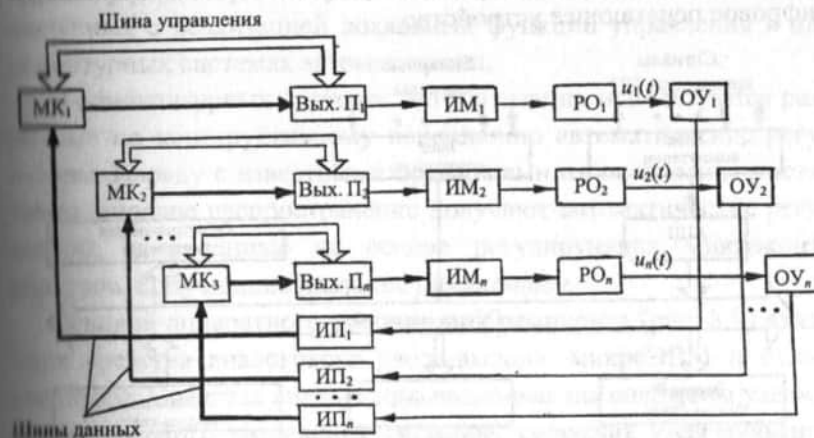


Рис. 8.7. Структурная схема системы автоматизации с микроконтроллерами: МК<sub>1</sub>, ..., МК<sub>n</sub> – микроконтроллеры; ОУ<sub>1</sub>, ..., ОУ<sub>n</sub> – объекты управления

Внедрение микроЭВМ в системы управления различными объектами обеспечивает простоту замены элементной базы и определенное расширение функций аппаратуры, а также создает принципиально новые возможности в построении управляющих комплексов. Системы управления могут включать как автономные микроЭВМ (микроконтроллеры), так и дополнительно центральную ЭВМ, которая может выполнять функции оптимизации, учета, планирования и координации работы различных объектов.

Примером реализации централизованного контроля и управления может служить комплекс А360-34 с базовой моделью А330-25, выполненной на основе микроЭВМ «Электроника С5-02». Этот комплекс обеспечивает сбор, измерение, обработку и регистрацию управляемых процессов, а также формирование оптимальных управляющих воздействий  $u(t)$ , необходимых для управления объектом.

Базовая микропроцессорная система управления А330-25 (рис. 8.8) представляет определенную совокупность цифровых

устройств (узлов). Она включает блок коммутации бинарных сигналов с 40 входами; АЦП; входной и выходной модули связи; перепрограммируемую память; периферийное и регистрирующее оборудование, обеспечивающее ввод данных и программ, вывод информации на видеоконтрольное устройство и на алфавитно-цифровое печатающее устройство.

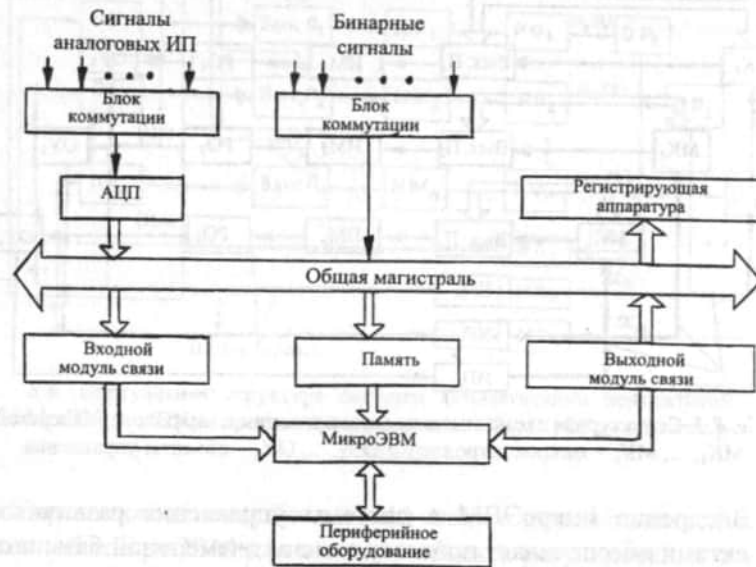


Рис. 8.8. Структурная схема модуля А330-25

Использование системы управления А330-25 предполагает управление многомерными объектами. В производственных условиях возникает задача измерения десятков, а возможно, и более контролируемых параметров и сбор информации от большого числа измерительных преобразователей. Эффективное решение задачи дистанционного сбора информации возможно при использовании вынесенных измерительных станций. Они могут обрабатывать аналоговые сигналы первичных преобразователей и передавать выходные цифровые сигналы по линии в виде проводов в центральный микропроцессорный блок.

Вынесенные измерительные станции имеют микропроцессор, мультиплексор и аналого-цифровой преобразователь. Это позволяет обходиться без сложных и дорогих кабельных линий и уст-

ройств обработки сигналов, необходимых для передачи аналоговых сигналов в центральный блок обработки данных.

Использование вынесенных микропроцессоров позволяет разгрузить процессорный блок от многих дополнительных задач, связанных с реализацией локальных функций управления в одноконтурных системах автоматизации.

В одноконтурных системах автоматизации используются различные по конструктивному исполнению автоматические регуляторы. Наряду с известными принципами их построения достаточно широкое распространение получают автоматические регуляторы, построенные на основе регулирующих микроконтроллеров, получившие название *ремиконтов*.

Основой аппаратного обеспечения ремиконта (рис. 8.9) являются средства аналогового ввода-вывода, микроЭВМ и пульт оператора. Средства аналогового ввода-вывода снабжены узлами гальванического разделения сигналов, содержат узел мультиплексирования аналоговых входных сигналов и группу преобразователей: АЦП, ЦАП, дискретно-цифровой и цифро-дискретный преобразователи (ДЦП и ЦДП).



Рис. 8.9. Структурная схема ремиконта

*Мультиплексор* (коммутатор) представляет собой логическое устройство, используемое для последовательного опроса логических состояний большого числа переменных и передачи их на один выход.

Узлы гальванического разделения обеспечивают подавление помех общего вида, а также работу с источниками информации, находящимися под различными потенциалами.

Ремиконт является основным элементом локальной системы автоматизации. Входные цепи ремиконта рассчитаны на подключение аналоговых и дискретных ИП. Входная аналоговая и дискретная информация преобразуется в цифровую форму и обрабатывается в микроЭВМ так, что в выходных цепях появляются сформированные сигналы, способные управлять исполнительными механизмами. Ремиконт программируется с помощью специализированной клавишной панели.

На выходе ремиконта используются ЦАП, число которых соответствует числу выходных цепей. Такая особенность построения ремиконта обусловлена необходимостью запоминать значение каждого управляющего сигнала после прекращения вычислительного процесса.

Структура построения ремиконта такова, что позволяет сопрягать его с аналоговыми и дискретными ИП, с исполнительными механизмами пропорционального, интегрирующего, позиционного и другого действия.

### 8.5. Некоторые примеры применения микропроцессоров в системах автоматизации

Применение МП, которые являются основной составной частью микроЭВМ, представляет начало переломного периода в области автоматизации различных объектов сельскохозяйственного производства, что проявляется в принципиально новом подходе при создании систем автоматизации, обеспечивающих эффективное управление объектами различной сложности. Микропроцессоры в составе микроЭВМ выполняют функции управления, регулирования и контроля с возможным изменением уставок регулятора системы автоматизации вручную или по программе. Это позволяет изменять алгоритм управления регулятора

с целью обеспечения необходимого алгоритма функционирования объекта управления.

Всесоюзный институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ) разработал на базе микроЭВМ автоматизированную информационную систему «Электроника-60», которая обеспечивает оперативный зоотехнический учет. Такая система создает фонд достоверной информации, что позволяет своевременно планировать и перегруппировывать стадо по продуктивности и физиологическим стадиям лактации, автоматизировать часто повторяемые расчетные операции по ведению календаря каждого животного.

Исходными данными, которые вводятся в микроЭВМ, являются номера животных, секций или групп; даты перевода из группы (секции) в группу (секцию); даты последних пяти отелов; ежемесячные удои, жирность молока и некоторые другие параметры. На основе таких данных определяются планы отелов, а также перегруппировок стада. Экономический эффект выражается в приросте продуктивности стада на 5...7% [18] в тех же хозяйственных условиях, что и до применения подобной системы автоматизации.

При беспривязном содержании коров ВИЭСХ предлагает систему автоматизации (рис. 8.10) для раздачи концентрированных кормов животным в зависимости от продуктивности и физиологического состояния каждого из них. Это устраняет обезличку и обеспечивает строгую индивидуальность в кормлении животных.

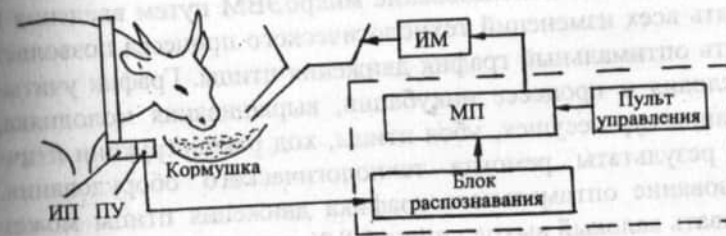


Рис. 8.10. Структурная схема САУ раздачи концентрированных кормов.

МикроЭВМ включает микропроцессор (МП) с устройством памяти, блок распознавания, пульт управления, источник питания и средства связи с периферийными устройствами. Наряду с микроЭВМ в систему автоматизации входят также ИМ, РО, функции которого выполняет дозатор; ИП, закрепленный на ошейнике животного, а также приемное устройство (ПУ), обеспечивающее передачу сигнала ИП в блок распознавания.

При подходе животного к кормушке ИП входит в электрическое взаимодействие с ПУ. В блоке распознавания сигнал расшифровывается, т. е. определяется конкретное животное с его параметрами, и далее сигнал поступает в МП. Согласно программе, записанной в МП, вырабатывается управляющий сигнал, который действует на ИМ и включает его в работу. По программе МП дозатор выдает порции корма с таким интервалом, чтобы животное успевало его поесть. Суточная норма концентрированного корма каждому животному скармливается малыми порциями и распределяется в течение суток согласно программе. Этим обеспечивается хорошая переваримость и усвояемость корма, что обеспечивает более экономичное его расходование. При использовании такой системы автоматизации молочная продуктивность каждой коровы увеличивается на 150...200 кг в год.

Автоматизированная система управления с использованием микроЭВМ (АСУ «Молоко») позволяет анализировать деятельность хозяйства, контролировать план выполнения продажи молока, автоматизировать учет надоя и оперативно управлять процессами заготовки и транспортировки молока. Экономическая эффективность от внедрения АСУ «Молоко» составляет 100 тыс. руб. в год в ценах 1988 г.

В птицеводстве использование микроЭВМ путем введения в ее память всех изменений технологического процесса позволяет получить оптимальный график движения птицы. График учитывает условия в процессе инкубации, выращивания молодняка, содержания кур-несушек, убоя птицы, ход реконструкции птичников, результаты ремонта технологического оборудования. Использование оптимального графика движения птицы может увеличивать валовый выход яиц на 1,8 % и снижать падеж птицы на 5 %.

Автоматизированные системы управления сбором, заготовкой и транспортированием чая (АСУ «Чай»), винограда (АСУ «Ртвели»), овощей (АСУ «Овощи») обеспечивают эффективное выполнение трех основных функций: информационного обеспечения процессов сбора, сдачи-приема и переработки сырья; ежедневного планирования и оперативного управления; механизации учета заготовок, анализа процессов сбора, сдачи-приема и переработки сырья, контроля за выполнением плана.

Автоматизированная обработка оперативной информации о работе сельскохозяйственных предприятий РАПО (АСУ «РАПО») на базе микроЭВМ позволяет упорядочить процесс сбора информации, ее обработки и получения оперативных сводок. Срок окупаемости такой АСУ составляет два года.

МикроЭВМ эффективно используется в системах оперативного ежесуточного планирования и управления работой уборочно-транспортно-заготовительного комплекса при уборке зерновых и сахарной свеклы. Такая система автоматизации окупается в течение первого уборочного сезона.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что представляет собой ЭВМ?
2. Дайте определение МП и объясните его структуру.
3. Объясните назначение ЗУ и их классификацию.
4. Приведите примеры и объясните сущность ЗУ, относящихся к приборам функциональной электроники.
5. Объясните содержание двух возможных направлений создания систем автоматизации.
6. Что представляют собой микроконтроллеры и ремиконты?
7. Назовите экономические параметры при использовании систем автоматизации на основе микроЭВМ.

## РАЗДЕЛ II

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

#### Глава 9. Автоматизация процессов приготовления и раздачи кормов

##### 9.1. Общие сведения

Измельчение кормов является важной технологической операцией в процессе их подготовки к скармливанию и играет весьма значительную роль в усвоении питательных веществ организмом животного. Вторым не менее важным моментом является уменьшение энергии животных на разжевывание кормов. Наибольший эффект достигается при скармливании кормов в виде их смесей. На животноводческих фермах измельчают зерно злаковых, бобовых и масличных культур, сено, кукурузу в початках, корнеклубнеплоды, пищевые отходы, прессованные жмыхи.

При подготовке кормов к скармливанию животным применяются различные машины и механизмы. Так, для измельчения всевозможных кормов применяются различные конструкции дробилок. Измельчение грубых и сочных кормов, а также фуражного зерна производится универсальными дробилками КДУ-2 и ДКМ-5. Кроме того, при помощи дробилки КДУ-2 можно приготавливать кормовые смеси из нескольких компонентов с введением жидких добавок. Дробилки Ф-1М, КДМ-2, ДБ-5 предназначены для измельчения фуражного зерна для различных видов и возрастных групп животных и птицы. Кормодробилку можно использовать как отдельную машину или в комплексе оборудования кормоприготовительных цехов. Дробилка безрешетчатая ДБ-5 выполняется в двух модификациях: ДБ-5-1 применяется как самостоятельная машина, ДБ-5-2 не имеет загрузочного и выгрузного шнеков и используется для комплектации комбикормовых агрегатов.

Процесс подготовки различных видов кормов на животноводческих фермах является не только энерго- и трудоемким, но и требующим качественной их переработки. Важную роль в повышении эффективности кормоперерабатывающих машин играет их автоматизация. На крупных животноводческих фермах применяются стационарные кормоприготовительные цехи (сооружения), в которых различного рода машины и механизмы концентрируются в технологические линии для качественной переработки и смешивания значительных потоков различных кормов и добавок. Для управления такими технологическими линиями в основном применяются

*автоматизированные системы управления (АСУ), иногда системы автоматизированного управления (САУ).* В случае использования машин в качестве самостоятельной кормоприготовительной единицы их оснащают САР, а также некоторые из них – устройством для *дистанционного управления.* Так, для дистанционного управления электроприводом кормодробилок КДУ-2 и КДМ-2 применяется комплектное устройство типа ЯАА-5301-3874 У2. Такое устройство обеспечивает пуск электродвигателя по схеме «звезда» с последующим переключением его статорных обмоток на схему «треугольник», а также отключение электродвигателя при его перегрузке при помощи встроенной температурной защиты (УВТЗ-1).

На свиноводческих фермах и фермах крупного рогатого скота эксплуатируется большое количество различных кормоцехов, имеющих, как правило, по несколько поточных технологических линий, каждая из которых предназначена в основном для обработки одного вида корма. Кормоцех служит для приготовления кормовых смесей, состоящих из различных видов кормов и обогащенных растворов. Каждый компонент, т. е. вид обработанного корма, дозированно вводится в смесь в соответствии с заданным рационом и зоотехническими требованиями. Процесс приготовления кормовой смеси является, как правило, стационарным, а раздача может быть осуществлена по двум вариантам. Первый вариант предусматривает загрузку приготовленной кормовой смеси в мобильный кормораздатчик, транспортировку к месту кормления животных и последующую нормированную раздачу. Второй вариант заключается в том, что приготовленная кормовая смесь нормированно раздается животным стационарным раздатчиком.

## 9.2. Система автоматизации дробилок ДБ-5 и ДКМ-5

Каждая дробилка имеет загрузочный и выгрузной шнеки, дробильный агрегат и шкаф управления с системой автоматизации. Дробилка ДКМ-5 в отличие от ДБ-5 дополнительно измельчает грубые корма и свежескошенные травы за счет имеющегося в ней специального питателя. Оба типа дробилок (ДБ-5, ДКМ-5) оснащаются аналогичными системами автоматизации. Система автоматизации обеспечивает два режима работы дробильного агрегата дробилки: *наладочный* и *рабочий*.

В случае реализации режима «Наладка» имеется возможность независимого включения каждого механизма дробилки в отдельности во время технического обслуживания, монтажа и обкатки. В режиме «Работа» также выполняется технологическая последовательность включения механизмов (загрузочного и выгрузного шнеков, дробильного агрегата) дробилки в последовательности, обратной направлению перемещения исходного материала (сыпучей массы) при его измельчении.

Система автоматизации (рис. 9.1) каждой дробилки включает следующие технические средства: автоматический регулятор загрузки А1, магнитные пускатели КМ, электромагнитную муфту YA, реле времени КТ, реле напряжения KV, путевые выключатели SQ, переключатель режима работы дробилки SA2 и некоторые другие устройства.

В наладочном режиме переключатель SA2 (рис. 9.1) находится в положении «Наладка». При нажатии на кнопочные выключатели SB2, SB4, SB6, имеющие замыкающий контакт, срабатывают магнитные пускатели КМ1, КМ2, КМ4. Срабатывание магнитных пускателей заключается в следующем. После запитывания напряжением 220 В катушек КМ1, КМ2, КМ4 магнитных пускателей, что является результатом нажатия на кнопочные выключатели, протекающий по катушке ток порождает магнитное поле. В результате возникает магнитный поток, замыкающийся по магнитопроводу, и подвижная часть магнитопровода притягивается к неподвижной под действием электромагнитной силы.

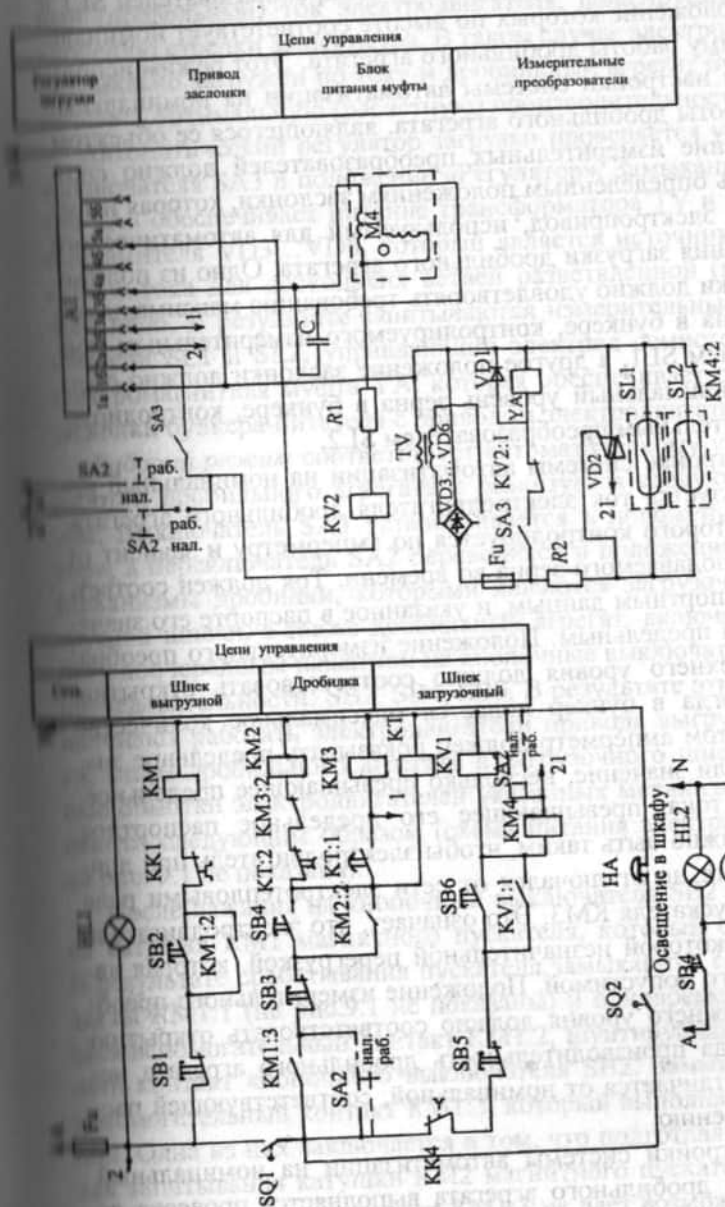


Рис. 9.1. Принципиальная электрическая схема системы автоматизации дробилок ДБ-5 и ДКМ-5

В режиме «Наладка» можно выполнять наладочные работы, связанные с установкой измерительных преобразователей SL1 и SL2, расположение которых по высоте соответствует номинальному режиму работы дробильного агрегата. Этот режим используется для настройки системы автоматизации на номинальный режим работы дробильного агрегата, являющегося ее объектом. Расположение измерительных преобразователей должно соответствовать определенным положениям заслонки, которая имеет отдельный электропривод, используемый для автоматического регулирования загрузки дробильного агрегата. Одно из положений заслонки должно удовлетворять требованию максимального уровня зерна в бункере, контролируемого измерительным преобразователем SL1, а другое положение заслонки должно обеспечивать минимальный уровень зерна в бункере, контролируемый измерительным преобразователем SL2.

При настройке системы автоматизации на номинальный режим используется ток электродвигателя дробильного агрегата, значение которого контролируется по амперметру и зависит от количества подаваемого зерна во времени. Ток должен соответствовать паспортным данным, и указанное в паспорте его значение является предельным. Положение измерительного преобразователя верхнего уровня должно соответствовать открытию заслонки, когда в бункер подается максимальное количество зерна. При этом амперметр должен показывать предельное значение тока или значение, несколько превышающее предельное. Отклонение тока, превышающее его предельное паспортное значение, должно быть таким, чтобы электродвигатель при длительной работе не отключался от сети электротепловыми реле магнитного пускателя КМ3. Это означает, что электродвигатель работает с некоторой незначительной перегрузкой, которая является для него допустимой. Положение измерительного преобразователя нижнего уровня должно соответствовать открытию заслонки, когда производительность дробильного агрегата незначительно отличается от номинальной, соответствующей паспортному значению.

После настройки системы автоматизации на номинальный режим работы дробильного агрегата выполняется проверка ее работы в автоматическом режиме, т. е. работа автоматического

регулятора загрузки. Критерием оценки должен быть номинальный (предельный) ток электродвигателя, фиксируемый по отклонению стрелки амперметра. В таком случае электродвигатель оптимально загружен по току и дробильный агрегат будет обеспечивать оптимальную (расчетную) производительность.

Автоматический регулятор загрузки проверяется установкой выключателя SA3 в положение «Регулятор». Замыкание контактов SA3 обеспечивает питание трансформатора TV и мостового выпрямителя VD3...VD6, который является источником постоянного тока для нескольких ветвей разветвленной (параллельной) цепи. В результате запитываются измерительные преобразователи SL1 и SL2, управляющий электрод семистора VD2 и электромагнитная муфта YA, которая обеспечивает соединение заслонки бункера-питателя с приводом электродвигателя M4.

*Рабочий режим* соответствует автоматическому управлению работой дробильного агрегата и реализуется следующим образом. Выключатель SA3 устанавливается в положение «Регулятор», а переключатель SA2 переводится в положение «Работа». Механизмы дробилки, которыми являются загрузочный и выгрузной шнеки, а также дробильный агрегат, включаются в работу поочередным нажатием на кнопочные выключатели в такой последовательности: SB2, SB4, SB6. В результате этих действий начинают работать электродвигатели привода выгрузного шнека, затем дробильного агрегата и загрузочного шнека. Статорные обмотки электродвигателей указанных механизмов запитываются следующим образом (схема питания электродвигателей на рис. 9.1 не показана).

После нажатия на кнопочный выключатель SB2 запитывается катушка КМ1 магнитного пускателя, который срабатывает. В результате срабатывания пускателя замыкаются силовые контакты КМ1:1 (на рис.9.1 не показаны) и одновременно замыкается вспомогательный контакт КМ1:2, шунтирующий замыкающий контакт кнопочного выключателя SB2. Замыкается также вспомогательный контакт КМ1:3, который выполняет две функции. Одна из них заключается в том, что подготавливается цепь для запитывания катушки КМ2 магнитного пускателя, а другая сводится к тому, что контакт КМ1:3 не дает возможности включать в работу электродвигатель привода дробильного агрегата

раньше электродвигателя привода выгрузного шнека, что исключает нарушение технологической последовательности включения обоих механизмов.

Электродвигатель привода дробильного агрегата запускается без нагрузки по схеме «звезда» с последующим автоматическим переключением статорных обмоток на схему «треугольник». Это облегчает пуск электродвигателя за счет снижения пускового тока. Такой пуск электродвигателя происходит следующим образом.

После замыкания контакта кнопочного выключателя SB4 подается напряжение на катушку KM2 магнитного пускателя и реле времени КТ. Магнитный пускатель срабатывает так, что одновременно замыкаются силовые контакты KM2:1 (на рис. 9.1 не показаны) и вспомогательный контакт KM2:2, который шунтирует кнопочный выключатель SB4. Запитываются статорные обмотки электродвигателя, которые соединены по схеме «звезда», и ротор дробильного агрегата начинает вращаться, увеличивая обороты. С выдержкой времени 10 с после запитывания реле времени КТ оно срабатывает и замыкается его контакт КТ:1, что обеспечивает питание автоматического регулятора загрузки А1 через узел 1 и катушки KM3 магнитного пускателя. Силовые контакты KM3:1 (на рис. 9.1 не показаны) обеспечивают переключение статорных обмоток электродвигателя на схему «треугольник» и питание обмоток осуществляется уже линейным напряжением, что повышает мощность электродвигателя. Одновременно размыкаются контакт КТ:2 реле времени и вспомогательный контакт KM3:2, и катушка KM2 обесточивается, что возвращает магнитный пускатель в исходное состояние, т. е. размыкаются силовые контакты KM2:1 и вспомогательный контакт KM2:2.

Кнопочный выключатель SB6 запитывает своим контактом катушку KV1 реле напряжения, контакт KV1:1 которого шунтирует кнопочный выключатель. Одновременно запитывается катушка KM4 магнитного пускателя и симистор VD2. Срабатывание магнитного пускателя KM4 выражается в том, что его силовые контакты KM4:1 (на рис. 9.1 не показаны) запитывают электродвигатель привода загрузочного шнека, а вспомогательный KM4:2 размыкается в цепи преобразователя SL2.

Автоматический регулятор загрузки А1 обеспечивает необходимую подачу зерна в дробильный агрегат при помощи электродвигателя М4, который через электромагнитную муфту YA соединяется с заслонкой. По мере необходимости увеличения потока подаваемого зерна в камеру дробильного агрегата электродвигатель М4 в большей степени открывает заслонку. При достижении номинальной загрузки зерном дробильного агрегата открытие заслонки останавливается в таком положении, чтобы поддерживался номинальный режим работы дробильного агрегата.

Автоматическое управление процессом загрузки камеры дробильного агрегата зерном, т. е. автоматическое управление работой дробильного агрегата в заданном номинальном режиме, обеспечивается автоматически регулятором загрузки А1 следующим образом.

Автоматический регулятор А1 управляет работой дробильного агрегата по значению контролируемого тока, протекающего по одной из статорных обмоток электродвигателя привода этого агрегата. Значение контролируемого тока электродвигателя зависит от степени загрузки дробильного агрегата зерном. Поэтому изменение подачи зерна в камеру дробильного агрегата приводит к изменению значения контролируемого тока. При увеличении подачи зерна возрастает нагрузка дробильного агрегата и увеличивается ток в обмотках электродвигателя. Уменьшение подачи зерна приводит соответственно к уменьшению тока. Свойство закономерности, проявляющееся между подачей зерна и значением контролируемого тока, положено в основу работы автоматического регулятора загрузки А1.

В автоматическом регуляторе контролируемый ток электродвигателя преобразуется в выпрямленное напряжение, сравниваемое со стабилизированным (опорным) напряжением постоянного тока, которое является эталоном и эквивалентно номинальному, т. е. заданному току.

Если контролируемый ток становится меньше номинального значения на 14...20 %, что соответствует меньшей подаче зерна в камеру дробильного агрегата, элементы регулятора А1 срабатывают так, что ротор электродвигателя М4 начинает вращаться в сторону открытия заслонки. Это приводит к увеличению пода-

чи зерна в камеру дробления. В результате контролируемый ток электродвигателя дробильного агрегата увеличивается. При достижении током своего номинального значения ротор электродвигателя М4 останавливается, удерживая заслонку в соответствующем положении.

Возможны случаи, когда значение контролируемого тока может превышать заданное, т. е. номинальное. Тогда элементы регулятора А1 срабатывают так, что ротор электродвигателя М4 начинает вращаться в обратную сторону. Заслонка бункера-питателя поворачивается в сторону уменьшения подачи зерна в камеру дробления, и это приводит к уменьшению значения контролируемого тока. Электродвигатель М4 работает до тех пор, пока контролируемый ток не снизится до заданного значения.

Если контролируемый ток значительно превысит допустимое отклонение от заданного значения, т. е. возникает значительная перегрузка электродвигателя привода дробильного агрегата, то запитывается реле напряжения (реле перегрузки) КV2, которое своим контактом КV2:1 разрывает цепь питания электромагнитной муфты YA. Заслонка теряет активный привод от электродвигателя М4 и под действием груза перекрывает поступление зерна в камеру дробильного агрегата.

*Примечание.* В случае применения заслонки без электромагнитной муфты YA в автоматическом регуляторе А1 предусмотрены такие конструктивные элементы, которые включают электродвигатель М4 привода заслонки на непрерывное вращение его ротора в сторону уменьшения подачи зерна в камеру дробления до полного прекращения подачи зерна.

Возможны также случаи уменьшения подачи зерна ниже минимально допустимого значения, что фиксируется элементами регулятора А1 по значению контролируемого тока. Тогда соответствующие элементы регулятора А1 вырабатывают необходимый электрический прерывистый сигнал, действие которого обеспечивает периодическое включение электродвигателя М4 в сторону увеличения подачи зерна в камеру дробления, что повышает значение контролируемого тока.

При скачкообразных перегрузках дробильного агрегата такой же характер изменения имеет контролируемый ток. Тогда автоматический регулятор А1 запитывает катушку КV2 реле пере-

грузки, которое своим контактом КV2:1 отключает электромагнитную муфту YA от источника питания, и заслонка опускается вниз, прекращая тем самым подачу зерна в камеру дробления.

Импульсный режим работы автоматического регулятора А1 обеспечивает устойчивое регулирование даже при значительном запаздывании, которое может иметь место в системе подачи зерна в камеру дробильного агрегата, т. е. в работе механизмов, обеспечивающих подачу зерна.

Электродвигатель привода загрузочного шнека работает в повторно-кратковременном режиме. При достижении зерном измерительного преобразователя SL1 верхнего уровня происходит отключение электродвигателя привода загрузочного шнека. Под действием массы зерна замыкаются контакты SL1, которые шунтируют цепь управляющего сигнала VD2. В результате симистор VD2 не получает необходимого питания и запирается, что приводит к обесточиванию катушки KM4 магнитного пускателя, и электродвигатель привода загрузочного шнека прекращает работу. Одновременно замыкается вспомогательный контакт KM4:2 и дополнительно шунтируется симистор VD2, что усиливает запирающие воздействия на него. Повторное включение электродвигателя возможно только после освобождения зерном измерительных преобразователей SL1 и SL2.

Путевой выключатель SQ1 исключает пуск электродвигателя дробильного агрегата при открытом люке дробильного барабана. Путевой выключатель SQ2 срабатывает при полностью открытой заслонке бункера-питателя и включает сирену HA.

### 9.3. Автоматизация раздачи кормов на фермах крупного рогатого скота

В настоящее время на фермах крупного рогатого скота применяется более 50 различных конструкций раздатчиков и раздаточных устройств. Их можно разделить на стационарные и мобильные. К стационарным раздатчикам относятся РВК-Ф-74, КРС-Ф-15А, КЛО-75, КЛК-75, ТКР-20А и др. Мобильными раздатчиками являются КТУ-10А, РММ-Ф-6, РМК-17, РСР-10, АРС-10. Применяются также электромобильные раздатчики кормов, например КСА-5Б, КЭМ, КБ-4 и др.

Раздатчик РВК-Ф-74 (взамен ТВК-80Б) достаточно широко применяется на фермах КРС. Он смонтирован в кормушке и предназначен раздавать крупному рогатому скоту все виды кормов, кроме жидких. Кормораздатчик обслуживает одну продольную кормушку и представляет собой ленточный транспортер, приводную и натяжную станции, продольную кормушку и загрузочный лоток. Лента является основным рабочим органом раздатчика и движется при его работе челночно по дну кормушки. Холостая ветвь ленточного транспортера представляет собой цепь, расположенную под дном кормушки. Перед началом работы ленту раздатчика заводят под дно кормушки почти полностью, оставляя на дне кормушки ее небольшую часть для приема первой порции корма. Корма подвозятся прицепным мобильным кормораздатчиком КТУ-10А, который является питателем-дозатором. При движении ленты в сторону стойла животных она перемещает определенный слой корма, поступающего из кормораздатчика КТУ-10А. Как только лента с кормом дойдет до своего конечного (правого) положения, ее движение прекращается в результате срабатывания путевого выключателя. После кормления лента возвращается в исходное положение. Одновременно с возвратом ленты кормушка самоочищается от остатков корма, который удаляется из помещения транспортером.

Возможен также вариант использования кормораздатчика КТУ-10А в качестве стационарного питателя-дозатора с электрическим приводом. Тогда корм подвозится любыми транспортными средствами и разгружается в накопительную емкость КТУ-10А.

Процесс раздачи животным кормов и удаление их остатков из помещения может обеспечиваться в автоматическом режиме. Для этого применяется система автоматического управления кормораздаточной линией (рис. 9.2), которая позволяет управлять раздачей в *автоматическом и ручном режимах*. Технологическая линия раздачи кормов (рис. 9.3) включает питатель-дозатор типа КТУ-10А, работающий в стационарном режиме, ленту раздатчика, расположенную в кормушке, и транспортер для удаления остатков корма.

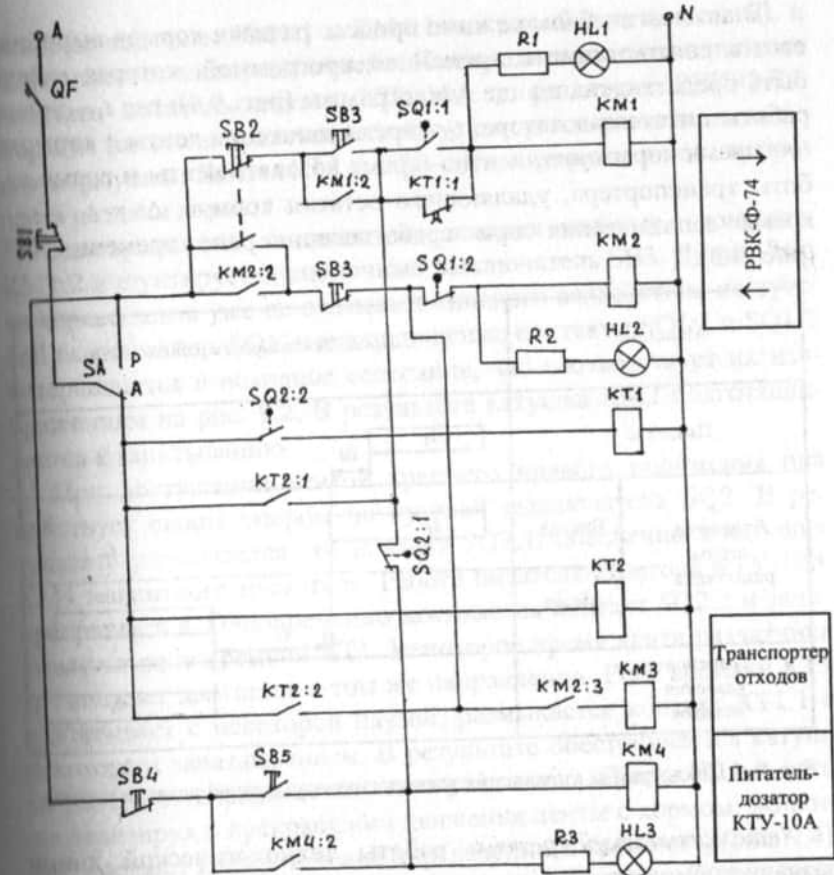


Рис. 9.2. Принципиальная электрическая схема САУ кормораздаточной линией

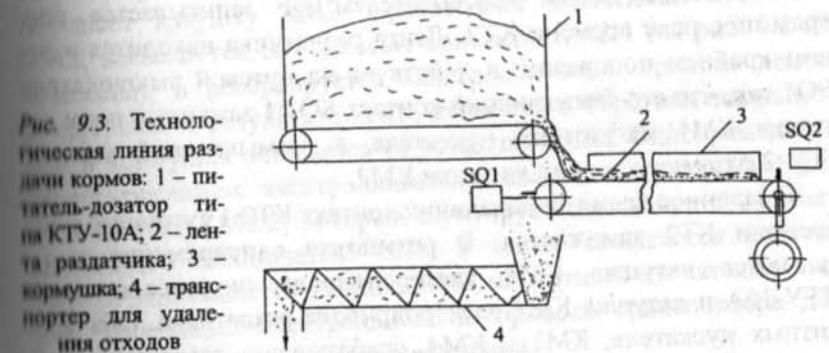


Рис. 9.3. Технологическая линия раздачи кормов: 1 – питатель-дозатор типа КТУ-10А; 2 – лента раздатчика; 3 – кормушка; 4 – транспортер для удаления отходов

В автоматическом режиме процесс раздачи кормов выполняется в соответствии с временной программой, которая может быть представлена в виде циклограммы (рис. 9.4): где  $t_1$  – время работы питателя-дозатора;  $t_2$  – время движения ленты с кормом;  $t_3$  – время кормления,  $t_4$  и  $t_5$  – время возврата ленты и время работы транспортера, удаляющего остатки кормов;  $\Delta t = t_2 - t_1$  – время запаздывания при срабатывании реле времени КТ1 (рис. 9.2).

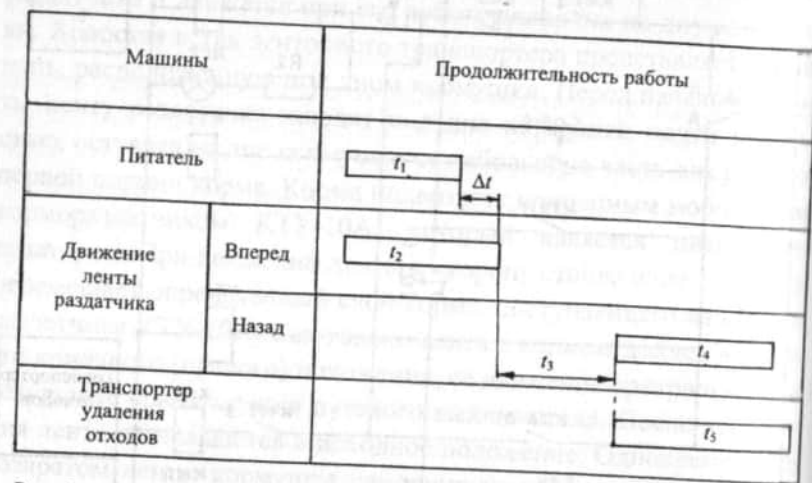


Рис. 9.4. Циклограмма управления технологической линией раздачи кормов

*Автоматический режим* работы технологической линии раздачи кормов протекает следующим образом (рис. 9.2).

Переключатель режима работы SA ставится в положение «А». Автоматическим выключателем QF запитывается программное реле времени КТ2. Лента раздатчика находится в левом крайнем положении и действует на путевой выключатель SQ1 так, что его замыкающий контакт SQ1:1 замкнут в цепи катушки КМ1 магнитного пускателя, а размыкающий контакт SQ1:2 разомкнут в цепи катушки КМ2.

В заданное время замыкающий контакт КТ2:1 суточного реле времени КТ2 замыкается. В результате одновременно запитываются катушка КМ4 электропривода питателя-дозатора КТУ-10А и катушка КМ1 электропривода раздатчика. Оба магнитных пускателя, КМ1 и КМ4, срабатывают, замыкаются их

силовые контакты КМ1:1 и КМ4:1 (на рис. 9.2 не показаны), и запитываются электродвигатели. Почти одновременно начинают работать питатель-дозатор КТУ-10А и раздатчик РВК-Ф-74. Корм из питателя подается на ленту, которая перемещает его по дну кормушки. Лампы HL1 и HL3 сигнализируют о начале процесса раздачи корма.

Одновременно замыкаются вспомогательные контакты КМ1:2 и шунтируется кнопочный выключатель SB3. Движущаяся вправо лента уже не оказывает силового воздействия на путевой выключатель SQ1, и его подвижные контакты SQ1:1 и SQ1:2 возвращаются в исходное состояние, что соответствует их изображению на рис. 9.2. В результате катушка КМ2 подготавливается к запитыванию.

При достижении лентой крайнего правого положения она действует своим упором на путевой выключатель SQ2. В результате размыкается его контакт SQ2:1, обеспечивая катушку КМ4 магнитного пускателя. Работа питателя-дозатора КТУ-10А прекращается. Одновременно замыкается контакт SQ2:2 и запитывается реле времени КТ1. Некоторое время лента раздатчика продолжает двигаться в том же направлении. Реле времени КТ1 срабатывает с некоторой паузой, размыкается контакт КТ1:1 с некоторым запаздыванием. В результате обесточивается катушка КМ1 и останавливается лента раздатчика. Лампа HL1 гаснет, сигнализируя о прекращении движения ленты с кормом. Животные поедают корм в течение определенного времени  $t_3$  (рис. 9.4).

После окончания кормления через заданное время снова срабатывает реле времени КТ2, которое своим контактом КТ2:2 запитывает катушку КМ2. Срабатывает магнитный пускатель КМ2, замыкаются его силовые контакты КМ2:1 (на рис. 9.2 не показаны), и реверсируется электродвигатель привода ленты раздатчика. В результате лента движется в обратном направлении и кормушка очищается от остатков корма. Одновременно с реверсированием электродвигателя замыкается вспомогательный контакт КМ2:2, который шунтирует замыкающий контакт кнопочного выключателя SB2, а также замыкается контакт КМ2:3. Запитывается катушка КМ3 магнитного пускателя, который запитывает электродвигатель привода транспортера для удаления остатков корма из помещения.

Когда лента раздатчика достигает исходного первоначально положения, ее упор действует на путевой выключатель SQ1. В результате его замыкающий контакт SQ1:1 замыкается, а размыкающий контакт SQ1:2 размыкается, и катушка KM2 не получает питания. Лента раздатчика останавливается. Одновременно размыкаются вспомогательные контакты KM2:2 и KM2:3, обесточивается катушка KM3, что приводит к остановке транспортера отходов. Рабочий цикл автоматического управления работой кормораздатчика закончен.

Следующий цикл автоматической раздачи корма начинается следующим образом. Через заданное время срабатывает суточное реле времени KT2, и кормораздаточная линия снова начинает работать в автоматическом режиме в результате замыкания контактов KT2:1 и KT2:2.

Экстренная остановка всех механизмов кормораздаточной линии обеспечивается нажатием на кнопочный выключатель SB1.

Ручной режим работы кормораздаточной линии обеспечивается после установки переключателя SA в положение «Р» и последующего использования кнопочных выключателей SB2, SB3, SB4 и SB5.

#### 9.4. Автоматизация раздачи кормов на свиноводческих фермах

Кормораздатчики для свиней применяются подвижные (мобильные) и стационарные. Для привода рабочих органов раздатчиков и их перемещения используются электродвигатели, которые питаются от сети переменного тока или аккумуляторных батарей, а также двигателей внутреннего сгорания.

Одним из применяемых электромобильных кормораздатчиков является бункерный раздатчик КСМ-Ф-1,2, имеющий систему кабельного питания от источника переменного тока. Он предназначен для раздачи в две рядом расположенные кормушки гранулированных и полужидких кормов, измельченной зеленой массы и измельченных корнеклубнеплодов. Раздатчик представляет собой самоходную двухосную тележку, передвигающуюся над двумя рядами кормушек по рельсовому пути.

расположенному на эстакаде. На тележке смонтирован бункер, внутри которого расположены два шнека, подающие корм к выгрузным окнам. На раме тележки расположены три независимых электропривода: один – для привода механизма передвижения, второй – для привода насоса и третий – для привода шнеков. Электродвигатели питаются от источника переменного тока напряжением 380/220 В с помощью лотковой системы кабельного питания.

Система автоматизации (рис. 9.5) обеспечивает выполнение технологического процесса раздачи кормов в ручном (наладочном) и автоматическом режимах. При наладочном режиме оператор управляет работой насоса, шнеками и передвижением кормораздатчика, а также процессом подачи увлажненного корма в кормушки по обе стороны или на одну из сторон.

Автоматический режим работы системы автоматизации обеспечивает автоматическое управление работой насоса, шнеков и передвижением кормораздатчика при одновременной подаче корма в две кормушки или в одну из них. Этот режим позволяет свести к минимуму ручные операции при раздаче кормов. Работа оператора сводится к установке автоматического режима при помощи соответствующих элементов системы автоматизации, а также к выполнению наладочных работ и операций технического обслуживания кормораздатчика.

В системе автоматизации использованы следующие технические средства управления и защиты: автоматические выключатели QF, защитно-отключающее устройство FA, электромагниты YA, реле времени KT, магнитные пускатели KM, путевые выключатели SQ, переключатель режима работы SA, выключатели NA1, SA2, SA3.

Подготовка к работе кормораздатчика в автоматическом режиме заключается в следующем. Предварительно выполняются необходимые операции в такой последовательности. Переключатель SA устанавливается в положение +45°, что обеспечивает замыкание контактов 3–4, 5–6, 7–8 и подачу напряжения от источника питания к автоматическим выключателям. Каждый автоматический выключатель, QF1, QF2 и QF3, устанавливается вручную в положение «Включено».

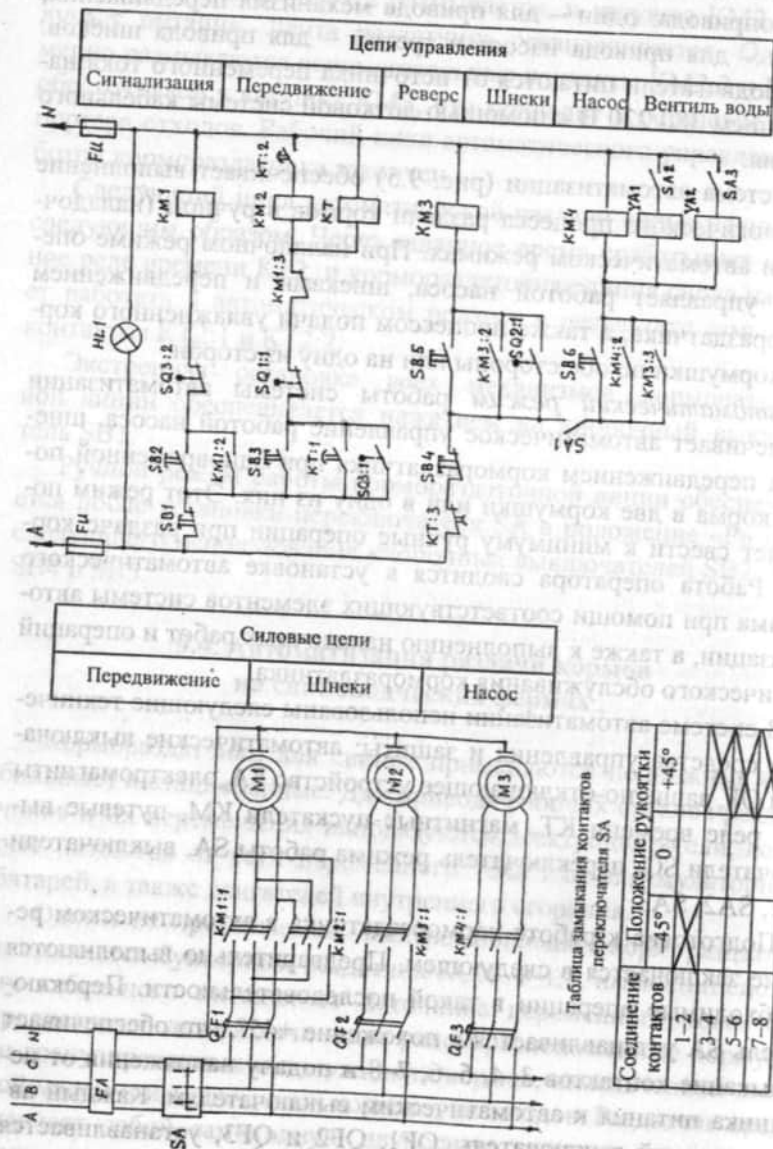


Рис. 9.5. Принципиальная электрическая схема системы автоматизации кормораздатчика КСМ-Ф-1.2

Устанавливаются в положение «Включено» также выключатели SA1, SA2 и SA3. Одновременно выполняется операция по загрузке бункера кормораздатчика необходимым количеством корма. После выполнения необходимых операций используется кнопочный выключатель SB2, который обеспечивает начало работы кормораздатчика в автоматическом режиме.

*Примечание.* Кормораздатчик находится в таком первоначальном исходном состоянии, что на рычаг путевого выключателя SQ1, имеющего только одну пару контактов, действует неподвижно расположенный на рельсах упор. В результате его размыкающий контакт SQ1:1 разомкнут.

При нажатии на кнопочный выключатель SB2 запитывается фазным напряжением цепь, в которой расположена катушка KM1 магнитного пускателя. В результате срабатывания магнитного пускателя замыкаются силовые контакты KM1:1, а также вспомогательный контакт KM1:2, который шунтирует кнопочный выключатель SB2, что обеспечивает электропитание катушки KM1 на время движения раздатчика в одну сторону. Подается напряжение на статорные обмотки электродвигателя M1, который при помощи передаточного устройства обеспечивает необходимую скорость передвижения кормораздатчика по рельсовому пути в направлении кормушек.

При подходе кормораздатчика к кормушкам, что определяет начало зоны кормления, срабатывает путевого выключатель SQ2 в результате контактирования его рычага с неподвижным упором и замыкается его контакт SQ2:1. Это приводит к запитыванию напряжением катушки KM3 магнитного пускателя. Его срабатывание вызывает замыкание силовых контактов KM3:1, что приводит к пуску электродвигателя M2 и началу работы шнеков. Одновременно вспомогательный контакт KM3:2 шунтирует контакты SQ2:1 путевого выключателя SQ2, а вспомогательный контакт KM3:3 запитывает катушку KM4 магнитного пускателя, а также катушки YA1 и YA2 электромагнитов. Срабатывает магнитный пускатель KM4, который силовыми контактами KM4:1 пускает в работу электродвигатель M3 привода насоса,

а вспомогательный контакт КМ4:2 шунтирует кнопочный выключатель SB6. Электромагниты YA1 и YA2 открывают вентили подачи воды. Происходит увлажнение корма и его подача шнеками в кормушку.

В конце зоны кормления установлен на рельсах неподвижный упор, и потому срабатывает путевой выключатель SQ3. Это приводит к тому, что замыкающий его контакт SQ3:1 замыкается, а размыкающий контакт SQ3:2 размыкается. Разомкнутый контакт SQ3:2 обесточивает катушку КМ1 магнитного пускателя, который возвращается в свое первоначальное состояние, и электродвигатель М1 прекращает работу, что приводит к остановке кормораздатчика. Замкнутые контакты SQ3:1 запитывают реле времени КТ, которое срабатывает с запаздыванием.

По истечении заданной выдержки реле времени срабатывает так, что одновременно замыкаются контакты КТ:1 и КТ:2 и размыкается контакт КТ:3. Разомкнутый контакт КТ:3 обесточивает катушки КМ3, КМ4, YA1 и YA2, что приводит к остановке шнеков, насоса и отключению подачи воды. Замкнутые контакты КТ:1 и КТ:2 запитывают катушку КМ2 магнитного пускателя, который обеспечивает своими силовыми контактами КМ2:1 реверсирование электродвигателя М1.

В результате кормораздатчик передвигается назад, возвращаясь в исходное первоначальное состояние для загрузки новой порции корма. В момент возврата кормораздатчика на исходную позицию срабатывает путевой выключатель SQ1. Его размыкающий контакт SQ1:1 обесточивает катушку КМ2 магнитного пускателя, который прекращает работу электродвигателя М1, и кормораздатчик останавливается. Одновременно обесточивается реле времени КТ.

Лампа HL1 сигнализирует о запитывании элементов системы автоматизации фазным напряжением, а также об их обесточивании.

Экстренная остановка кормораздатчика обеспечивается нажатием на кнопочный выключатель SB1.

Система автоматизации обеспечивает автоматическое управление кормораздатчиком по программе, разработанной в функции пройденного пути.

*Ручной и наладочный режимы* предполагают ручное управление всеми операциями технологического процесса раздачи корма кормораздатчиком. Переключатель SA1 устанавливается в положение  $-45^\circ$ , а автоматические выключатели QF1, QF2 и QF3 – в положение «Включено». После загрузки бункера кормораздатчика порцией корма кнопочным выключателем SB2 пускается в работу электродвигатель М1, и кормораздатчик передвигается в направлении кормушек. В дальнейшем оператор управляет процессом раздачи корма, используя кнопочные выключатели SB3, SB4 и выключатели SA1, SA2 и SA3. Путевые выключатели срабатывают при этом в результате действия неподвижных упоров, расположенных на рельсах, на их подвижные рычаги.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Объясните работу дробилок ДБ-5, ДКМ-5 и кормораздатчиков РВК-Ф-74, КСМ-Ф-1,2 в ручном и автоматическом режиме.
2. Как настроить автоматический регулятор загрузки на нужный режим работы дробилки?
3. Объясните работу автоматического регулятора при перегрузке и недогрузке дробильного агрегата, а также при номинальной подаче зерна в дробилку.
4. Разработайте алгоритм функционирования кормораздатчика КСМ-Ф-1,2 для работы в автоматическом режиме.
5. Как настроить САУ кормораздатчиками на нужный алгоритм функционирования?
6. Какой принцип управления реализован в приведенных системах автоматизации?
7. Определите наличие и вид обратной связи в рассмотренных системах автоматизации.

## Глава 10. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ДОЕНИЯ И ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ МОЛОКА

### 10.1. Общие сведения

Технологический процесс доения коров характеризуется многообразием операций, которыми являются передвижение коров к месту доения и их фиксация или перемещение доильных аппаратов к месту доения, подготовка вымени к доению и надевание доильных стаканов на соски, машинное доение и додаивание, сбор молока с предварительной очисткой и учетом, нормированная выдача концентрированных кормов, возврат коров в стойла, мойка доильных аппаратов. Наиболее сложной и трудоемкой является операция доения.

Для доения коров в стойлах применяются установки АД-100Б, ДАС-2В, АДМ-8А, АИД-1-01, используемые в основном при привязном содержании животных. При беспривязном и боксовом содержании коров применяются доильные установки УДА-8А «Тандем», УДА-16А «Елочка», УДА-12Е «Елочка» и УДА-100 «Карусель», каждая из которых располагается в доильном зале. Эти установки можно применять также при привязном содержании коров, используя групповые привязи.

В разработке и изготовлении доильных установок приняты два направления. Одно из них связано с использованием технических средств пневмоавтоматики, а другое – с использованием технических средств электроавтоматики. В соответствии с этим некоторые доильные установки, например УДА-8 и УДА-16, имеют два исполнения: основное исполнение с пневматической системой управления и исполнение 01 с электронной системой управления.

Современные доильные установки, обеспечивающие доение коров в залах, представляют собой автоматизированные системы управления (АСУ), в которых автоматизированы отдельные операции. В таких доильных установках применяются следующие технические средства: автоматический счетчик надоя молока, автоматическое устройство циркуляционной промывки и дезинфекции доильного оборудования, блок автоматического управления работой молочных насосов, автоматическая система дози-

рованной выдачи концентрированных кормов, автоматы открытия и закрытия дверей доильных станков, а также манипуляторы. Ворота доильных залов и двери доильных станков имеют пневмопривод, управляемый дистанционно с рабочего места дояра (доярки). Для получения теплой воды доильные установки оснащаются водонагревателем с устройством стабилизации температуры в пределах 40...50 °С. В процессе доения выполняются транспортирование, дозирование и выдача кормов с помощью полуавтоматических дозаторов. В одних доильных установках обеспечивается дозированная выдача концентрированных кормов индивидуально каждому животному, в других – группе животных.

Применяемый в доильных установках манипулятор МД-Ф-1 обеспечивает машинное доение коров, автоматическое додаивание с последующим отключением стаканов от вакуумметрического давления, снятие доильных стаканов и выведение доильного аппарата из-под коровы после окончания процесса доения. При помощи системы пневмоуправления оператор открывает входную дверь доильного станка для впуска коровы. Проведя подготовку вымени к доению, он включает манипулятор при помощи крана-распределителя. Манипулятор подводит стаканы к вымени. Затем оператор надевает на соски стаканы и переводит кран-распределитель в режим доения. Доение, додаивание и снятие доильных стаканов выполняются манипулятором в автоматическом режиме. Процесс доения контролируется измерительным преобразователем. При спадании доильных стаканов с вымени предусмотрено автоматическое отключение вакуума.

*Первичная обработка молока* преследует цель сохранения его свойств до доставки потребителям или на молочные заводы. Наиболее важными операциями первичной обработки молока является очистка, охлаждение и пастеризация.

Для *очистки* молока от механических примесей применяются фильтрование и центрифугирование. Выбор способа очистки обусловлен типом выбранной доильной установки. Во всех видах доильных установок, за исключением ДАС-2Б и АД-100 с доением в ведра, в линии первичной обработки молока используются специальные фильтры, элементы которых, выполненные из лавсановой ткани, очищают молоко от механических приме-

сей. При доении в ведра применяется специальная установка ОМ-1, состоящая из центробежного очистителя и пластинчатого охладителя.

**Охлаждение** молока может обеспечиваться разными способами, которые можно разделить на порционное и непрерывное охлаждение. Порционное охлаждение обусловлено использованием фляг (бидонов) и ванн, вмонтированных в холодильные установки. Непрерывное охлаждение, связанное с выполнением процесса доения, обеспечивается в пластинчатых охладителях с противоточным направлением молока и охлаждающей воды. Такие охладители по сравнению с другими типами получили наибольшее применение.

**Пастеризация** молока обеспечивает уничтожение в нем болезнетворных микроорганизмов и производится специальными аппаратами, которые называются пастеризаторами. Пастеризация, как правило, сочетается с охлаждением, что повышает эффективность этих операций, и выполняется пластинчатыми пастеризационно-охладительными установками.

## 10.2. Система автоматизации пастеризационно-охладительной установки ОПФ-1-300

Промышленность выпускает для пастеризации и охлаждения молока соответствующие пастеризационно-охладительные установки.

Одной из них является пастеризационно-охладительная установка ОПФ-1-300, оснащенная системой автоматизации. Некоторые операции при управлении работой установки выполняет оператор, а мгновенная пастеризация, являющаяся основной и определяющая качество пастеризуемого молока, протекает в автоматическом режиме. Операции пуска, остановки и промывки основных узлов установки выполняются оператором вручную. После пуска возникает переходной процесс работы установки, связанный с режимом пастеризации и имеющий весьма значительную постоянную времени. Переходный процесс заканчивается в момент достижения температуры пастеризуемого молока 90 °С. В этот момент оператор должен обеспечить начало процесса охлаждения молока путем включения подачи в секции ох-

ладителя – холодной воды. Заданный (установившийся) температурный режим мгновенной пастеризации, характеризуемый изменением температуры молока в пределах  $92 \pm 2$  °С, поддерживается автоматически соответствующими техническими средствами системы автоматизации и контролируется измерительным преобразователем ТЕ8 (рис. 10.1). ТЕРС – прибор для измерения температуры молока и автоматического управления регулирующим клапаном пара и перепускным клапаном молока (электронный мост Р1): Т – измеряемый параметр (температура); В – уточнение измеряемого параметра (сопротивление); R – функция, выполняемая прибором (регистрация температуры); С – автоматическое регулирование; HS – выключатель электрической цепи (автоматический выключатель QF); NSA1 – пусковая аппаратура для управления ИМ1 (магнитный пускатель КМ1, кнопочные выключатели SB1, SB2, сигнальные лампы); NSA2 – пусковая аппаратура для управления ИМ2 (магнитный пускатель КМ2, кнопочные выключатели SB3, SB4, лампа HL3), NSA3 – пусковая аппаратура для управления ИМ3 (магнитный пускатель КМ3, кнопочные выключатели SB5, SB6, лампа HL4); HA – аппаратура для ручного дистанционного управления (кнопочные выключатели SB8, SB9); А – аппаратура сигнализации (звуковая и световая); Т – первичный ИП температуры охлажденного молока (термометр типа ТПГ – 1У; ИМ1 – электродвигатель привода насоса горячей воды (М1); ИМ2 – электродвигатель привода молочного насоса (М2); ИМ3 – электродвигатель привода молокоочистителя (ИМ3); ИМ4 – электромагнит управления работой регулирующего клапана пара (YA2); ИМ5 – электромагнит управления работой перепускного клапана молока (YA1).

Система автоматизации может обеспечивать управление технологическим процессом пастеризации в ручном и автоматическом режимах. Система автоматизации (рис. 10.1 и рис. 10.2) имеет следующие технические средства: электромагнит YA2 привода в действие регулирующего клапана пара 4, перепускной электрогидравлический клапан 6 молока с электромагнитом YA1, электронный мост Р1, измерительный преобразователь температуры ВК, электродвигатель М3 привода центробежного молокоочистителя 14, электродвигатели М1 и М2 привода насоса горячей воды 1 и насоса подачи молока 15.

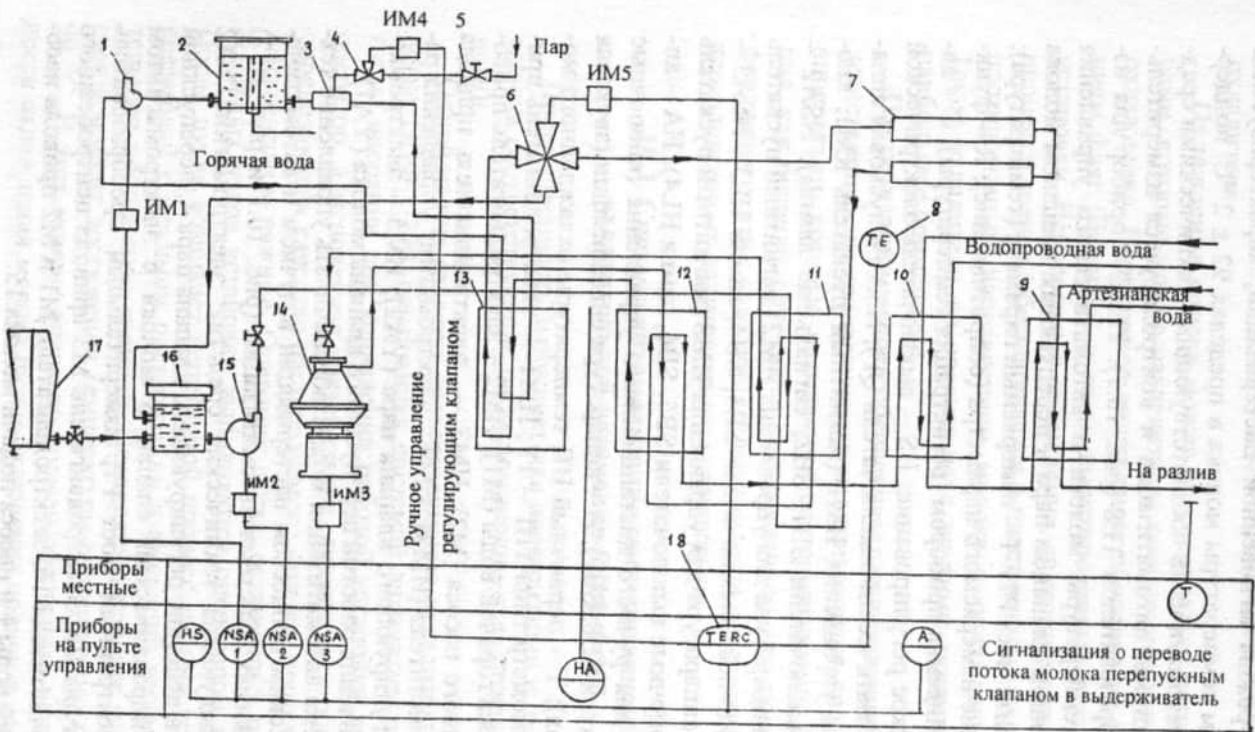


Рис. 10.1. Функционально-технологическая схема системы автоматизации ОПФ-1-300 (при описании назначения функциональных элементов системы автоматизации использованы также их условные обозначения из рис. 10.2, указанные в скобках)

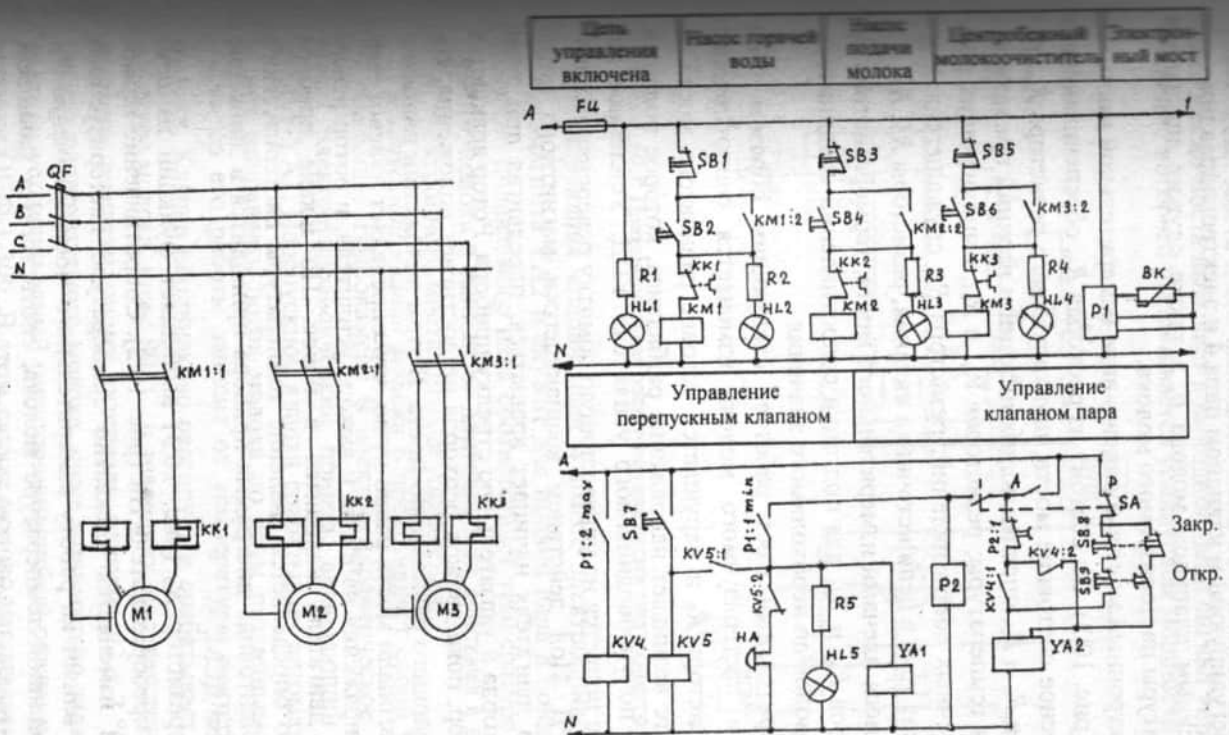


Рис. 10.2. Принципиальная электрическая схема системы автоматизации ОПФ-1-300

Электронный мост Р1 обеспечивает автоматическое управление регулирующим клапаном пара 4 и электрогидравлическим перепускным клапаном молока 6, а также служит для записи температуры пастеризуемого молока.

Электронный мост выполнен в виде измерительной мостовой схемы (рис. 10.3). Он состоит из реохорда  $R_p$ , обеспечивающего равновесное состояние моста; шунтирующего резистора  $R_{ш}$ ; резисторов  $R_{н1}$  и  $R_{в1}$ , определяющих нижний и верхний пределы измерения температуры; резисторов  $R_{н2}$  и  $R_{в2}$ , выполняющих роль подстроечных сопротивлений; резистора  $R_6$ , служащего для ограничения тока в цепи источника питания; резисторы  $R_1, R_2, R_3$ , являющиеся плечами измерительного моста; терморезистора  $R_0$ , резисторов  $R_{н1}$  и  $R_{н2}$  для подгонки сопротивлений соединительных проводов до необходимого значения.

Измерительный мост работает следующим образом. Под влиянием пастеризуемого молока изменяется сопротивление терморезистора  $R_0$  и нарушается условие равновесия моста. В результате возникает напряжение разбаланса, которое подается на вход полупроводникового усилителя УПД. Усиленное напряжение подается на управляющую обмотку реверсивного двигателя РД. Под действием вращающегося магнитного потока ротор двигателя начинает вращаться, передвигая при этом жок реохорда и указательную стрелку прибора. Ротор вращается до тех пор, пока движок реохорда не достигнет положения, соответствующего равновесию моста. В этом положении напряжение в диагонали моста равно нулю, что определяет нулевое значение напряжения на входе и выходе усилителя, и ротор реверсивного двигателя находится в покое. По шкале прибора визуально определяется значение температуры пастеризуемого молока. Ленточная диаграмма прибора приводится в движение двигателем ДСМ.

Терморезистор  $R_0$  (рис. 10.3) выполняет функции измерительного преобразователя ВК (рис. 10.2). Сопротивление терморезистора изменяется адекватно температуре пастеризуемого молока и влияет на работу измерительного моста. Значение  $R_0$ , равное заданной температуре молока, соответствует равновесному состоянию моста. Отклонение  $R_0$  от заданного значения приводит к нарушению равновесия моста (параграф 2.3). При

равновесии моста в его выходной цепи отсутствует сигнал. Неравновесие моста вызывает в выходной цепи сигнал управления, значение которого увеличивается усилителем мощности УПД.

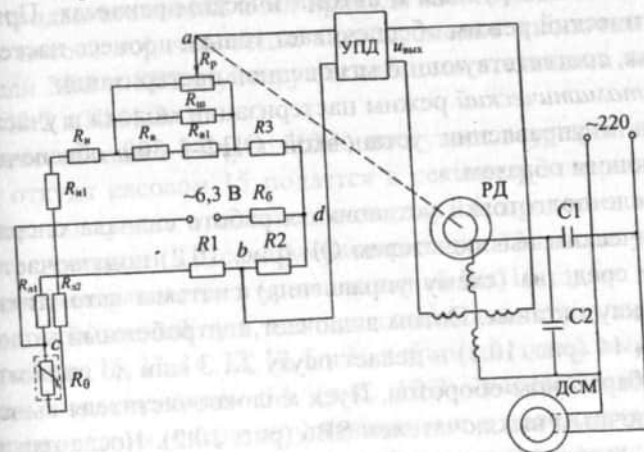


Рис. 10.3. Принципиальная электрическая схема электронного моста

Регулирующий клапан пара 4 имеет электропривод в виде электромагнита YA2 и служит для подачи пара в бойлер 2. Количество подаваемого пара соответствует температуре пастеризуемого молока и зависит от длительности действия в выходной цепи электронного моста сигнала управления.

Перепускной клапан молока 6 представляет собой устройство, имеющее гидрокамеру и электрогидравлическое реле. Он имеет электрогидравлический привод, включающий электромагнит YA1. Перепускной клапан срабатывает автоматически и может направлять поток молока по двум различным каналам. Характер его работы зависит от температуры пастеризуемого молока. Клапан неодинаково реагирует и срабатывает при температуре молока, ниже  $90^\circ\text{C}$ , и значениях, соответствующих заданному температурному интервалу, равному  $92 \pm 2^\circ\text{C}$ . Температура пастеризуемого молока, ниже минимально заданной, характеризует переходный (неустановившийся) режим работы установки ОПФ-1-300. В этом случае молоко направляется клапаном по малому пути. При работе ОПФ-1-300 в установившемся

режиме, который характеризуется заданным значением температуры, молоко направляется клапаном в выдерживатель.

Пастеризационно-охлаждающая установка ОПФ-1-300 может работать в ручном и автоматическом режимах. Причем автоматический режим обеспечивает только процесс пастеризации молока, соответствующий мгновенной пастеризации.

*Автоматический* режим пастеризации молока и участие оператора в управлении установкой ОПФ-1-300 обеспечиваются следующим образом.

После подготовки установки к работе сначала оператор автоматическим выключателем QF (рис. 10.2) подключает технические средства (схему управления) системы автоматизации к источнику питания. Потом включает центробежный молокоочиститель 14 (рис. 10.1) и делает паузу 2...3 мин до полного набора его барабаном оборотов. Пуск молокоочистителя выполняется кнопочным выключателем SB6 (рис. 10.2). После нажатия на кнопку выключателя запитывается катушка KM3 магнитного пускателя, который обеспечивает пуск электродвигателя M3 привода молокоочистителя. Одновременно кнопочный выключатель SB6 шунтируется вспомогательными контактами KM3:2.

Затем включаются оператором в работу насос подачи молока 15 (рис. 10.1) и насос горячей воды 1, а также открывается запорный вентиль 5.

Открытие вентиля 5 обеспечивает соединение входа регулирующего клапана пара 4 с паровым котлом. Но клапан пара 4 закрыт, и пар из котла не поступает через инжектор 3 в бойлер 2. Регулирующим клапаном пара управляет электронный мост P1 (рис. 10.2), который подключен к источнику питания через контакты автоматического выключателя QF (используется фаза А и нейтраль). Электронный мост разбалансирован, т. е. выведен из равновесного состояния, так как начальная температура молока меньше заданной и в его выходной цепи появляется сигнал управления. Однако этот сигнал не может воздействовать на электромагнит YA2 и тем самым открыть клапан пара, так как переключатель SA находится в положении «Р» и разъединяет цепь питания катушки электромагнита.

При нажатии оператором поочередно на кнопки выключателей SB4 и SB2 запитываются катушки KM2 и KM1 магнитных пускателей. Это приводит к пуску в такой же последовательности электродвигателей M2 и M1 привода насоса подачи молока и привода насоса горячей воды. Одновременно кнопочные выключатели SB4 и SB2 шунтируются вспомогательными контактами KM2:2 и KM1:2.

Молоко из танка 17 (рис. 10.1) поступает в уравнильный бак 16, откуда насосом 15 подается в секцию регенерации 11. Затем оно поступает в молокоочиститель 14, проходит вторую секцию регенерации 12, секцию пастеризации 13 и перепускным клапаном 6 направляется в уравнильный бак 16. Далее молоко повторяет пройденный путь, т. е. последовательно циркулирует через устройства 15, 11, 14, 12, 13, 6 и 16 и проходит по малому пути.

Затем переключатель SA (рис. 10.2), расположенный на нульте управления, оператор устанавливает в положение «А». В результате запитываются ступенчатый импульсный прерыватель P2 и электромагнит YA2 привода регулирующего клапана пара 4 через контакты P2:1 импульсного прерывателя и контакты KV4:2 реле напряжения.

Импульсный прерыватель P2, подключенный к источнику питания контактами переключателя SA, вырабатывает сигналы в виде импульсов, которые действуют на электромагнит YA2. Импульсы имеют определенную длительность и появляются в выходной цепи прерывателя через определенный промежуток времени. Периодичность появления импульсных сигналов задается параметрами элементов, используемых в конструкции прерывателя, который работает определенным образом.

Соотношение между длительностью посылаемых импульсов и паузами между ними определяет характер работы импульсного прерывателя и соответственно регулирующего клапана пара. Отсутствие импульса (пауза между импульсами) соответствует включенному состоянию электромагнита YA2, а появление импульсного сигнала – отключению электромагнита от источника питания. Длительность паузы и периодичность появления импульсного сигнала определяет длительность и периодичность открытия регулирующего клапана пара.

Пауза между импульсами определяет время включенного состояния электромагнита YA2 (размыкающий контакт P2:1 замкнут) и соответственно время включенного состояния регулирующего клапана пара, что определяет в итоге время подачи пара в бойлер. При появлении сигнала в выходной цепи импульсного прерывателя с некоторым запаздыванием срабатывает его размыкающий контакт P2:1. Это обусловлено тем, что конструктивно размыкающий контакт P2:1 выполнен с замедлением, действующим при срабатывании импульсного прерывателя.

Пар поступает из парового котла через инжектор 3 (рис. 10.1) в бойлер 2, в котором вода нагревается паром. Насосом 1 горячая вода подается в секцию пастеризации 13 и, отдавая в ней теплоту нагреваемому молоку, возвращается в бойлер 2. Температура молока еще отличается от минимально заданного значения, равного 90 °С, и потому перепускной клапан 6 продолжает направлять уже горячее молоко по малому пути, т. е. из секции пастеризации оно направляется перепускным клапаном 6 в уравнивательный бак 16, из которого вновь направляется насосом на повторный подогрев.

Циркуляция молока по малому пути продолжается до тех пор, пока его температура на выходе из секции пастеризации не достигает значения 90 °С. Электрический сигнал, соответствующий температуре молока 90 °С, поступает в электронный мост P1 (рис. 10.2) от измерительного преобразователя ВК. Электронный мост P1 действует так, что замыкается его контакт P1:1 и запитывается катушка YA1 электромагнита, который управляет работой перепускного клапана молока. Одновременно запитываются цепи световой HL5 и звуковой HA сигнализации, оповещающая обслуживающий персонал о том, что температура молока достигла минимально заданного значения 90 °С. В этот момент оператор должен включить подачу холодной воды в секции 9 и 10 охлаждения молока.

В результате действия электромагнита YA1 срабатывает перепускной клапан молока 6 (рис. 10.1) так, что нагретое до температуры 90 °С молоко направляется клапаном из секции пастеризации 13 не по малому пути, а в выдерживатель 7. В нем мо-

локо выдерживается в течение 300 с и далее непрерывно поступает последовательно в секции регенерации 11 и 12 для отдачи теплоты встречному потоку пастеризуемого молока, поступающего в секцию регенерации 12 из молокоочистителя 14. В секции регенерации 12 нагретое до 90 °С молоко отдает температуру молоку, которое поступает из молокоочистителя 14. Затем пропастеризованное молоко из секции регенерации 12 поступает в секции охлаждения 10 и 9, в которых охлаждается до температуры 8 °С, и далее направляется из пастеризационно-охлажденной установки в другое оборудование согласно технологическому процессу обработки молока.

В секциях охлаждения 10 и 9 молоко последовательно охлаждается сначала водопроводной водой, а затем – более холодной водой из артезианской скважины или водой, предварительно охлажденной холодильной установкой. Температура охлажденного молока контролируется термометром типа ТПГ-1У, который установлен на трубопроводе выхода молока из последней секции охлаждения.

Заданная температура пастеризуемого молока может изменяться в пределах от 90 до 94 °С, и этот температурный интервал обеспечивается и поддерживается системой автоматизации в автоматическом режиме.

При максимальной температуре пастеризуемого молока, равной 94 °С, электронный мост P1 (рис. 10.2) срабатывает так, что его контакт P1:2 замыкается и запитывается катушка KV4 реле напряжения. В результате срабатывания реле замыкается контакт KV4:1 и размыкается контакт KV4:2. Цепь катушки электромагнита YA2 остается запитанной через контакты P2:1 и KV4:1. Прерыватель P2 продолжает работать в импульсном режиме.

В случае понижения температуры пастеризуемого молока ниже минимально заданного значения, равного 90 °С, срабатывает электронный мост P1 так, что его контакт P1:1 размыкается. Это обесточивает катушку YA1 электромагнита, и перепускной клапан молока возвращается в свое исходное состояние, направляя молоко циркулировать по малому пути. Затем процесс пас-

теризации молока входит в заданный температурный режим, аналогичный описанному ранее.

*Ручной режим* обеспечивается установкой переключателя SA в положение «Р». Все операции по управлению пастеризационно-охладительной установкой, включая и режим мгновенной пастеризации, выполняются оператором. Управление работой молокоочистителя, насоса подачи молока и насоса горячей воды осуществляется кнопчными выключателями SB5 и SB6, SB3 и SB4, SB1 и SB2. Кнопчными выключателями SB8 и SB9 управляют подачей пара. Так, при нажатии на кнопку выключателя SB9, имеющего размыкающий и замыкающий контакты, его замыкающий контакт запитывает катушку электромагнита YA2. В результате открывается регулирующий клапан пара и обеспечивается подача пара в бойлер. При нажатии на кнопку выключателя SB8, имеющего два размыкающих контакта, обесточивается катушка электромагнита YA2 и прекращается подача пара в бойлер.

Для прекращения работы установки ОПФ-1-300 необходимо вентилем закрыть подачу молока в уравнительный бак. Когда остаток молока из бака уйдет в насос, нужно подать воду для вытеснения молока из всех узлов установки. Подача воды продолжается до прекращения вытекания молока из установки. Этот момент определяется по виду струи, пробой на вкус или замером плотности лактоденсиметром. Затем прекращается подача пара, отключается молочный насос, насос горячей воды и останавливается молокоочиститель.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Объясните устройство и принцип действия элементов системы автоматизации.
2. Объясните работу установки ОПФ-1-300 в ручном и автоматическом режимах.
3. Какой принцип управления реализован в системе автоматизации?
4. Определите наличие и вид обратной связи в системе автоматизации.
5. Что представляет собой алгоритм функционирования объекта управления?

## Глава 11. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МИКРОКЛИМАТА

### 11.1. Общие сведения

В животноводческих и птицеводческих помещениях применяются системы микроклимата, которые включают вентиляционные установки, воздухонагреватели, увлажнители, а также фильтры для очистки воздуха от пыли и микроорганизмов, воздухопроводы и т. д.

В свою очередь вентиляционные установки представляют собой вентиляторы с электродвигателями и вентиляционные сети – воздухопроводы и устройства для забора и выпуска воздуха.

В настоящее время широко применяются различные источники тепловой энергии для искусственного отопления животноводческих и птицеводческих помещений, гаражей и ремонтных мастерских, а также для сушки и активного вентилирования подогретым воздухом различной сельскохозяйственной продукции. Наибольшее распространение получили системы воздушного отопления, совмещенные с вентиляцией. Воздух, подаваемый в помещения, может подогреваться теплогенераторами и калориферами.

Наибольшее применение нашли теплогенераторы ТГ-75, ТГ-150, ТГ-1, ТГ-1,5, ТГ-2,5, теплопроизводительность которых колеблется от 314 до 1046,7 МДж (75...250 МКал/ч). Теплогенераторы оснащаются системами автоматизации и могут работать в автоматическом режиме. Теплогенераторы ТГ-1А и ТГ-2,5А оснащены шкафами управления типа ШОА5933-2974УЗ и ШОА5934-3074УЗ, обеспечивающими автоматическое и ручное управление. В зависимости от сезонности эксплуатации теплогенераторы могут обеспечивать отопление объектов управления или только их вентиляцию.

Теплогенератор (рис. 11.1, а) состоит из корпуса 2, в который вмонтированы основной вентилятор 5 подачи теплого воздуха, теплообменник-воздухонагреватель 3, вентилятор 8 топчного механизма, форсунка 6, камера сгорания 4, дымовая труба 1. Топливо подается к форсунке по топливопроводу 10 и, распыленное ею, обогащается кислородом воздуха, подаваемого вентиля-

тором 8. Открытие и закрытие топлипровода обеспечивается электромагнитным клапаном 9. Зажигается топливо электронными электродами, которые питаются от трансформатора зажигания.

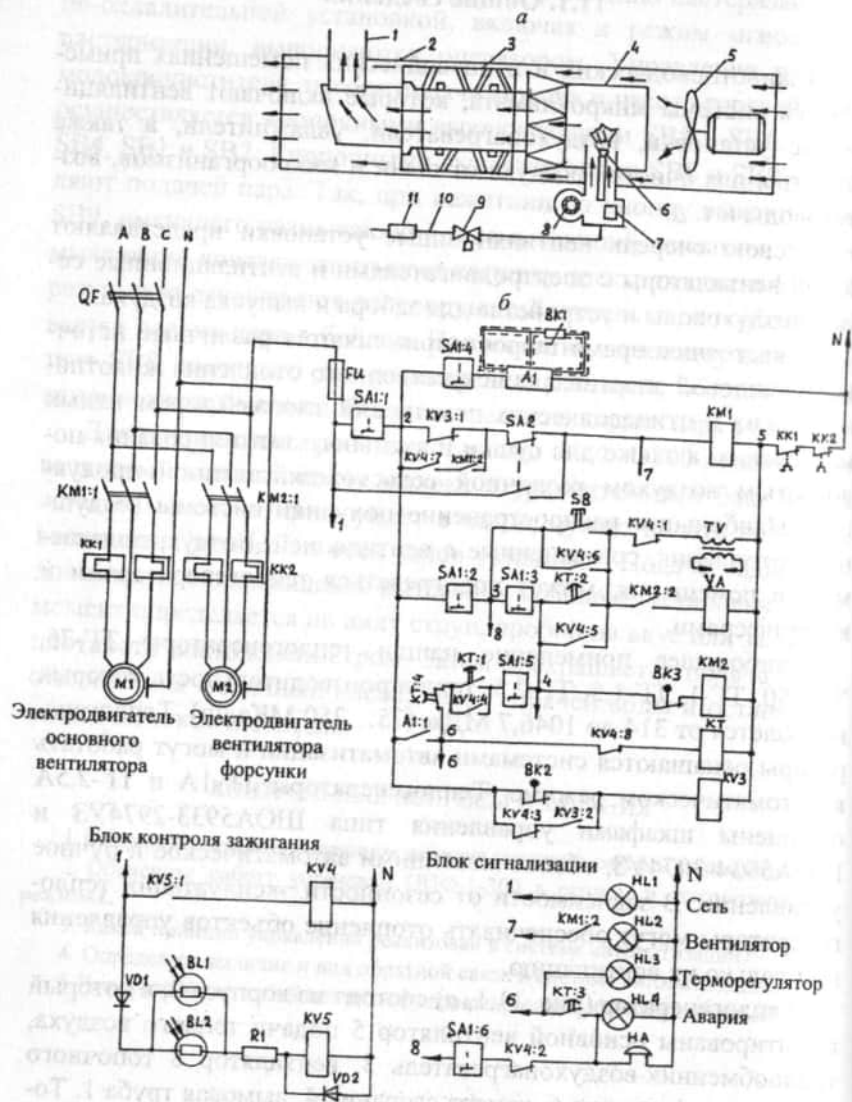


Рис. 11.1. Технологическая (а) и принципиальная электрическая (б) схемы системы автоматизации теплогенератора

## 11.2. Устройство системы автоматизации теплогенераторов типа ТТ

Технические средства системы автоматизации (рис. 6.1, б), за исключением измерительного преобразователя температуры воздуха в помещении, электродвигателей и электромагнитного клапана подачи топлива в форсунку, расположены в шкафу управления, который представляет собой металлический ящик защищенного исполнения. Провода и кабели, соединяющие шкаф с размещенными вне его техническими средствами системы автоматизации, вводятся через сальник и разъем.

Внутри шкафа установлена панель. На ней размещены автоматический выключатель, магнитные пускатели с электротепловыми реле, программное реле ВЛ-58УХЛ4, диоды, резисторы, предохранитель, блок зажимов, реле напряжения. На передней панели шкафа установлены аппараты управления и сигнализации: командный прибор, переключатель режимов работы, выключатель кнопочный нажимной, сигнальные лампы, толкатели автоматического выключателя. Назначение каждого элемента на передней панели обозначено табличками и соответствующими надписями. Передняя панель шкафа управления запирается при помощи замка специальным ключом.

Командным прибором является регулятор температуры ТЭЗПЗМ, который предназначен для двухпозиционного регулирования температуры в диапазоне от 0 до 40 °С. Терморегулятор обеспечивает автоматическое включение в работу теплогенератора, когда температура воздуха в отапливаемом помещении опустится ниже заданной, а также его отключение при увеличении температуры выше заданной. Терморегулятор имеет измерительный преобразователь, который представляет собой терморезистор, расположенный в середине отапливаемого помещения.

Программный блок выполнен на основе реле времени типа ВЛ-58УХЛ4 и обеспечивает необходимые операции при запуске теплогенератора в работу (продувка, подача топлива в форсунку, подача искры зажигания, предварительный прогрев теплообменника-воздухонагревателя), а также при его остановке (отсечка топлива, выключение вентилятора и другие операции).

Температурные реле ТР-200 обеспечивают автоматическое управление работой вентилятора и защиту теплообменника от перегрева. Принцип действия реле (рис. 11.2) основан на использовании разности коэффициентов линейного расширения латуни и специального сплава инвара. При нагревании латунная трубка 2 и расположенная в ее торце ось 4 с упором перемещаются относительно инварной пружины 3. Это приводит к уменьшению зазора  $\delta$ , устанавливаемого винтом 1 в зависимости от требуемой температуры. При достижении заданной температуры выбирается зазор, а дальнейшее повышение температуры вызывает растяжение пружины и размыкание контактов 5. При понижении температуры уменьшается длина трубки, освобождается пружина и контакты замыкаются.

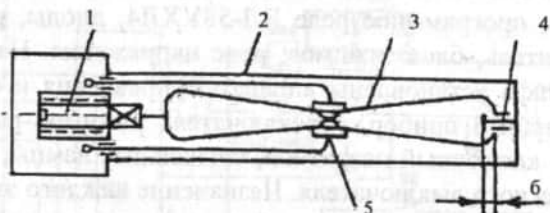


Рис. 11.2. Температурные реле ТР-200: 1 – регулировочный винт; 2 – латунная трубка; 3 – инварные пружины; 4 – ось с упором; 5 – контакты

Трансформатор зажигания служит для воспламенения топливной смеси в камере сгорания. Он питается напряжением 220 В, вторичное напряжение составляет 10 кВ, ток в первичной цепи – 1,4 А, во вторичной – 0,23 А. Число витков первичной и вторичной цепей – 750 и 17000 · 2 (две секции) соответственно.

Блок контроля нагрева теплогенератора обеспечивает включение основного вентилятора при достижении заданного прогрева теплообменника и его отключение после охлаждения теплообменника. Блок контроля состоит из реле напряжения KV3 (рис. 11.1, б) и температурных реле ВК2 и ВК3. Измерительный преобразователь аварийного перегрева ВК3 обеспечивает отключение форсунки при чрезмерном нагреве теплообменника. Это может случиться при отказе основного вентилятора, перекрытии воздухопровода и т. д. Измерительными преобразователями ВК2 и ВК3 служат температурные реле.

Температурная уставка измерительного преобразователя ВК2 составляет 40 °С, а преобразователя ВК3 – 85–90 °С.

Блок контроля зажигания (рис. 11.1, б) обеспечивает выключение системы зажигания после воспламенения топливной смеси в камере сгорания и включения зажигания смеси в случае погасания пламени. Блок собран из реле KV4 и KV5, резистора, фоторезисторов BL1 и BL2 и диодов VD1 и VD2.

Электромагнитный клапан YA состоит из электромагнита и клапана. Электромагнит представляет собой катушку с подвижным сердечником, который соединен с клапаном. Электромагнитный клапан обеспечивает подачу топлива к форсунке и его перекрытие.

Блок сигнализации состоит из приборов световой сигнализации HL1...HL4, контактов KM1:1 магнитного пускателя KM1 и контактов КТ:3 реле времени КТ. Назначение приборов световой сигнализации следующее: HL1 «Сеть» – сигнализирует при запитывании напряжением технических средств системы автоматизации; HL2 «Вентилятор» – лампа сигнализирует при включении в работу основного вентилятора; HL3 «Терморегулятор» – лампа сигнализирует при замыкании контактов A1:1 терморегулятора; HL4 «Авария» – лампа сигнализирует при отключении теплогенератора по причине неисправности. Одновременно включается сигнализация в виде sireны HA.

Для выбора режима работы служит переключатель режимов HA1, представляющий пакетно-кулачковое устройство. Кнопка выключателя SB «Зажигание» используется при ручном управлении работой теплогенератора для зажигания трансформатором TV топливной смеси.

### 11.3. Принцип действия системы автоматизации теплогенераторов типа ТП

В зависимости от времени года теплогенераторы могут использоваться для вентиляции или отопления помещений. Система обеспечивает автоматическое управление теплогенератором без постоянного наблюдения за его работой оператора в режиме «Отопление автоматическое». Кроме того, в необходимых случаях возможно ручное управление теплогенератором.

Принципиальная схема системы автоматизации (рис. 6.1, б) предусматривает работу теплогенератора в трех режимах: «Вентиляция ручная», «Отопление ручное» и «Отопление автоматическое».

**Вентиляция ручная.** Автоматический выключатель QF необходимо поставить в положение «Вкл.». О том, что система автоматизации подключена к источнику питания, сигнализирует лампа HL1. В этом режиме переключатель вида работы SA1, который имеет несколько пар контактов SA1:1...SA1:14, находится в положении +90° «Отключено». При различных положениях рукоятки переключателя SA1 его контакты замыкаются согласно табл. 11.1.

Таблица 11.1

Диаграмма замыкания контактов переключателя режимов SA1

Соединение контактов	Положение рукоятки			
	-45°	0	+45°	+90°
1-2	+	+	+	-
3-4	+	+	+	-
5-6	+	+	-	-
7-8	-	-	+	-
9-10	-	-	+	-
11-12	-	-	+	-
13-14	-	-	-	-
	Продувка, запуск в ручном режиме	Работа в ручном режиме	Отопление автоматическое	Отключено

В режиме «Вентиляция ручная» теплогенератором управляют при помощи переключателя SA2 «Вентилятор» с двумя парами контактов: одна пара имеет замыкающий контакт, а другая – размыкающий. Каждая пара контактов может быть замкнута в зависимости от положения переключателя. Причем, если при определенном положении переключателя одна пара контактов замкнута, то другая – разомкнута.

При замкнутом состоянии замыкающего контакта (нижний на схеме) переключателя SA2 запитывается катушка KM1 маг-

нитного пускателя, который срабатывает и силовыми контактами KM1:1 пускает в работу электродвигатель M1 основного вентилятора. Лампа HL2 в результате замыкания контакта KM1:2 сигнализирует о работе вентилятора.

Размыкание переключателем SA2 его замыкающего контакта приводит к обесточиванию катушки KM1 магнитного пускателя, который останавливает электродвигатель M1 привода вентилятора. Одновременно гаснет лампа HL2, сигнализируя об остановке вентилятора.

**Ручной режим отопления.** Для управления теплогенератором в этом режиме используется переключатель режимов работы SA1, кнопка выключателя SB «Зажигание» и переключатель SA2 «Вентилятор». Теплогенератор запускается в работу в такой последовательности.

Автоматический выключатель QF переводится в положение «Вкл.», переключатель SA1 устанавливается в положение -45° «Продувка, запуск в работу в ручном режиме». При таком положении переключателя SA1 ток протекает по цепи: фаза С – предохранитель Fu – контакты SA1:1 – узел 2 – контакты SA1:2 – узел 3 – контакты SA1:3 – узел 4 – размыкающий контакт BK3 температурного реле TP200 – катушка KM2 магнитного пускателя – узел 5 – контакты KK1 и KK2 электротепловых реле – клемма N нейтрального провода. В результате срабатывает магнитный пускатель KM2, который силовыми контактами KM2:1 пускает в работу электродвигатель M2 привода вентилятора форсунки, а вспомогательные контакты KM2:2 подготавливают к запитыванию напряжением электромагнит YA привода клапана. Начинается продувка камеры сгорания. Одновременно с замыканием контактов QF лампа HL1 сигнализирует о подключении системы автоматизации к источнику питания.

По истечении времени продувки, равного 36 с, оператор нажимает на кнопку выключателя SB «Зажигание». При этом подается напряжение в первичную цепь трансформатора зажигания TV и цепь электромагнита YA, который управляет работой клапана подачи топлива. Первичная обмотка трансформатора зажигания запитывается в результате протекания тока по цепи: фаза С – предохранитель Fu – контакты SA1:1 – узел 2 – контакты SA1:2 – узел 3 – SB – размыкающий контакт KV4:1 – пер-

вичная обмотка TV – узел 5 – КК1 – КК2 – N. Катушка электромагнита YA также запитывается фазным напряжением.

В результате одновременно поступает топливо через форсунку в камеру сгорания теплогенератора и подается искра зажигания от вторичной обмотки высоковольтного трансформатора TV. После воспламенения топлива отпускается кнопка выключателя SB. Срабатывает реле контроля пламени KV5, которое замыкающим контактом KV5:1 запитывает катушку KV4 промежуточного реле. Размыкающий контакт KV4:1 обесточивает первичную обмотку трансформатора TV, а размыкающий контакт KV4:2 – электрическую цепь световой и звуковой системы аварийной сигнализации. Затем переключатель режимов SA1 необходимо поставить в положение O «Работа в ручном режиме».

После прогрева камеры сгорания до температуры 40° с переключателем SA2 включается электродвигатель M1 привода основного вентилятора через замыкающий контакт SA2, о чем сигнализирует лампа HL2. Подогретый воздух подается в отапливаемое помещение.

Теплогенератор отключается в такой последовательности. Переключатель SA1 ставится в положение +90° «Отключено». При этом размыкающим контактом SA1:1 обесточиваются цепи катушек KM2 и YA, прекращается подача топлива, гаснет пламя, останавливается электродвигатель M2 привода продувки камеры сгорания.

После остывания теплообменника теплогенератора переключателем SA2 останавливается электродвигатель M1.

**Автоматический режим отопления.** В этом режиме система автоматизации обеспечивает следующие операции:

1. Автоматическое включение теплогенератора, если температура воздуха в отапливаемом помещении ниже заданной. Включение происходит в следующем порядке: включается электродвигатель привода вентилятора продувки камеры сгорания; подается топливо и включается зажигание; после прогрева теплообменника до заданной температуры включается основной вентилятор.

2. Автоматическое отключение теплогенератора: если температура воздуха в отапливаемом помещении достигла заданной;

если топливо не зажигается при включении теплогенератора или погасло пламя во время работы теплогенератора; при перегреве теплообменника теплогенератора свыше допустимой температуры; при срабатывании защиты от перегрузок или коротких замыканий.

3. Повторную продувку, а также подачу топлива и зажигание топлива при погашении пламени в нормальном и аварийных режимах работы теплогенератора.

4. Сигнализацию при нормальной работе теплогенератора и при возникновении аварийной ситуации.

Командным прибором системы автоматизации является полупроводниковый двухпозиционный терморегулятор A1. Его выходное реле (на рисунке не показано, так как терморегулятор изображен условно в виде прямоугольника) имеет замыкающий контакт A1:1, который замыкается при понижении температуры в отапливаемом помещении ниже заданной.

Система автоматизации в режиме автоматического отопления работает следующим образом.

Переключатель режимов SA1 устанавливается в положение +45 °C. Замыкаются его контакты SA1:1, SA1:2, SA1:4, SA1:5 и запитываются следующие цепи. Ток проходит по цепи: Fu – SA1:1 – 2 – контакты BK2 цепи температурного реле – катушка KV3 реле напряжения – контакты КК1 – КК2 – N. Срабатывает реле KV3, и размыкается размыкающий контакт KV3:1, предотвращая включение основного вентилятора и подачу неподогретого воздуха в отапливаемое помещение. Одновременно ток проходит по цепи: Fu – SA1:1 – 2 – SA1:4 – A1 – N, и запитывается терморегулятор A1.

Поскольку температура воздуха в отапливаемом помещении отличается от заданной и меньше ее, замыкается контакт A1:1 выходного реле терморегулятора, о чем сигнализирует лампа HL3. Ток проходит по цепи: Fu – SA1:1 – 2 – замыкающий контакт A1:1 выходного реле терморегулятора – реле времени КТ – КК1 – КК2 – N – и включается реле времени КТ, отработывающее программу запуска теплогенератора. Реле работает с фиксированными выдержками времени 6, 36, 48 с.

Через 6 с замыкается контакт КТ:1 реле времени КТ, и ток проходит по цепи: FU – SA1:1 – 2 – A1:1 – КТ:1 – SA1:5 – 4 –

контакты ВК3 температурного реле – катушка КМ2 – 5 – КК1 – КК2 – N. Срабатывает магнитный пускатель КМ2, запитывая электродвигатель М2 привода вентилятора форсунки, и начинается продувка камеры сгорания. Замыкается также вспомогательный контакт КМ2:2 в цепи электромагнита YA.

По истечении времени продувки 36 с замыкается контакт КТ:2 в цепи YA. Ток протекает по цепи: FU-SA1:1 – 2 – A1:1 – 6 – КТ:4 – КТ:1 – SA1:5 – 4 – КТ:2 – КМ2:2 – обмотка YA электромагнитного клапана – 5 – КК1 – КК2 – N. Получает питание электромагнитный клапан и одновременно ток протекает по цепи: KV4:1 – TV – 5 – КК1 – КК2 – N, запитывая первичную обмотку трансформатора зажигания.

В камере сгорания воспламеняется топливо. После возникновения пламени резко уменьшается сопротивление фоторезисторов BL1 и BL2, что приводит к срабатыванию реле контроля пламени KV5 и промежуточного реле KV4. Реле KV4 срабатывает, и его размыкающие контакты KV4:1, KV4:2, KV4:3, KV4:8 размыкаются, а замыкающие контакты KV4:4, KV4:5, KV4:6, KV4:7 замыкаются. Размыкающий контакт KV4:1 обесточивает первичную цепь трансформатора зажигания, KV4:2 – цепь аварийной сигнализации. Замыкающий контакт KV4:5 шунтирует контакты КТ:2, KV4:4 шунтирует контакты реле времени КТ:1, контакт KV4:6 шунтирует кнопочный выключатель SB и контакт KV4:7 подготавливает шунтирование контактов KV3:1. Размыкающий контакт KV4:8 обесточивает реле времени КТ.

На корпусе теплогенератора установлены два температурных реле TP-200, которые имеют размыкающие контакты ВК2 и ВК3. По мере прогрева камеры сгорания и теплообменника температура действует на температурные реле, которые срабатывают при определенной степени разогрева камеры и теплообменника. Одно температурное реле ВК2 настроено на 40 °С. При нагреве его чувствительного элемента, которым является латунная трубка, до 40 °С размыкается контакт ВК2 и происходит возврат реле KV3 в исходное состояние. При обесточивании катушки KV3 размыкающий контакт KV3:1 возвращается в исходное замкнутое состояние и запитывается катушка КМ1. Запускается электродвигатель М1 привода основного вентилятора, и

нагретый воздух подается в отапливаемое помещение. *Запуск теплогенератора на этом заканчивается.*

С течением времени температура в отапливаемом помещении повышается и достигает заданной (установленной по шкале терморегулятора). Сигнал от измерительного преобразователя ВК1 проходит по цепи в терморегуляторе А1 (электрическая схема регулятора температуры ТЭЗПЗМ не приводится), который срабатывает так, что размыкается контакт А1:1. В результате, обесточивается цепь питания катушки КМ2 магнитного пускателя и цепь питания электромагнита YA. В камере сгорания гаснет пламя. *Терморегулятор подает команду на отключение теплогенератора.*

При понижении температуры в отапливаемом помещении до значения ниже заданного терморегулятор А1 подает команду на включение теплогенератора. Сигнал от ВК1 поступает по цепям терморегулятора, срабатывают его функциональные элементы так, что замыкается контакт А1:1. *Теплогенератор снова запускается.*

Схемой системы автоматизации предусмотрена сигнализация и защита теплогенератора, которые действуют в следующих случаях нарушения нормального режима его работы:

1. Если при запуске теплогенератора топливо сразу не воспламеняется, реле времени КТ отработывает программу на повторное зажигание до тех пор, пока не переключаются его контакты КТ:1 и КТ:2, т. е. пока не возвратятся в исходное состояние. Запуск теплогенератора прекращается, и на шкафу управления через замыкающий контакт КТ:3 лампа HL4 сигнализирует о внештатной ситуации, включается и сирена HA. Повторно теплогенератор запускается обслуживающим персоналом после устранения причин невоспламенения топлива путем поворота переключателя SA1 в положение +90 °С «Отключено» и возврата его снова в положение +45 °С «Отопление автоматическое».

2. Если пламя погасло во время работы теплогенератора, реле KV4 и KV5 обесточиваются с последующим возвратом в исходное состояние. Реле времени КТ снова отработывает программу запуска теплогенератора. Если пламя восстанавливается, то теплогенератор продолжает нормальную работу, если пламя не вос-

становливаются, то происходит остановка теплогенератора и включение аварийной сигнализации.

Если во время работы теплогенератор нагрелся выше допустимой температуры, то контакт ВК3 температурного реле размыкается и обесточивается цепь катушки КМ2 магнитного пускателя. Его вспомогательный контакт КМ2:2 обесточивает цепь катушки электромагнитного клапана УА, прекращается подача топлива и гаснет пламя. Основной вентилятор продолжает подавать воздух в отапливаемое помещение, и теплогенератор остывает. Остывает также чувствительный элемент измерительного преобразователя ВК2, и при температуре ниже 40 °С контакт ВК2 замыкается, останавливая электродвигатель М1 привода основного вентилятора. Реле контроля пламени КВ5 возвращается в исходное состояние, и размыкающий контакт КВ4:2, возвращаясь в исходное состояние, включает аварийную сигнализацию.

Схемой системы автоматизации предусматривается защита силовых цепей от короткого замыкания при помощи автоматического выключателя QF и защита цепей управления при помощи предохранителя Fu.

Двигатели основного вентилятора и вентилятора форсунки имеют защиту от длительной перегрузки, выполненную при помощи электротепловых реле КК1 и КК2, располагаемых в магнитных пускателях КМ1 и КМ2.

Схема системы автоматизации обеспечивает защиту от аварийного перегрева теплогенератора и от срыва факела. Защита от срыва пламени действует в ручном и автоматическом режимах отопления.

#### 11.4. Подготовка и настройка системы автоматизации

После монтажа шкафа управления проводятся проверка и настройка системы автоматизации для последующей ее эксплуатации. В производственных условиях проводится внешний осмотр аппаратуры, мест соединений, заземления шкафа управления и электродвигателей. *Без заземления эксплуатация не разрешается.* Необходимо очистить всю аппаратуру и элементы шкафа от консервирующей смазки, проверить крепление аппаратуры, за-

тяжку всех винтов и гаек, свободу хода подвижных частей реле и магнитных пускателей. Правильность монтажа цепей проверяется осмотром и сравнением с монтажными схемами, а также их прозвонками.

Температурные реле ТР-200 устанавливаются заводом на корпусе теплообменника в верхней его части и защищаются от механических воздействий металлическими коробками.

Реле времени ВЛ-58УХЛ4 имеет фиксированные выдержки времени настройки. Заводом-изготовителем в реле выставлены выдержки времени срабатывания его контактов – 6, 36, 48 с.

Электроды зажигания должны быть установлены согласно рис. 11.3. Высоковольтные провода, соединяющие электроды и трансформатор зажигания, должны быть надежно соединены и уложены таким образом, чтобы не мешать вращению вентилятора форсунки.

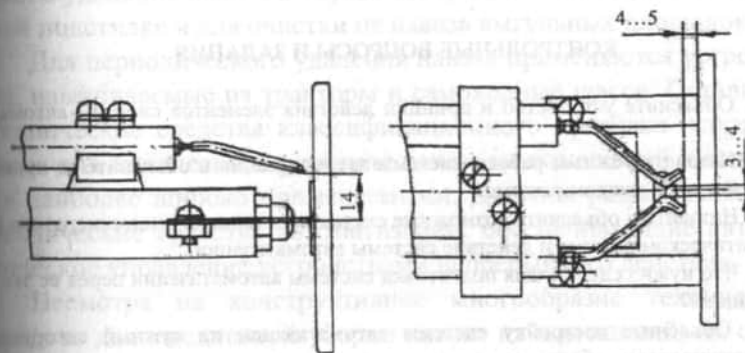


Рис. 11.3. Схема конструкции и установки электродов зажигания

Устанавливается нужная температура срабатывания терморегулятора и его дифференциал в соответствии с необходимой температурой отапливаемого помещения. Специальным ключом, прилагаемым к терморегулятору, снимается его крышка. Вращением одной стрелки шкалы устанавливается требуемая в отапливаемом помещении температура. Вращением другой стрелки шкалы устанавливается дифференциал. При этом следует иметь в виду, что чем меньше значение дифференциала, установленного по шкале, тем с большей точностью будет поддерживаться заданная температура в помещении, причем это будет дости-

гаться за счет большей частоты включения и отключения теплогенератора. Рекомендуется установка дифференциала не менее 1,5...2 °С.

**Внимание!** Опробование системы автоматизации в режиме «Отопление ручное» ведется без топлива. Поэтому топливный насос не должен работать без перерыва 30 с.

*Измерительный преобразователь ВК1* температуры воздуха монтируется в центре помещения и соединяется со шкафом управления любым экранированным проводом или проводом проложенным, в заземленной трубе, выполняющей роль экрана. Сечение провода должно быть не менее 0,5 мм<sup>2</sup>. Прокладка провода в одной трубе с силовыми цепями не допускается.

Шкаф управления опробуется под напряжением. Для этого подается номинальное напряжение и проверяется работа цепей шкафа во всех режимах. Одновременно проверяется действие световой и звуковой сигнализации.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Объясните устройство и принцип действия элементов системы автоматизации.
2. Назовите режимы работы системы автоматизации и объясните ее принцип действия в каждом режиме.
3. Назовите и объясните возможные ситуации останова теплогенератора в автоматическом режиме и действие системы автоматизации.
4. Что нужно сделать для подготовки системы автоматизации перед ее эксплуатацией?
5. Объясните настройку системы автоматизации на нужный алгоритм функционирования объекта управления.
6. Какой принцип управления реализован в системе автоматизации?
7. Имеет ли система автоматизации обратную связь? При наличии обратной связи определите ее вид.

## Глава 12. АВТОМАТИЗАЦИЯ УБОРКИ НАВОЗА

### 12.1. Уборка навоза с точки зрения автоматизации

Для удаления навоза из животноводческих помещений применяется более 30 различных машин и установок. По конструктивным признакам они классифицируются следующим образом: скребковые транспортеры кругового и возвратно-поступательного движения; шнековые транспортеры; канатные скреперы и тросовые лопаты; устройства, навешиваемые на тракторы и самоходные шасси; устройства для гидравлического удаления навоза (гидротранспорт).

По принципу действия технические средства для удаления навоза разделяются на устройства непрерывного и периодического действия. Одни из них (непрерывного действия) используются для ежедневной уборки навоза, другие – для периодического удаления навоза в случае содержания животных на глубокой подстилке и для очистки от навоза выгульных площадок.

Для периодического удаления навоза применяются устройства, навешиваемые на тракторы и самоходные шасси. Остальные технические средства классификационного признака используются для ежедневного удаления навоза из помещений и являются наиболее широко применяемыми. Для них разрабатываются технические средства автоматизации, обеспечивающие автоматическое управление устройствами непрерывного действия.

Несмотря на конструктивное многообразие технических средств для ежедневной уборки навоза из помещений, их объединяет с точки зрения автоматизации одно общее свойство (признак). Оно связано с содержанием алгоритма функционирования, который для каждого конкретного объекта управления разрабатывается с учетом зоотехнических, технологических, административных и экономических требований.

При разработке алгоритма функционирования объекта учитываются правила и предписания, определяемые указанными выше требованиями. Например, зоотехнические требования связаны с выходом экскрементов от каждого вида животных в течение суток. Это определяет интенсивность накопления навоза в помещении, что регламентирует необходимое число включений

(рабочих циклов) в течение суток технических средств для удаления навоза.

Технологические требования обусловлены конструктивными параметрами технических средств для удаления навоза, что определяет продолжительность каждого рабочего цикла.

Административные требования характеризуются распорядком рабочего дня обслуживающего персонала, а также фермы, и связаны, в свою очередь, с экономическими и зоотехническими требованиями.

Алгоритм функционирования объекта определяет сущность и содержание алгоритма управления, который, в свою очередь, определяет сущность и содержание автоматического регулятора, используемого в системе автоматизации.

Алгоритм управления представляет собой программу, которая определяет характер вырабатываемых автоматическим регулятором управляющих воздействий  $u(t)$  с целью осуществления объектом заданного алгоритма функционирования.

Система автоматизации обеспечивает автоматическое управление объектом по специальной программе, которая может разрабатываться в функции времени или в функции другого по физической природе параметра. В связи с этим принято различать временную и параметрическую программы.

Временная программа реализуется в системе автоматизации таким образом, что управляющее воздействие  $u(t)$  вырабатывается автоматическим регулятором через заданные промежутки времени.

Параметрическая программа разрабатывается в функции любого параметра, не являющегося временем. В качестве такого параметра чаще всего используется длина пройденного пути объектом управления, который может перемещаться, например, в горизонтальной или наклонной плоскости по прямолинейной или иной траектории. Наряду с таким простым перемещением возможны более сложные пространственные перемещения. В первом случае разрабатывается программа в функции пройденного пути. Во втором случае разрабатывается более сложная программа в функции нескольких параметров, в которой используется пространственное программирование. Программы с про-

странственным перемещением рабочих органов объекта используются, например, при управлении роботами.

Иногда для разработки программы используются одновременно два различных по своей физической природе параметра, например время и пройденный путь. Такую программу можно назвать смешанной, или временной-параметрической. Она применяется в рассматриваемом ниже примере в системе автоматизации.

## 12.2. Система автоматизации для удаления навоза

Примером системы автоматизации (рис. 12.1), в которой алгоритм управления представляет собой временную-параметрическую программу, может служить система уборки навоза, состоящая из скребкового транспортера ТСН-3,0Б и подвесной дороги с транспортной тележкой. Эта система уборки навоза представляет собой простейшую технологическую линию. Навоз из помещения транспортируется последовательно расположенными горизонтальным и наклонным транспортерами скребкового типа в тележку подвесной дороги, которая доставляет его в навозохранилище. Система автоматизации может работать в ручном и автоматическом режимах, что обеспечивается переключателем SA.

Временная программа реализуется в системе автоматизации ее элементами, которыми являются реле времени KT1 и KT2, а параметрическая – путевыми переключателями SQ1, SQ2, SQ3 совместно с упорами, которые расположены по пути движения транспортной тележки в определенных местах.

Автоматический режим обеспечивается постановкой переключателя SA в положение «А» (Автоматический режим). Последующим нажатием на кнопку выключателя SB5 включается в работу система автоматизации, которая воспроизводит используемую в ней программу, разработанную в функции времени и пройденного пути. Система автоматизации вырабатывает управляющее воздействие  $u(t)$ , которое появляется в заданное программой время, действуя на транспортеры, или действует на тележку, когда она проходит заданный путь.

После нажатия на кнопку выключателя SB5 получает питание реле времени KT1, которое своим контактом KT1:2 запитывает катушку KM4 магнитного пускателя. Последний срабатыва-

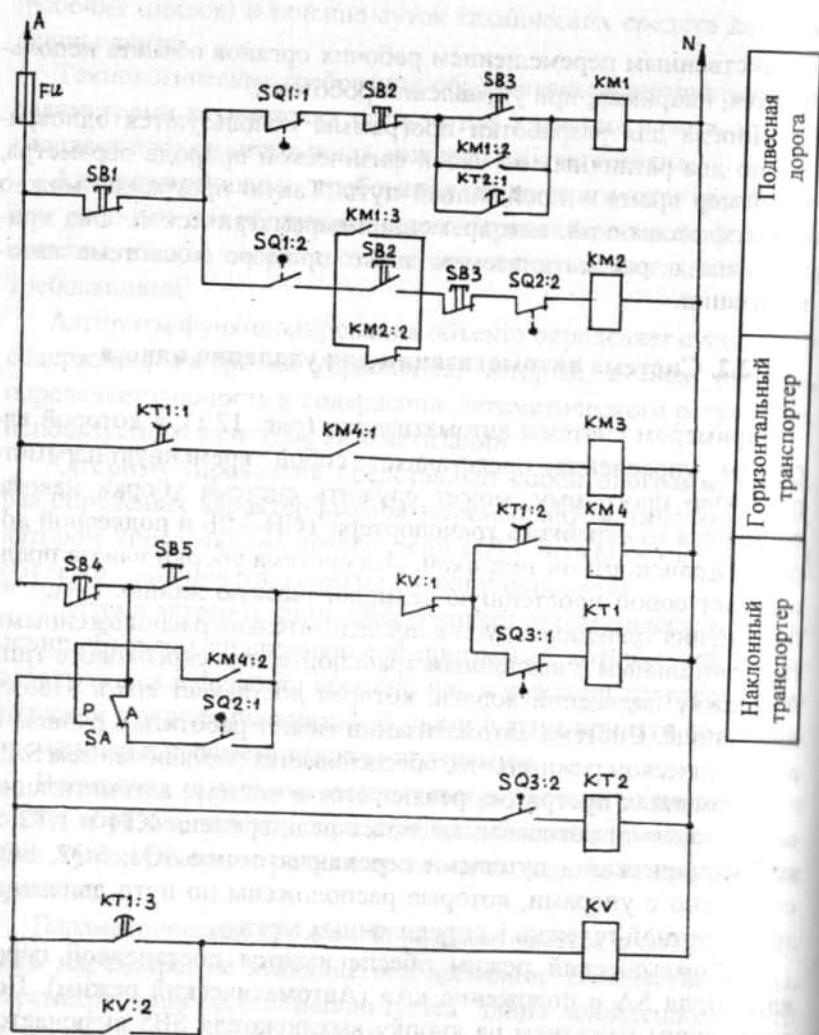


Рис. 12.1. Принципиальная электрическая схема САУ процессом уборки навоза

ет и своими силовыми контактами (на рисунке не показаны) запитывает электродвигатель привода наклонного транспортера. Одновременно замыкаются контакт  $KT1:1$  и вспомогательный контакт  $KM4:1$  магнитного пускателя, в результате чего запитывается катушка  $KM3$  магнитного пускателя. После срабатывания магнитного пускателя  $KM3$  его силовые контакты запитывают

электродвигатель привода горизонтального транспортера. Элементы системы автоматизации вырабатывают управляющее воздействие  $u(t)$ , в разное время и в нужной очередности начинают работать два транспортера. Навоз подается в тележку подвесной дороги.

Тележка заполняется навозом до определенного предела, и срабатывает весовое устройство, действующее на путевой выключатель  $SQ3$ , который имеет размыкающий контакт  $SQ3:1$  в цепи реле времени  $KT1$  и замыкающий контакт  $SQ3:2$  в цепи реле времени  $KT2$ . В результате этого реле времени  $KT1$  отключается от источника питания и одновременно запитывается реле времени  $KT2$ . Реле времени  $KT1$  срабатывает таким образом, что его контакты  $KT1:2$  и  $KT1:1$  размыкаются с выдержкой времени, необходимой для освобождения от навоза наклонного транспортера, т. е. оба транспортера продолжают работать некоторое время. Вначале останавливается горизонтальный, затем — наклонный транспортер.

После запитывания реле времени  $KT2$  его замыкающий контакт  $KT2:1$  срабатывает с некоторым запаздыванием и включает в работу магнитный пускатель  $KM1$ . Своими силовыми контактами (на рисунке не показаны)  $KM1$  запитывает электродвигатель привода подвесной дороги, и тележка с навозом движется к хранилищу. Пройдя заданный путь, она автоматически разгружается в нужном месте, и путевым выключателем  $SQ1$  изменяется направление ее движения. Реверсирование тележки обеспечивается путевым выключателем  $SQ1$ , который имеет две пары контактов  $SQ1:1$  и  $SQ1:2$ . Размыкающий контакт  $SQ1:1$  размыкается, и обесточивается катушка  $KM1$  магнитного пускателя, а замыкающий контакт  $SQ1:2$  замыкается, и запитывается катушка  $KM2$  другого магнитного пускателя.

Магнитный пускатель  $KM2$  срабатывает так, что своими силовыми контактами (на рисунке не показаны) изменяет чередование двух фаз (например, А и В) питания статорных обмоток электродвигателя, ротор которого изменяет вращение на противоположное. Тележка по подвесной дороге возвращается в исходное положение, т. е. она подкатывается к месту загрузки для последующего заполнения навозом.

Возврат тележки в исходное положение фиксируется путевым выключателем  $SQ2$ . Это означает, что размыкающий контакт  $SQ2:2$  обесточивает катушку  $KM2$  магнитного пускателя и дальше тележка не перемещается, а замыкающий контакт  $SQ2:1$  замыкается. Снова запитывается реле времени  $KT1$ . Процесс

удаления навоза из помещения и подачи его в навозохранилище повторяется, т. е. снова осуществляется в автоматическом режиме.

Вторая часть программы, составленная в функции пройденного пути, проявляется так, что соответствующие элементы системы автоматизации вырабатывают управляющее воздействие  $u(t)$  только при прохождении объектом (тележкой) заданного пути.

*Примечание:* управляющие воздействия возникают независимо от внешних возмущений, действующих на объект, т. е. система автоматизации обеспечивает жесткое управление объектом, учитывающее только два параметра: время и пройденный путь.

После окончания уборки навоза его поступление в тележку прекращается. Путь выключатель SQ3 остается в исходном первоначальном положении, т. е. его замыкающий контакт SQ3:1 замкнут, а замыкающий контакт SQ3:2 разомкнут, так как весовое устройство не действует на рычаг этого выключателя.

Реле времени KT1 подключается замкнутым контактом SQ2:1 к источнику питания. В результате реле KT1 вырабатывает управляющий сигнал, и его контакт KT1:3, расположенный в цепи реле напряжения KV, замыкается с замедлением. Это приводит к запитыванию обмотки KV реле напряжения, которое срабатывает.

Размыкающий контакт KV:1 отключает реле времени KT1 от источника питания. Замыкающим контактом KV:2 реле напряжения становится на самоблокировку, что обеспечивает последующее питание его обмотки, так как отключение реле KT1 от источника питания приводит к размыканию его контакта KT1:3.

Самоблокировка реле напряжения K обеспечивает четкую и надежную фиксацию окончания цикла автоматического управления уборкой навоза. Наклонный и горизонтальный транспортеры прекращают свою работу по временной программе, а подвесная дорога — по параметрической программе.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что представляет собой технология уборки навоза из помещения с точки зрения автоматизации?
2. Охарактеризуйте временную и параметрическую программы управления объектом.
3. Объясните устройство и принцип действия системы автоматизации.
4. Раскройте сущность настройки системы автоматизации на нужный алгоритм функционирования.
5. Какой принцип управления реализован в системе автоматизации и имеет ли она обратную связь?

## Глава 13. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ

### 13.1. Общие сведения

При выращивании овощей в защищенном грунте необходимо создавать оптимальные условия для жизнедеятельности (роста и развития) растений. Фаза развития и вид растений определяют необходимые агротехнические требования. Особенно требовательны растения к параметрам воздуха и почвы. Важнейшими параметрами микроклимата являются освещенность, температура и влажность воздуха, скорость движения воздуха, концентрация углекислого газа. Важное значение имеют также влажность и температура почвы, обеспечение питательной средой (органическими и минеральными веществами) корневой системы растений, наличие в почве болезнетворных микробов и другие параметры.

Сооружения защищенного грунта разделяются на следующие виды: утепленный грунт, парники и теплицы.

*Утепленный грунт* представляет собой обогреваемые и необогреваемые участки земли, имеющие различные укрытия и используемые для выращивания рассады и ранних овощей. Для обогреваемого грунта используются солнечная энергия, энергия свежего навоза (биотопливо), горячая вода, горячие угли или электрическая энергия. Основным укрытием являются пленочные сооружения. Необогреваемый грунт может иметь укрытия пленочные, а также из матов и рогож, используемые для укрытия на ночь и на период похолоданий. В качестве источника теплоты используется солнечная энергия.

*Парники* имеют несколько большую земельную площадь по сравнению с утепленным грунтом и представляют собой каркасные сооружения со съемным светопрозрачным покрытием из стекла и пленки. Они могут быть полностью или частично заглубленными, а также незаглубленными в землю. В парниках выращивают рассаду для открытого грунта и ранние овощи. Почва и воздух в парниках нагреваются солнечной энергией, горячей водой, горячими углями, печным отоплением или электрической энергией.

Теплицы являются наиболее совершенными и технически оснащенными сооружениями защищенного грунта. Они предназначены для выращивания ранних и всевозможных овощей, а также рассады для открытого и защищенного грунта. В них используются необходимые для жизнедеятельности растений технические средства, что позволяет выращивать овощи и рассаду в любое время года. В отличие от парников все работы по выращиванию овощей и рассады в теплицах проводятся внутри культивационного сооружения.

По конструктивному исполнению теплицы делятся на ангарные, блочные, широкопролетные, башенные и др.

*Ангарная теплица* представляет собой сооружение, имеющее двухскатную светопропускающую кровлю без внутренних опорных стен. В такой теплице несущими опорами для крыши являются металлические или деревянные арки, которые крепятся на опорных стойках стен или на фундаментной конструкции теплицы.

*Блочная теплица* – секционное строительное сооружение, которое объединяет несколько ангарных теплиц. В такой теплице примыкающие одна к другой боковые стены заменяются опорными стойками. Каждый стык двух смежных секций соединяется желобом, который является опорой для строительных элементов крыши двух смежных секций и служит одновременно для отвода воды атмосферных осадков. Все секции образуют теплицу в виде единого помещения, площадь которого может изменяться от 1 до 3 га.

Оптимальная площадь блочной теплицы составляет 1 га, а тепличного комплекса (комбината), состоящего из нескольких самостоятельных блоков, – 18...60 га.

Достоинство ангарных и блочных теплиц заключается в достаточно высокой освещенности, возможности применения транспортных и почвообрабатывающих машин. Однако большая высота и ширина теплицы приводят к завышению площади светопропускаемых элементов и тем самым к увеличению теплопотерь.

*Широкопролетная теплица* изготавливается с подвесным светопропускаемым перекрытием. Примером является теплица «Москва-гигант» в Московской области площадью 1 га. Она

представляет собой сооружение без промежуточных опор и состоит из двух половин размером по 36×144,5 м каждая.

*Башенная теплица* – многоэтажное стеклянное сооружение высотой 20...40 м. По высоте ее смонтирован непрерывный конвейер со специальными стеллажами для растений. При движении конвейера, когда стеллажи находятся в нижнем по высоте теплицы положении, растения получают подкормку и увлажнение. Такая теплица характеризуется экономичным использованием земли и возможностью построения в любом месте: на брошенных землях или путем пристройки к многоэтажному дому.

По срокам годовой эксплуатации теплицы разделяются на зимние, работающие круглогодично, и весенние, работающие с февраля по октябрь. Зимние теплицы в 2...3 раза дороже весенних вследствие значительных затрат строительных материалов и значительно большей насыщенности теплотехническим оборудованием.

Строительство теплиц переведено на промышленную основу, и их развитие ориентировано на создание крупных тепличных комбинатов с высокой степенью механизации и автоматизации технологических процессов. Механизация и автоматизация значительно сокращают затраты труда и себестоимость продукции, повышают на 10...15 % урожайность овощей, экономят 15...20 % тепловой энергии. Урожайность овощей с 1 м<sup>2</sup> достигает 35...40 кг и более.

В практике выращивания овощей в защищенном грунте используются почвенные и гидропонные теплицы.

Для приготовления почвосмеси применяются полевая земля, торф, перегной, древесные опилки, песок и т. п., а также азотные, фосфорные, калийные и другие минеральные удобрения и микроэлементы. С учетом агрохимических анализов в почвенных теплицах производятся корневая и внекорневая подкормки растений растворами минеральных макро- и микроэлементов.

Выращивание овощей на питательных растворах без почвы представляет собой *гидропонный метод* (гидропоника в переводе с греческого означает «работа с водой»). В качестве почвы используется щебень, керамзит (инертные субстраты), древесные опилки, мох, верховой торф (органические субстраты) и ионитные смолы. В заменитель почвы, засыпанный в стелла-

жи, высаживаются растения (рассада), к которым по соединительным каналам подается специальный питательный раствор.

Стоимость гидропонных теплиц в два раза выше почвенных, что связано с необходимостью использования специального технологического оборудования для приготовления и подачи питательного раствора. Кроме того, обязательным требованием является полная замена питательного раствора через каждый месяц.

Однако затраты труда в гидропонных теплицах в два раза меньше, что объясняется отсутствием почвы и технологических операций ее обработки, а урожайность увеличивается до 50 %. Наряду с этим сокращается период от посадки растений до товарной зрелости овощей.

### 13.2. Автоматизация обогрева парников

По уровню механизации и автоматизации технологических процессов парники занимают промежуточное место между утепленным грунтом и теплицами. Автоматизация парников сводится к автоматическому регулированию температуры почвы и воздуха в зависимости от вида и возраста растений, а также погодных условий. Тепловой режим в парниках может обеспечиваться ручным или автоматическим регулированием температуры. Однако автоматическое регулирование предпочтительнее ручного. Наряду с явными преимуществами эксплуатационного обслуживания парников при автоматическом регулировании, кроме того, затраты электроэнергии снижаются на 15...20 %.

*Автоматическое регулирование* температуры в парниках представляет собой простейшую систему автоматизации (рис. 13.1). На схеме изображена одна группа парников, состоящая из четырех конструктивных сооружений 5. Техническими средствами системы автоматизации являются нагревательные элементы 1 и 2, ИП ТЕ3 с регулятором температуры 4, переключателями SA1, SA2 и SA3, магнитный пускатель КМ и предохранители Fu.

Режимы работы задаются при помощи переключателя SA3: ручной режим соответствует положению Р, автоматический режим – положению А, отключенное состояние – положению О. Переключателями SA1 и SA2 обеспечивается подача на нагрева-

тельные элементы напряжения, равного соответственно 380 и 220 В. ИП ТЕ3 устанавливается в одном из четырех парников. В качестве нагревательных элементов применяются изолированные провода с токоведущей жилой из оцинкованной стали марки ПОСХВ, ПОСХП, ПОСХВТ или ПНВСЗ. Нагревательный элемент 1 обогревает воздух в парнике, а нагревательный элемент 2 – его почву.

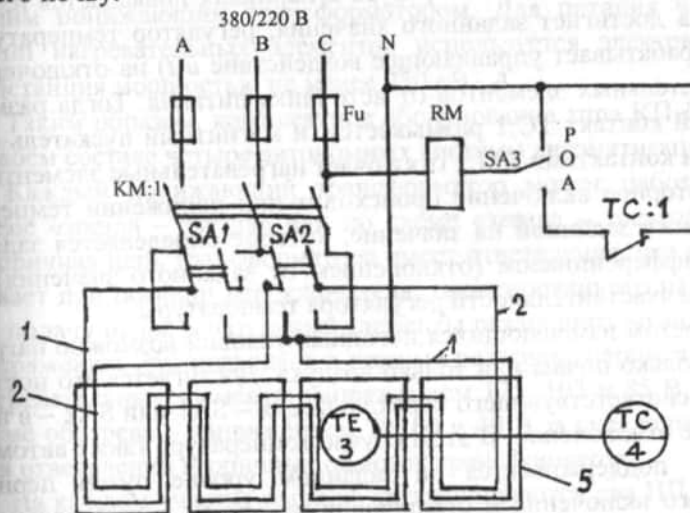


Рис. 13.1. Принципиальная электрическая схема САР температуры в парниках

*Ручной режим* обеспечивается постановкой переключателя SA3 в положение Р. В результате к источнику питания подключается катушка КМ магнитного пускателя, который срабатывает и силовыми контактами КМ:1 запитывает переключатели SA1 и SA2. В зависимости от погодных условий оператор может включать поочередно переключателем SA1 нагревательные элементы 1 и обогревать воздух в парнике, переключателем SA2 – нагревательные элементы 2 и обогревать почву или обоими переключателями – нагревательные элементы 1 и 2. Для контроля теплового режима в каждом парнике необходимо использовать термометры. При достижении необходимой температуры оператор выключает нагревательный элемент 1 или 2, или оба одновременно.

Автоматический режим протекает следующим образом. Переключатели SA1 и SA2 устанавливаются в положение «Включено», а переключатель SA3 – в положение «А».

При температуре в парниках, ниже заданной, размыкающий контакт ТС:1 регулятора температуры ТС замкнут. В результате срабатывает магнитный пускатель, и его силовые контакты КМ:1 замыкаются и подключают нагревательные элементы к источнику питания. Температура в парниках повышается и, когда она достигнет заданного значения, регулятор температуры ТС вырабатывает управляющее воздействие  $u(t)$  на отключение нагревательных элементов от источника питания. Тогда размыкающий контакт ТС:1 размыкается, и магнитный пускатель силовыми контактами КМ:1 отключает нагревательные элементы.

Повторное включение происходит при понижении температуры ниже заданной на значение, которое определяется заданным дифференциалом (отклонением от заданного значения) и зоной нечувствительности регулятора температуры.

С учетом изменяющихся погодных условий возможно нагревание только почвы или только воздуха. Достигается это постановкой соответствующего переключателя – SA1 или SA2 – в положение «Включено». В этом случае температура также автоматически поддерживается на заданном уровне путем периодического включения и отключения одного из нагревательных элементов.

**Комплектное оборудование типа КП-1** является более совершенной системой автоматизации и применяется для обогрева рамочных и пленочных парников. Оно обеспечивает почвенный и воздушный электрообогрев в рамочном парнике на 1920 рам (стандартный размер рамы составляет  $1,06 \times 1,60$  м) и в пленочных парниках площадью до 0,5 га. Для электрообогрева почвы и воздуха используется неизолированный провод диаметром 6 мм. Провод укладывается в почве на глубине не менее 0,25 м параллельными рядами с расстоянием между ними 0,25 м. Для обогрева воздуха нагревательные провода монтируются на внутренних боковых поверхностях стен парника.

Рамочный парник разделяется на четыре участка, каждый из которых состоит из 480 рам. В соответствии с таким делением площади парника все его нагревательные элементы также разде-

ляются на четыре части, и образуются четыре группы нагревательных элементов. Каждая группа нагревательных элементов может обогревать воздух и почву на одном участке парника и входит в состав отдельной (автономной) системы автоматизации, обеспечивающей управление температурным режимом на соответствующем участке парника. Питание нагревательных элементов автономной системы автоматизации обеспечивается одним понижающим трансформатором. Для питания четырех групп нагревательных элементов используется электрическая подстанция мощностью не менее  $250 \text{ кВт} \cdot \text{А}$ .

Таким образом, комплектное оборудование типа КП-1 имеет в своем составе четыре автономных системы автоматизации.

Каждый понижающий трансформатор может работать по схеме «звезда – звезда» или по схеме «звезда – треугольник». Вторичная цепь трансформатора имеет ответвления, что обеспечивает при помощи переключателя, смонтированного на корпусе, подачу на нагревательные элементы различного по значению напряжения. Это позволяет в режиме разогрева парника питать нагревательные элементы напряжением 125, 103 и 85 В, а в режиме обогрева – напряжением 70, 60 и 49 В за счет переключения ответвлений вторичных обмоток трансформатора.

На каждом участке парника устанавливаются два ИП для измерения температуры почвы и два ИП – для измерения температуры воздуха. Для этого площадь одного участка делится на две части и в центре каждой половины участка, имеющей 240 рам, устанавливаются в почве на глубине 0,1 м по одному ИП температуры почвы, а на боковых стенах парника – по одному ИП температуры воздуха.

Температурный режим, создаваемый нагревательными элементами одной группы, может обеспечиваться автономной системой автоматизации (рис. 13.2) в ручном или автоматическом режиме. Четыре автономные системы автоматизации комплектного оборудования типа КП-1 работают независимо одна от другой.

В состав автономной системы автоматизации входят следующие технические средства: ИП температуры почвы ВК2, ВК4 и воздуха ВК1, ВК3, которыми являются терморезисторы; переключатель режимов SA1; переключатели SA2, SA3, кото-

рыми включают в работу ИП, контролирующие обогрев воздуха (положение В) или почвы (положение П); логометры регулирующие SK1 и SK2, выполняющие одновременно функции автоматических регуляторов и измерительных приборов для визуального контроля температуры воздуха и почвы на одном участке парника; трансформатор TV, во вторичной цепи которого силу тока и напряжение можно контролировать амперметром PA и вольтметром PV во всех фазах при помощи переключателей SA4 и SA5; нагревательные элементы EK1...EK4, которые могут включаться во вторичную цепь трансформатора или отключаться от этой цепи при помощи рубильников SA6...SA9; магнитный пускатель KM; автоматический выключатель QF; выключатели кнопочные нажимные SB1 и SB2; штепсельный разъем ШР, обеспечивающий подключение электрифицированных механизмов для обработки почвы и ухода за растениями.

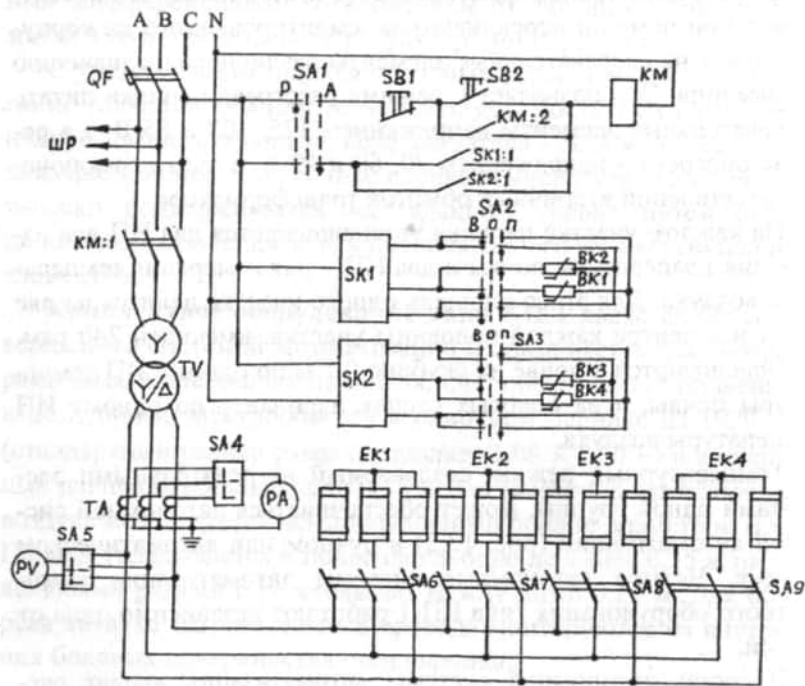


Рис. 13.2. Принципиальная электрическая схема системы автоматизации комплектного оборудования типа КП-1

Регулирующий логометр SK1 обеспечивает автоматическое управление температурным режимом на одной половине участка парника путем измерения температуры воздуха ИП BK1 и температуры почвы ИП BK2. Другой регулирующий логометр, SK2, обеспечивает автоматическое управление температурным режимом на второй половине того же участка парника путем измерения температуры воздуха ИП BK3 и температуры почвы ИП BK4. В измерительные цепи логометров ИП BK1...BK4 включены по мостовой схеме. Каждый логометр одного и того же участка парника работает независимо от других.

Автоматический режим управления температурой одного участка парника обеспечивается автономной системой автоматизации и протекает следующим образом.

Оператор включает автоматический выключатель QF, и одновременно запитывается фазным напряжением регулирующий логометр SK1, управляющий температурой воздуха вместе с ИП BK1 и температурой почвы вместе с ИП BK2 на одной половине участка парника, а также регулирующий логометр SK2, управляющий температурой воздуха вместе с ИП BK3 и температурой почвы вместе с ИП BK4 на другой половине того же участка парника.

Сначала переключатели SA2 и SA3 оператор устанавливает в положение «В», и логометры SK1 и SK2 показывают на своих шкалах температуру воздуха на одном участке парника. Затем переключатели SA2 и SA3 оператор устанавливает в положение «П», и логометры показывают температуру почвы на том же участке парника.

На основании значений температуры воздуха и почвы на участке парника, а также с учетом агротребований по эксплуатации парников оператор принимает решение о включении соответствующих нагревательных элементов, т. е. о необходимости нагревания воздуха или почвы.

Если температура воздуха ниже заданной, то оператор устанавливает переключатели SA2 и SA3 в положение «В», а рубильники SA6 и SA8 – в положение «Включено».

При температуре воздуха ниже заданной нарушается равновесное состояние измерительных мостов регулирующих логометров SK1 и SK2. В выходной диагонали измерительного моста

каждого логометра появляется электрический сигнал с соответствующими значениями напряжения и силы тока.

Регулирующие логометры SK1 и SK2 срабатывают так, что их контакты SK1:1 и SK2:1 замыкаются. Обмотка KM запитывается фазным напряжением, и магнитный пускатель срабатывает. Его силовые контакты KM:1, замыкаясь, подключают трансформатор TV к трехфазному источнику питания, и нагревательные элементы EK1 и EK3 начинают излучать теплоту, что повышает температуру воздуха.

При достижении температурой воздуха заданного значения, что контролируется ИП BK1 и BK3 на одном участке парника, измерительные мосты логометров SK1 и SK2 возвращаются в равновесное состояние. В выходных цепях измерительных мостов обоих логометров электрический сигнал исчезает, и логометры SK1 и SK2 возвращаются в исходное состояние.

Возврат логометров в исходное состояние приводит к размыканию контактов SK1:1 и SK2:1. В результате, обесточивается обмотка KM, и магнитный пускатель тоже возвращается в исходное состояние, размыкая силовые контакты KM:1. Трансформатор TV отключается от источника питания, и нагревательные элементы EK1 и EK3 не нагревают воздух.

В случае необходимости подогревания почвы оператор устанавливает переключатели SA2 и SA3 в положение «П», а рубильники SA7 и SA9 – в положение «Включено».

В измерительные мостовые цепи логометров SK1 и SK2 контактами переключателей SA2 и SA3 включаются измерительные преобразователи BK2 и BK4, которые преобразуют *измеряемую температуру почвы* в изменение сопротивления терморезисторов (ИП). При температуре почвы, ниже заданной, сопротивления ИП BK2 и BK4 имеют значения, при которых нарушается равновесное состояние измерительных мостов, и логометры SK1 и SK2, срабатывая, замыкают свои контакты SK1:1 и SK2:1.

Магнитный пускатель KM своими силовыми контактами KM:1 подключает к источнику питания трехфазный трансформатор, и нагревательные элементы EK2 и EK4 нагревают почву. Температура почвы увеличивается, и при достижении ею заданного значения логометры SK1 и SK2 размыкают свои контакты SK1:1 и SK2:1. Это приводит к обесточиванию обмотки магнит-

ного пускателя KM и размыканию силовых контактов KM:1. В результате трансформатор отключается от источника питания, и нагревательные элементы EK2 и EK4 обесточиваются. Прекращается нагревание почвы на участке парника.

Принцип действия остальных трех автономных систем автоматизации комплектного оборудования типа КП-1, обеспечивающих управление температурным режимом на соответствующих участках парника, аналогичен описанному на примере одной автономной системы автоматизации.

*Ручной режим* регулирования температуры на одном участке парника обеспечивается автономной системой автоматизации и заключается в следующем.

Оператор переводит автоматический выключатель QF в положение «Включено», а переключатель SA1 – в положение «Р». В результате этого запитываются фазным напряжением регулирующий логометр SK1, измеряющий температуру воздуха при помощи ИП BK1 и температуру почвы при помощи ИП BK2 на одной половине участка парника, а также регулирующий логометр SK2, измеряющий температуру воздуха при помощи ИП BK3 и температуру почвы при помощи ИП BK4 на второй половине того же участка парника. В этом режиме работы автономной системы автоматизации регулирующие логометры SK1 и SK2 выполняют только функции измерительных приборов температуры воздуха и почвы на одном участке парника.

При нажатии на кнопку выключателя SB2 ток протекает по цепи: фаза С – контакты переключателя SA1 – контакты кнопочных выключателей SB1 и SB2 – катушка KM магнитного пускателя – N. Срабатывает магнитный пускатель и силовыми контактами KM:1 подключает к источнику питания первичную цепь трансформатора TV, а вспомогательными контактами KM:2 шунтирует кнопочный выключатель SB2.

Далее оператор визуально определяет температуру воздуха и почвы на участке парника по шкалам логометров SK1 и SK2. Для измерения температуры воздуха оператор устанавливает переключатели SA2 и SA3 в положение «В», а для измерения температуры почвы эти переключатели переводятся оператором в положение «П». С учетом конкретных значений температуры воздуха и почвы оператор намечает свои дальнейшие действия,

которые определяются тем, что нужно подогревать – воздух или почву.

Если необходимо подогревать воздух, то переключатели SA2 и SA3 переводятся в положение «В», а рубильники SA6 и SA8 – в положение «Включено». Воздух нагревается элементами EK1...EK3, а температура нагревания контролируется по шкалам логометров SK1 и SK2. Когда температура воздуха достигает заданной, оператор отключает нагревательные элементы EK1...EK3 соответствующими рубильниками.

Если необходимо подогревать почву, то переключатели SA2 и SA3 переводятся в положение «П», а рубильники SA7 и SA9 – в положение «Включено». Почва нагревается элементами EK2...EK4, а температура нагревания контролируется по шкалам логометров SK1 и SK2. При достижении заданной температуры почвы оператор отключает соответствующими рубильниками нагревательные элементы EK2...EK4.

На остальных трех участках парника ручное управление температурным режимом осуществляется соответствующими автономными системами автоматизации аналогично описанному для одного участка такой же последовательности и с такими же действиями оператора.

Ручной режим регулирования температуры воздуха и почвы в парнике сводится к периодическому включению и отключению соответствующими рубильниками нагревательных элементов, расположенных на каждом участке парника, а также периодическому визуальному контролю температуры воздуха и почвы по шкалам логометров и установке соответствующих переключателей в положения «В» и «П».

При автоматическом и ручном режиме регулирования температуры в парнике оператор может устанавливать специальным переключателем одно из больших значений напряжения – 125, 105 или 85 В (с учетом климатических условий), что обеспечивает более быстрое нагревание воздуха или почвы до заданной температуры. После разогрева парника оператор устанавливает тем же переключателем одно из меньших напряжений – 70, 60 или 49 В, обеспечивая заданную температуру воздуха или почвы в парнике.

Экстренное отключение электрических силовых цепей в каждой автономной системе автоматизации комплектного оборудования типа КП-1 обеспечивается кнопочными выключателями SB1, а отключение всех элементов каждой автономной системы автоматизации – автоматическими выключателями QF.

### 13.3. Автоматизация ангарных теплиц

#### 13.3.1. Общие сведения

Автоматизация ангарных теплиц сводится к: автоматическому управлению температурным режимом; поливом почвы и увлажнением воздуха; концентрацией раствора минеральных удобрений; подкормкой растений углекислым газом и их досвечиванием.

Автоматическое управление температурным режимом обеспечивается техническими средствами на основе использования определенного теплоносителя и естественной вентиляции. Источником теплоты, как правило, является горячая вода, поступающая из котельной. В теплицах используется в основном комбинированный обогрев, включающий водяное нагревание почвы и водяное нагревание воздуха. Нагревающими элементами почвы служат греющие регистры, а воздуха – водяные калориферы. Почва и воздух нагреваются за счет передачи теплоты соответственно нагретыми горячей водой регистрами и калориферами. Подогретый калориферами воздух принудительно распределяется по всей теплице при помощи воздухопроводов. Нагревание воздуха характеризуется малой инерционностью по сравнению с нагреванием почвы регистрами, что позволяет управлять температурой воздуха в теплицах с высокой точностью.

Вентиляция теплиц, влияющая на их температурный режим, осуществляется путем открытия и закрытия фрагм, которые располагаются на стенах и на кровле.

Для полива почвы и увлажнения воздуха в теплицах используется вода, подогретая до температуры 16...25 °С при помощи специального водонагревателя. Полив почвы осуществляется при помощи дождевальной установки или шлангов с распылителями. Воздух увлажняется путем распыления подогретой воды

через форсунки, закрепленные в подвешенных водопроводах на расстоянии около 3 м одна от другой. При распылении воды на конструкциях теплицы образуется конденсатная влага, которая отводится в канализацию по специально устроенным желобам.

Концентрация раствора различных минеральных удобрений контролируется и поддерживается в автоматическом режиме. Приготовленный раствор подается к растениям теплицы по тем же трубам, что и поливная вода.

Управление подкормкой растений углекислым газом, а также управление досвечиванием растений осуществляется специальными техническими средствами в автоматическом режиме.

В тепличных комбинатах широко эксплуатируются системы автоматизации отечественного производства – комплектное оборудование типа АМТ-600, СК-2, ОРМ-1, УТ-12 и др., а также САУ зарубежных фирм типа ГРВ, Г-100 и Г-200 (Германия), ДГТ (Дания), «Дельта-80» (голландской формы «Ван Флит») и др.

Примером автоматизации технологических процессов в ангарных теплицах может служить комплектное оборудование типа УТ-12. Вначале элементной базой комплекта УТ-12 являлись бесконтактные транзисторные логические элементы серии «Логика-Т». С появлением новой элементной базы комплектное оборудование УТ-12 оснащается современными средствами автоматизации на основе интегральных микросхем.

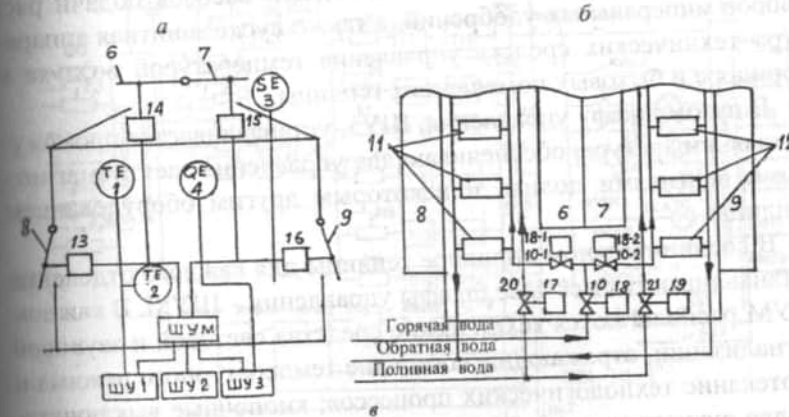
Комплектное оборудование УТ-12 обеспечивает: автоматическое регулирование воздуха в теплице; температуры воздуха в бытовых помещениях и коридоре; автоматическое управление поливом растений и увлажнением воздуха; автоматическое управление концентрацией растворов минеральных удобрений, а также подачей углекислого газа и досвечиванием растений.

Комплект УТ-12 рассчитан на управление указанными параметрами и процессами в 12 отделениях теплицы. Кроме того, осуществляет измерение и регистрацию температуры в различных зонах теплицы.

Температура воздуха, почвы и поливной воды поддерживается на заданном уровне с точностью  $\pm 1,5^\circ\text{C}$  в диапазоне  $0 \dots 40^\circ\text{C}$ ; концентрация раствора минеральных удобрений –

с точностью  $\pm 0,005$  МПа в диапазоне от 0,01 до 0,2 МПа осмотического давления.

Технические средства комплектного оборудования УТ-12, обеспечивающие управление температурным режимом и указанными выше технологическими процессами, размещаются определенным образом в ангарной теплице (рис. 13.3, а, б). Так, элементы и узлы, контролирующие температурный режим и влияющие на состояние объекта, размещаются в технологическом оборудовании каждого отделения теплицы. К таким элементам и узлам относятся ИП, ИМ и РО. Элементы и узлы, которые формируют управляющие сигналы для управления температурным режимом и технологическими процессами в каждом отделении теплицы, входят в состав автоматических регуляторов и размещаются в соответствующих шкафах управления.



Оборудование		Состояние оборудования при отклонении температуры от заданной, °С													
		-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	
Вентиляторы	коньковая	правая	Открыт												
		левая	Заклоп												
	боковая	правая	Заклоп												
		левая	Заклоп												
Калориферы	11	Отключены													
	12	Отключены													

Рис. 13.3. Функциональная схема системы автоматизации комплектного оборудования УТ-12 (а – вид с торца; б – вид сверху) и циклограмма работы (в)

В первом шкафу управления, ШУ1, размещаются технические средства САУ температурой воздуха и почвы в 12 отде-

ниях теплицы и температуры воздуха в соединительном коридоре и бытовых помещениях, а также технические средства, которые обеспечивают контроль и регистрацию температуры воздуха в 12 отделениях теплицы.

Во втором шкафу управления, ШУ2, располагаются технические средства САУ поливом почвы и увлажнением воздуха, а также технические средства САУ подачей углекислого газа и облучением растений в 12 отделениях теплицы.

В третьем шкафу управления, ШУ3, размещаются технические средства САУ температурой поливной воды, концентрацией раствора минеральных удобрений, а также технические средства САК температуры наружного воздуха и температуры воздуха в 24 точках теплицы и САК скорости наружного воздуха.

В четвертом шкафу управления, ШУ4, располагается пусковая аппаратура насосов поливной воды и насосов подачи растворов минеральных удобрений, а также пускозащитная аппаратура технических средств управления температурой воздуха в коридоре и бытовых помещениях теплицы.

В пятом шкафу управления, ШУ5, устанавливается промежуточная аппаратура, обеспечивающая управление электромагнитными вентилями полива и некоторым другим оборудованием теплицы.

В соединительном коридоре теплицы для каждого отделения устанавливаются местные шкафы управления – ШУМ. В каждом ШУМ располагаются технические средства световой и звуковой сигнализации, отражающие состояние температурного режима и протекание технологических процессов; кнопочные выключатели для ручного управления температурным режимом и технологическими процессами в отделении теплицы; переключатель режимов систем автоматического управления; некоторая пускозащитная аппаратура.

### 13.3.2. Система автоматического управления температурой в теплице

#### 13.3.2.1. Устройство системы автоматизации

САУ температурой в теплице является многоконтурной системой автоматизации (рис. 13.4), в которой в каждом измери-

тельном преобразователе ВК1...ВК16 возникает выходной сигнал в случае отклонения температуры от заданной и проходит по своему каналу (электрической цепи), образуя главную обратную связь (параграф 2.3) в виде непрерывного контура. Выходной сигнал ИП влияет на состояние автоматизации так, что ее элементы отображают температурный режим в теплице световой и звуковой сигнализацией, а также вырабатывают необходимое управляющее воздействие  $u(t)$  для нейтрализации возникшего отклонения температуры в объекте управления от заданной. Функции ИП выполняют терморезисторы.

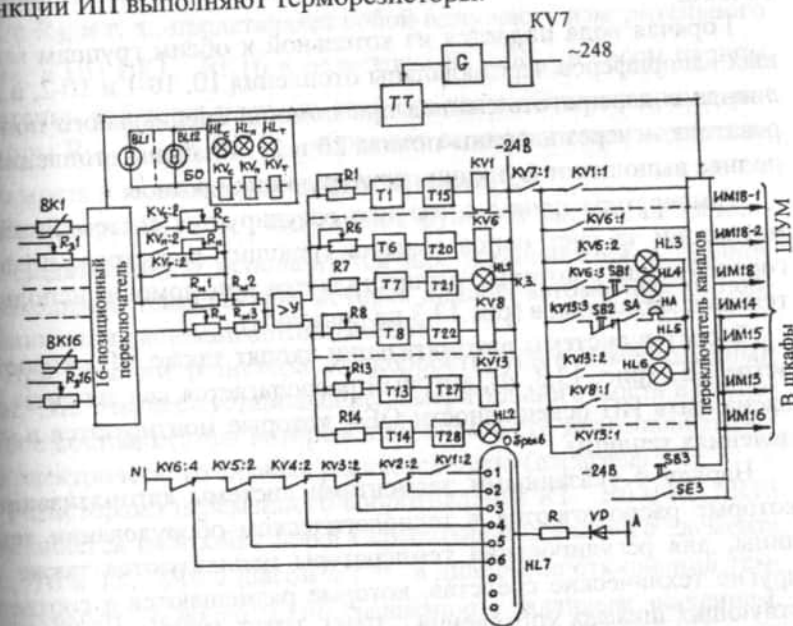


Рис. 13.4. Принципиальная схема САУ температурой воздуха в ангарных теплицах

Выходные сигналы ИП, проходя по своим электрическим цепям, формируются в управляющие воздействия и влияют на 16 исполнительных механизмов, которые включают и отключают регулирующие органы в 12 отделениях тепличного блока, в соединительном коридоре и бытовых помещениях, а также регулирующие органы почвенного обогрева.

Воздух в теплице нагревается при помощи двух групп водяных калориферов 11 и 12 (рис. 13.3, б), а почва теплицы – при помощи греющих регистров, расположенных в грунте на определенной глубине (на рис. 13.3, б не показаны).

Температура воздуха в теплице регулируется системой автоматизации за счет использования водяных калориферов 11 и 12, а также коньковых 6 и 7 (рис. 13.3, а, б) и боковых 8 и 9 фрамуг. Открытие и закрытие фрамуг 6 и 7, 8 и 9, выполняющих в системе автоматизации функции регулирующих органов, осуществляется при помощи исполнительных механизмов 14 и 15, 13 и 16.

Горячая вода подается из котельной к обеим группам водяных калориферов через клапаны отопления 10, 10-1 и 10-2, а поливная вода, приготовленная при помощи специального подогревателя, – через клапаны полива 20 и 21. Клапаны отопления и полива выполняют функции регулирующих органов.

Температура почвы в теплице регулируется системой автоматизации за счет использования греющих регистров, подача горячей воды в которые осуществляется при помощи исполнительных механизмов (рис. 13.3 не показаны).

В состав системы автоматизации входят также ИП скорости ветра SE3 (рис. 13.3, а), который располагается вне теплицы, и двенадцать ИП освещенности QE4, которые монтируются в отделениях теплицы.

Наряду с указанными элементами системы автоматизации, которые располагаются в технологическом оборудовании теплицы, для регулирования температуры используются также и другие технические средства, которые размещаются в соответствующих шкафах управления – ШУ1, ШУ2, ШУ3 (рис. 13.3, а) и изображаются на принципиальной электрической схеме (рис. 13.4).

Импульсный генератор G формирует и выдает импульсы, период следования которых составляет 15 с.

Кольцевой счетчик ТТ (параграф 5.5.2), выполненный на основе триггеров, обеспечивает последовательный перенос импульсных сигналов генератора, а также одновременную подачу каждого импульса в электронный 16-позиционный переключатель и в электронный переключатель каналов (рис. 13.4).

Функции 16-позиционного переключателя и переключателя каналов, как правило, выполняют распределители (параграф 5.5.3), обеспечивающие включение и отключение соответствующих элементов системы автоматизации синхронно поступающим из генератора импульсам.

Электронный 16-позиционный переключатель поочередно подключает ИП ВК1...ВК16 вместе с резисторами  $R_{3_1}...R_{3_{16}}$  к электрическим цепям, в которых находятся резисторы  $R_{M_1}$ ,  $R_{M_2}$  и  $R_K$ ,  $R_{M_3}$ . Каждая пара резисторов, состоящая из ВК1 и  $R_{3_1}$  или ВК2 и  $R_{3_2}$  и т. д., представляет собой одну часть измерительного моста, а ИП ВК1...ВК16 и резисторы  $R_{3_1}...R_{3_{16}}$  в своем парном сочетании являются плечами этой его части. В то же время, резисторы  $R_{M_1}$ ,  $R_{M_2}$  и  $R_K$ ,  $R_{M_3}$  образуют вторую часть измерительного моста и являются плечами этой части.

Резисторы  $R_{3_1}...R_{3_{16}}$  выполняют функции задающих элементов (задатчиков) и используются для установления в теплице необходимой температуры, которая должна автоматически поддерживаться системой автоматизации.

При помощи резистора  $R_K$  корректируется измерительный мост. Это означает установление измерительного моста в равновесное состояние, при котором в выходной его диагонали значение электрического сигнала равняется нулю (параграф 3.6).

Резисторами переменного сопротивления  $R1...R6$  и  $R8...R13$  выполняется настройка порога срабатывания каждого элемента Т1...Т6 и Т8...Т16 с шагом в 1 °С в диапазоне отклонений температуры от -6 до +6 °С по сравнению с заданным значением. Пороговый элемент Т7 срабатывает при коротком замыкании, а элемент Т14 – при обрыве в цепях измерительных преобразователей.

Пороговые элементы Т1...Т6 и Т8...Т13 срабатывают при следующих значениях отклонения температуры воздуха от заданной: Т1 – при -1 °С, а Т8 – при +1 °С; Т2 – при -2 °С, а Т9 – при +2 °С; Т3 – при -3 °С, а Т10 – при +3 °С; Т4 – при -4 °С, а Т11 – при +4 °С; Т5 – при -5 °С, а Т12 – при +5 °С; Т6 – при -6 °С, а Т13 – при +6 °С.

Элементы Т15...Т28 выполняют функции усилителей мощности. Нагрузками большинства элементов являются промежуточные реле KV1...KV6 и KV8...KV13, а элементов Т21 и Т28 – сигнальные лампы HL1 и HL2. Лампа HL1 сигнализирует о коротком замыкании, а лампа HL2 – об обрыве в цепях управления.

В состав автоматической сигнализации входят также цифровая неоновая лампа HL7, сигнальные лампы HL3...HL6 и электрический звонок HA. Лампа HL7 высвечивает цифры от 1 до 6, которые отображают понижение температуры воздуха в теплице относительно заданного значения; HL3 и HL6 показывают знак отклонения температуры – соответственно ниже и выше заданной; HL4 сигнализирует о предельном понижении температуры в теплице, а HL5 и HA – о предельном повышении температуры.

Местные шкафы управления ШУМ и исполнительные механизмы питаются напряжением 24 В через замыкающий контакт KV7:1. Импульсный генератор G, включающий реле KV7 через каждые 15 с, обеспечивает также пятисекундную выдержку времени срабатывания реле KV7. Выдержка такой продолжительности исключает передачу ИМ ложного сигнала, который возникает в результате проявления переходных процессов в 16-позиционном переключателе.

Местные шкафы управления с техническими средствами автоматизации располагаются в соединительном коридоре около каждого отделения теплицы.

САУ температурным режимом воздуха в теплице оснащена также отдельным автоматическим блоком освещенности БО, в состав которого входят: двенадцать ИП BL1...BL12, которыми являются фоторезисторы и которые монтируются по одному в каждом отделении теплицы; промежуточные реле KV<sub>с</sub>, KV<sub>п</sub>, KV<sub>т</sub> и сигнальные лампы HL<sub>с</sub>, HL<sub>п</sub>, HL<sub>т</sub>.

#### 13.3.2.2. Рабочий процесс системы автоматизации

Автоматическое управление температурным режимом воздуха в теплице осуществляется системой автоматизации (рис. 13.4) на основе использования тепловой энергии горячей воды и энергии окружающей среды, что определяется постоянно изменяю-

щимися погодными условиями, являющимися основным возмущающим воздействием объекта управления (параграф 1.4).

Каждый импульс генератора G одновременно включает в работу реле KV7 и кольцевой счетчик ТТ. Срабатывание реле KV7 обеспечивает подключение электронного переключателя каналов к источнику питания путем замыкания контакта KV7:1. В то же время срабатывание счетчика ТТ обеспечивает опрос одного из измерительных преобразователей BK1...BK16 при помощи 16-позиционного переключателя, а также необходимое срабатывание переключателя каналов и появление управляющего сигнала в соответствующей его выходной цепи.

Таким образом, синхронно импульсу генератора осуществляется электрическая связь между опрашиваемым ИП и нужным выходом электронного переключателя каналов, что отражается в последующем текстовом материале при описании принципа действия системы автоматизации. Рабочий процесс САУ температурой рассматривается при различных значениях и знаках отклонения температуры воздуха относительно заданной.

Понижение или повышение температуры относительно заданной приводит к срабатыванию определенных элементов системы автоматизации, что определяется значением и знаком отклонения температуры.

Это объясняется конструктивными особенностями построения принципиальной электрической схемы системы автоматизации, что обусловлено содержанием объекта управления и агротехническими и биологическими требованиями обеспечения жизнедеятельности растений в теплице. Особенность принципиальной схемы системы автоматизации связана с использованием значительного числа ИП, рассредоточенных на значительной площади. Содержание же объекта управления, характеризующее его основными свойствами и проявлением значительной инерционности (параграф 1.2), обуславливает, в свою очередь, построение структуры системы автоматизации и определяет ее рабочий процесс, обеспечивающий автоматическое управление температурным режимом в теплице.

В связи с этим отклонение температуры в теплице от заданного значения в любую сторону приводит к изменению электрического сопротивления всех ИП BK1...BK16 и появлению в вы-

ходной цепи каждого из них электрического сигнала. Однако действие выходных сигналов ИП на другие элементы системы автоматизации проявляется не одновременно, а по определенному алгоритму управления (п. 2.2), разработанному для данной САУ. Отклонение температуры от заданной в ту или иную сторону характеризуется не только его значением, но и знаком, что определяется измерительным мостом. Выходной сигнал каждого ИП может оказывать действие на другие элементы системы автоматизации только при определенном порядковом номере импульса генератора и только на один или несколько пороговых элементов Т1...Т6 и Т8...Т13. Объясняется это тем, что пороговые элементы настроены на срабатывание при определенных значениях и определенной полярности их входного сигнала, пропорционального отклонению температуры воздуха в теплице от заданной. Следовательно, порядок следования импульсов генератора и различный порог срабатывания элементов Т1...Т6 и Т8...Т13 как по значению, так и по знаку определяют алгоритм управления системы автоматизации.

Понижение температуры воздуха в теплице относительно заданной приводит к срабатыванию пороговых элементов Т1...Т6 и выработке управляющих воздействий  $u(t)$ , которые включают в работу одну или две группы водяных калориферов, что сопровождается определенной световой сигнализацией.

При отклонении температуры воздуха от заданной на  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  работают соответствующие элементы системы автоматизации.

Первый импульс генератора обеспечивает опрос ИП ВК1, сопротивление которого изменяется. 16-позиционный переключатель подключает одну часть измерительного моста ко второй его части, и измерительный мост выходит из равновесного состояния. В выходной цепи измерительного моста возникает сигнал разбаланса определенной полярности, который усиливается фазочувствительным усилителем мощности У и поступает на вход порогового элемента Т1, настроенного на отклонение температуры от заданной, равное  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Далее сигнал усиливается элементом Т15, что обеспечивает срабатывание реле КВ1.

Замыкается контакт КВ1:1 и запитывается напряжением 24 В ИМ18 (рис.13.3, б и 13.4) по следующей цепи:  $-24\text{ В} - \text{KV7:1} - \text{KV1:1}$  – электрическая цепь внутри переключателя каналов

выход ИМ18. Далее сигнал поступает в соответствующую цепь местного шкафа управления ШУМ.

В результате импульсно срабатывает ИМ18, и клапан отопления 10 открывается на один шаг, так как появление сигнала во входной цепи ИМ18 является шаговым с определенным интервалом следования. Одно шаговое открытие клапана осуществляется в течение одного цикла опроса, продолжительность которого составляет 4 мин.

Шаговый характер работы клапана отопления означает, что его открытие в течение действия импульса может обеспечивать пропуск ограниченного количества горячей воды. Это обусловлено необходимостью более точного регулирования температуры за счет снижения влияния инерционности системы обогрева теплицы и объекта управления, что обусловлено проявлением их основных свойств (параграф 1.2).

О понижении температуры в теплице обслуживающий персонал оповещается автоматической световой сигнализацией. Так, уменьшение температуры относительно заданной на  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  отображает неоновая лампа НЛ7. Она запитывается фазным напряжением через замкнутый контакт КВ1:2 и высвечивает цифру 1.

При втором, третьем и т. д. импульсах 16-позиционный переключатель также поочередно подключает одну часть измерительного моста, образованную соответствующими парами ИП ВК и резисторов  $R_3$ , ко второй его части. Однако выходной сигнал измерительного моста, поочередно действуя на элементы Т2...Т6 и Т8...Т13, не обеспечивает срабатывания ни одного из них, несмотря на его усиление. Поэтому система автоматизации не вырабатывает управляющих воздействий  $u(t)$  при последующих импульсах генератора, если отклонение температуры от заданной остается равным  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На отклонение температуры воздуха в теплице от заданной на  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  система автоматизации реагирует только при очередном цикле следования импульсов. Уменьшение температуры на два градуса вызывает несколько большее изменение сопротивления ИП ВК1...ВК16, что определяет следующий характер работы системы автоматизации.

Первый импульс определяет опрос ИП ВК1, подключение одной части измерительного моста ко второй его части и появление в измерительном мосту выходного сигнала, эквивалентного отклонению температуры на  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Значение этого сигнала после усиления фазочувствительным усилителем У превышает порог срабатывания элемента Т1, и он срабатывает. Вырабатывается управляющее воздействие  $u(t)$ , аналогичное по действию, управляющему воздействию при отклонении температуры на  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

При втором импульсе опрашивается ИП ВК2, и в выходной цепи измерительного моста появляется сигнал, значение которого, усиленное усилителем У, обеспечивает срабатывание элемента Т2. Выходной сигнал Т2 усиливается элементом Т16, и срабатывает реле КВ2. В результате, его переключающий контакт КВ2:2 запитывает фазным напряжением неоновую лампу НЛ7, и она высвечивает цифру 2.

Замыкающий контакт КВ2:1 осуществляет запитывание ИМ18 (рис. 13.3, б) по цепи:  $-24\text{ В} - \text{KV7:1} - \text{KV2:1}$  – электрическая цепь внутри переключателя каналов – выход ИМ18. Клапан 10 открывается еще на один шаг, что соответствует программе работы системы автоматизации (рис. 13.3, в).

Третий – шестой импульсы не обеспечивают срабатывания элементов Т3...Т6, так как они настроены на большие значения срабатывания.

Последующие импульсы обеспечивают опрос остальных ИП. Однако ни один из элементов Т8...Т13 не срабатывает, так как каждый из них настроен на порог срабатывания, соответствующий значению выходного сигнала измерительного моста другой полярности.

При отклонении температуры воздуха от заданной на  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  система автоматизации работает следующим образом.

Первый и второй импульсы сопровождаются опросом ИП ВК1 и ВК2. Поскольку их сопротивления изменяются на большее значение, что вызывает большее значение сигнала той же полярности в выходной цепи измерительного моста, также срабатывают элементы Т1 и Т2 и вырабатываются такие же управляющие воздействия  $u(t)$ , как при отклонении температуры на  $-1$  и  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Третий импульс сопровождается опросом ИП ВК3 и появлением сигнала в выходной цепи измерительного моста. Усиленный фазочувствительным усилителем сигнал вызывает срабатывание элемента Т3, а затем и реле КВ3.

Замыкается контакт КВ3:1, и через КВ7:1 запитывается напряжением  $24\text{ В}$  ИМ18-1 (рис. 13.3, б) по цепи:  $-24\text{ В} - \text{KV7:1} - \text{KV3:1}$  – электрическая цепь внутри переключателя каналов – выход ИМ18-1. Клапан 10-1 (рис. 13.3, б) открывается на время, равное продолжительности импульса, и горячая вода подается в одну группу водяных калориферов 11.

Срабатывание реле КВ3 приводит к запитыванию через переключающий контакт КВ3:2 фазным напряжением неоновой лампы НЛ7, и высвечивается цифра 3.

Последующие импульсы этого цикла опроса ИП не приводят к выработке управляющих воздействий  $u(t)$ , в силу того что значения выходных сигналов измерительного моста не соответствуют установленному порогу срабатывания элементов Т4...Т13. Не срабатывает также элемент Т10, так как он, хотя и имеет по значению такой же порог срабатывания, что и Т3, изготовлен на значение входного сигнала противоположной полярности.

При отклонении температуры воздуха от заданной на  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  система автоматизации вырабатывает управляющие воздействия  $u(t)$ , которые обеспечивают открытие клапана отопления 10 (рис. 13.3, б) и клапана отопления 10-1, что осуществляет нагревание воздуха в теплице одной группой водяных калориферов 11. Кроме того, указанное понижение температуры воздуха приводит к выработке системой автоматизации управляющего воздействия  $u(t)$  на включение в работу второй группы калориферов 12.

Четвертый импульс очередного цикла опроса вызывает подключение элементов ВК4 и R<sub>4</sub> ко второй части измерительного моста и появление в его выходной цепи электрического сигнала, большего по значению, чем при предыдущих отклонениях температуры, но той же полярности.

Усиление этого сигнала усилителем У приводит к срабатыванию элемента Т4, а также реле КВ4. Контакт КВ4:1, замыкаясь, запитывает через КВ7:1 напряжением  $24\text{ В}$  ИМ18-2, что обеспечивает шаговое открытие клапана 10-2 и включение в работу второй группы водяных калориферов 12.

Срабатывание реле KV4 (рис. 13.4) вызывает также запитывание через переключающий контакт KV4:2 фазным напряжением неоновой лампы HL7, которая высвечивает цифру 4.

Последующие импульсы этого цикла опроса не приводят к срабатыванию элементов T5...T13 и выработке системой автоматизации других управляющих воздействий  $u(t)$ .

При отклонении температуры воздуха от заданной на значения, равные  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , работа системы автоматизации сводится к выработке управляющих воздействий  $u(t)$ , которые включают клапаны отопления 10, 10-1, 10-2 (рис. 13.3, б), и воздух нагревается двумя группами водяных калориферов 11 и 12. Это обеспечивается срабатыванием пороговых элементов T1...T6 и формированием управляющих сигналов другими элементами системы автоматизации подобно тому, как описано ранее.

Наряду с автоматическим управлением температурным режимом система автоматизации обеспечивает также световую сигнализацию.

При отклонении температуры на  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  неоновая лампа высвечивает цифру 5, а при отклонении температуры на  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  – цифру 6.

В то же время при срабатывании реле KV6 замыкаются его контакты KV6:2 и KV6:3 и дополнительно включается другая световая сигнализация. Лампа HL3 сигнализирует о том, что температура в теплице ниже заданной, а лампа HL4 – о том, что понижение температуры достигло предельно допустимого значения.

Повышение температуры воздуха в теплице относительно заданной приводит к срабатыванию пороговых элементов T8...T13 и выработке соответствующих управляющих воздействий  $u(t)$ , которые включают в работу естественную вентиляцию путем открытия коньковых и боковых фрамуг теплицы следующим образом.

При отклонении температуры воздуха от заданной на  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$  вырабатывается управляющее воздействие  $u(t)$  для шагового открывания правых коньковых фрамуг.

Первый – шестой импульсы генератора обеспечивают только опрос ИП ВК1...ВК6. Однако система автоматизации не вырабатывает управляющих воздействий  $u(t)$ .

Седьмой импульс вызывает опрос ИП ВК7, появление сигнала в выходной цепи измерительного моста, а также срабатывание порогового элемента T8 и реле KV8. Замыкается контакт KV8:1, запитывается ИМ15 (рис.13.3, б) напряжением 24В по цепи:  $-24\text{ В} - \text{KV7:1} - \text{KV8:1}$  – электрическая цепь внутри переключателя каналов – выход ИМ15.

Срабатывает ИМ15, и правые коньковые фрамуги 7, выполняющие функции регулирующих органов, открываются на один шаг, обеспечивая приток в теплицу более холодного воздуха.

Последующие импульсы генератора обеспечивают только опрос ИП ВК8...ВК12 (рис. 13.4), но не срабатывают пороговые элементы T9...T13 и не вырабатываются управляющие воздействия  $u(t)$ .

При отклонении температуры воздуха от заданной на  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$  вырабатывается управляющее воздействие  $u(t)$  для следующего шагового открытия правых коньковых фрамуг.

При первом – шестом импульсах очередного цикла опроса ИП не вырабатываются управляющие воздействия  $u(t)$ .

Седьмой импульс вызывает такие же воздействия элементов системы автоматизации, что и при отклонении температуры на  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Восьмой импульс сопровождается опросом ИП ВК8, появлением сигнала в выходной цепи измерительного моста, его усилением, а также срабатыванием элемента T9 и реле KV9. Замыкается контакт KV9:1, ИМ15 (рис. 13.3, б) запитывается напряжением 24 В, что приводит к последующему шаговому открытию правых коньковых фрамуг 7.

Последующий, девятый – двенадцатый импульсы не сопровождаются выработкой управляющих воздействий  $u(t)$ .

При отклонении температуры воздуха от заданной на  $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$  система автоматизации работает следующим образом.

Первый – шестой импульсы очередного цикла опроса ИП не сопровождаются выработкой управляющих воздействий  $u(t)$ .

Седьмой и восьмой импульсы характеризуются такими же действиями элементов системы автоматизации, что и при отклонении температуры на  $+1$  и  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Девятый импульс сопровождается опросом ИП ВК9 (рис. 13.4), появлением сигнала в выходной цепи измерительно-

го моста, его усилением, а также срабатыванием элемента T10 и реле KV10, замыканием контакта KV10:1 и запитыванием напряжением 24 В ИМ14. В результате срабатывания исполнительного механизма открываются левые коньковые фрамуги 6 (рис. 13.3, б).

Последующие, десятый – двенадцатый импульсы не сопровождаются выработкой управляющего воздействия  $u(t)$ .

При отклонении температуры воздуха от заданной на +4 °С рабочий процесс системы автоматизации протекает следующим образом.

Первый – шестой импульсы очередного цикла опроса ИП не сопровождаются выработкой управляющих воздействий  $u(t)$ .

Седьмой, восьмой, девятый импульсы характеризуются такими же действиями элементов системы автоматизации, что и при отклонении температуры на +3 °С.

Десятый импульс сопровождается опросом ИП ВК10, появлением сигнала в выходной цепи измерительного моста, его усилением, а также срабатыванием элемента T11 и реле KV11, что приводит к замыканию контакта KV11:1 и срабатыванию ИМ16. В результате шагово открываются правые боковые фрамуги 9.

Последующие импульсы этого цикла опроса ИП не сопровождаются выработкой управляющих воздействий  $u(t)$ .

При отклонении температуры воздуха от заданной на +5 °С система автоматизации вырабатывает дополнительное управляющее воздействие  $u(t)$ .

Первый – шестой импульсы очередного опроса ИП не сопровождаются выработкой управляющих воздействий  $u(t)$ .

Седьмой – девятый импульсы характеризуются такими же действиями элементов автоматизации, что и при отклонении температуры на +4 °С.

Одиннадцатый импульс сопровождается опросом ИП ВК11, срабатыванием порогового элемента T12 и реле KV12, что приводит к импульсному срабатыванию ИМ13 и шаговому открытию левых боковых фрамуг 8.

Двенадцатый импульс этого цикла опроса ИП не сопровождается выработкой управляющих воздействий  $u(t)$ .

При отклонении температуры воздуха от заданной на +6 °С вырабатываются управляющие воздействия  $u(t)$ , которые обеспечивают вентиляцию теплицы путем открытия всех ее фрамуг, а также оповещение обслуживающего персонала о предельно допустимом повышении температуры.

Первый – шестой импульсы очередного опроса ИП аналогичны предыдущим циклам опроса.

Седьмой – одиннадцатый импульсы характеризуются такими же действиями элементов системы автоматизации, что и при отклонении температуры на +5 °С.

Двенадцатый импульс определяет опрос ИП ВК12, что приводит к срабатыванию элемента T13, реле KV13 и исполнительного механизма ИМ13. Осуществляется очередное шаговое открытие левых боковых фрамуг.

При срабатывании реле KV13 замыкаются контакты KV13:2 и KV13:3, включающие сигнальную лампу HL6, что означает повышение температуры в теплице относительно заданной, а также звуковую HA и световую HL5 сигнализацию.

При коротком замыкании в цепях управления срабатывает пороговый элемент T7 и включается сигнальная лампа HL1, а при обрыве в цепях управления – элемент T14 и включается сигнальная лампа HL2.

Автоматическое управление температурой воздуха в теплице осуществляется при взаимодействии с автоматическим блоком освещенности (рис. 13.4). Такое взаимодействие выражается в том, что значение заданной температуры воздуха при помощи резисторов  $R_1 \dots R_{12}$  автоматически изменяется с учетом конкретной освещенности в теплице в каждый момент времени.

При освещенности более 10 кЛк срабатывает реле KV<sub>c</sub>, замыкающий контакт которого KV<sub>c</sub>:1 (на схеме не показан) включает сигнальную лампу HL<sub>c</sub> «Светло», а другой контакт, KV<sub>c</sub>:2, подключает резистор переменного сопротивления R<sub>c</sub> параллельно резистору R<sub>M1</sub> во вторую половину измерительного моста. Подключение резистора R<sub>c</sub> изменяет условие равновесия измерительного моста тем, что уменьшается сопротивление его плеча, состоящего из резисторов R, R1, R2. При таком подключении резистор R<sub>c</sub> вызывает температурную надбавку установки до

+5 °С, значение которой можно изменять при помощи резистора R. В результате, заданная температура воздуха в теплице резисторами  $R_{3_1} \dots R_{3_{12}}$  автоматически увеличивается на 5 °С. Следовательно, в выходной цепи измерительного моста электрический сигнал будет появляться только при отклонении температуры воздуха в теплице относительно другого автоматически заданного значения.

Снижение освещенности в теплице до 5...10 кЛк приводит к срабатыванию реле  $KV_n$ , которое включает одним замыкающим контактом (на схеме не показан) сигнальную лампу  $HL_n$  «Пасмурно», а другим контактом  $KV:2$  подключает в плечо измерительного моста резистор R. Подключение резистора R сопровождается снижением температурной надбавки уставки до 2,5 °С, что означает увеличение заданной температуры резисторами  $R_{3_1} \dots R_{3_{12}}$  на 2,5 °С.

Низкая освещенность в теплице, что соответствует обычно ночному времени, приводит к срабатыванию реле  $KV_T$  и включению сигнальной лампы  $HL_T$  «Темно». При этом САУ температурным режимом воздуха в теплице работает с заданной температурой резисторами  $R_{3_1} \dots R_{3_{12}}$  без дополнительной надбавки.

САУ температурным режимом воздуха в теплице может работать также и в ручном режиме. Переключатель режимов работы системы автоматизации, а также необходимые кнопочные выключатели для ручного управления в каждом отделении теплицы размещаются в местных шкафах управления ШУМ.

При необходимости экстренное закрытие фрамуг, а также изменение их положения одновременно во всех двенадцати отделениях теплицы обеспечивается кнопочным выключателем SB3.

Все фрамуги закрываются одновременно также и автоматически по управляющему сигналу ИП скорости ветра SE (рис. 13.3, б), которым является анемометр. Закрытие фрамуг осуществляется при достижении скорости ветра предельно допустимого значения.

Температура воздуха в двенадцати отделениях теплицы регулируется отдельно двенадцатиканальным автоматическим мостом.

САУ температурным режимом в бытовых помещениях и соединительном коридоре (отдельной схемой не показана) работает аналогичным образом.

При понижении температуры воздуха в теплице относительно заданной на -6 °С и длительной устойчивости низкой температуры наружного воздуха включают дополнительно САУ почвенным обогревом (отдельной схемой не показана), которая работает аналогично описанной системе автоматизации.

### 13.3.3. Автоматическое управление поливом и увлажнением

Система автоматического управления представляет собой три автономных системы автоматизации, работающих отдельно и независимо одна от другой. Одна из них обеспечивает автоматическое регулирование температуры поливной воды, а две другие соответственно – полив растений и увлажнение воздуха в теплице. Одновременно могут функционировать в определенном сочетании две системы автоматизации, например САР температуры воды и система автоматического полива или вместо последней система автоматического увлажнения. Могут также работать одновременно все три системы автоматизации.

САР температуры поливной воды (рис. 13.5) имеет в своем составе ИП 1 и 2; логометр ТС для измерения температуры воды и выработки определенного управляющего воздействия  $u(t)$  в соответствующий момент работы системы автоматизации; блок ТС3 для измерения температуры воды, который обеспечивает уставку (задание) необходимой температуры поливной воды и сравнение с текущим ее значением; блок регулирующего прибора БРП4, обеспечивающий выработку управляющего сигнала, согласно которому поддерживается заданная температура поливной воды. Измерительные преобразователи TE1 и TE2 смонтированы в трубопроводе поливной воды, а регулирующий клапан РО находится в трубопроводе горячей воды.

Кроме того, в состав системы автоматизации входят исполнительный механизм ИМ, обеспечивающий функционирование регулирующего клапана РО, а также электрические цепи с соответствующими элементами для управления работой насоса подачи горячей воды (насос с электродвигателем на схеме не пока-

зан). Указанные технические средства размещаются в технологическом оборудовании теплицы.

Остальные САР температуры поливной воды размещаются в шкафу управления.

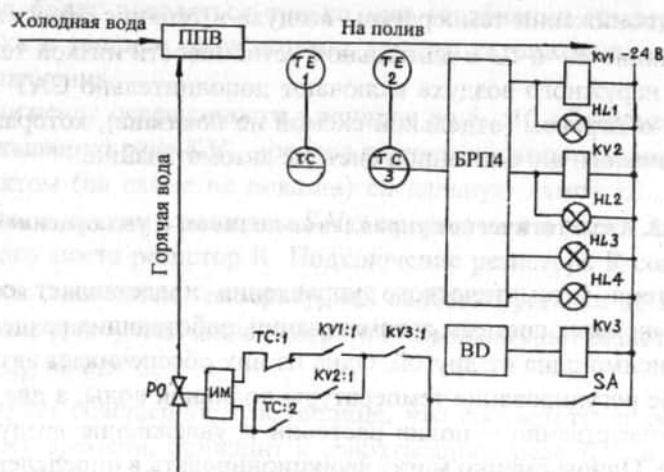


Рис. 13.5. Функционально-принципиальная схема регулирования температуры поливной воды

Температура поливной воды контролируется измерительными преобразователями 1 и 2, которыми являются терморезисторы, и может задаваться в диапазоне от 0 до 40 °С. Измеряемая температура поливной воды преобразуется в изменение сопротивлений терморезисторов 1 и 2, каждый из которых находится в схеме измерительного моста (параграф 3.6) соответствующего блока. При отклонении температуры поливной воды от заданной изменяются сопротивления ИП1 и 2, что приводит к нарушению равновесного состояния измерительных мостов в регулирующем логотре ТС и блоке ТС3.

Измерительный преобразователь 1 находится в схеме измерительного моста регулирующего логотра ТС, который настраивается на максимально допустимое значение температуры поливной воды. Превышение этого значения может вызвать аварийную ситуацию, последствия которой выражаются в возможной гибели растений при поливе водой с недопустимо высокой температурой. Задачей логотра ТС является предотвращение возникновения аварийной ситуации.

Измерительный преобразователь 2 находится в схеме измерительного моста блока ТС3, который настраивается на оптимальную температуру поливной воды, значение которой оценивается благоприятным воздействием на растения парника. При достижении оптимального значения температуры поливной воды задачей блока ТС является формирование управляющего сигнала, действие которого на последующие элементы системы автоматизации приводит к уменьшению подачи горячей воды в подогреватель поливной воды ППВ.

В подогреватель поливной воды ППВ горячая вода поступает из котельной, а холодная вода – из магистрали водоснабжения. Регулирующий клапан РО работает в импульсном режиме, что обеспечивает пропуск в подогреватель ППВ такого количества горячей воды, которое необходимо для приготовления поливной воды оптимальной температуры.

Подогреватель поливной воды (ППВ) является устройством инерционным и поэтому характеризуется значительным полным запаздыванием (параграф 1.2). Инерционность ППВ может вызывать перерегулирование температуры поливной воды при работе регулирующего клапана РО в обычном режиме «Открыто» или «Закрыто». Обычный режим работы характеризуется тем, что некоторое продолжительное время регулирующий клапан открыт, а затем на некоторое продолжительное время (по сравнению с длительностью импульса) закрывается.

Перерегулирование характеризуется значительным отклонением температуры поливной воды в ту или иную сторону от заданного значения. Амплитуда изменения температуры может быть такой, что максимальные и минимальные значения температуры поливной воды оказываются за пределами допустимых. Естественно, что максимальная температура поливной воды характеризуется ее перегревом и отрицательно повлияет на жизнедеятельность растений теплицы.

В то же время поливная вода минимальной температуры в определенной мере может угнетать растения теплицы. Таким образом, контрастный полив растений водой, температура которой изменяется от заданного значения со значительными отклонениями, отрицательно влияет на жизнедеятельность растений.

Чтобы исключить явление перерегулирования, в системе автоматизации предусмотрен импульсный характер работы ИМ и РО. Это означает, что регулирующий клапан РО включается и отключается с определенной частотой, и потому пропуск горячей воды в подогреватель ППВ имеет прерывистый характер. Импульсный характер пропуска горячей воды не дает возможности проявляться в полной мере инерционности подогревателя ППВ. Нейтрализация инерционности подогревателя ППВ позволяет системе автоматизации поддерживать оптимальное значение поливной воды с допустимыми отклонениями в ту или иную сторону.

*Автоматическое регулирование* температуры поливной воды обеспечивается системой автоматизации (рис. 13.5) следующим образом.

Выключатель SA устанавливается в положение «Включено».

Генератор импульсов ВД вырабатывает импульсы длительностью от 1 до 10 с с интервалом следования через каждые 20 с. Продолжительность импульсов устанавливается при наладке генератора. Генератор импульсов ВД и реле КV3 образуют импульсный прерыватель. Импульсы генератора определяют состояние реле КV3, которое характеризуется его срабатыванием и возвратом в исходное положение.

Продолжительность импульса определяет то время, в течение которого по обмотке КV3 протекает ток и в течение которого реле КV3 остается во включенном состоянии, т. е. продолжительность срабатывания реле КV3 и замкнутого состояния контакта КV3:1. Интервал между импульсами в 20 с определяет время возврата реле КV3 в исходное состояние, а также время разомкнутого состояния контакта КV3:1. Таким образом, при работе системы автоматизации реле КV3 включается и отключается в соответствии с поступающими из генератора ВД импульсами, и контакт реле КV3:1 постоянно находится то в замкнутом, то в разомкнутом состоянии.

Если заданное значение температуры поливной воды снижается на 1°C, то в выходной цепи измерительного моста блока измерения, задания и сравнения ТС3 появляется управляющий сигнал, который передается во входную цепь блока БРП4.

В блоке БРП4 срабатывают соответствующие пороговые элементы (триггеры), и в его выходной цепи появляется электрический сигнал положительной полярности, что обеспечивает запитывание обмотки реле КV1 напряжением. Об этом сигнализирует лампа НL1.

Реле КV1 срабатывает, и замыкается его контакт КV1:1, который находится в цепи управления ИМ. В результате, включается ИМ, и регулирующий клапан РО увеличивает пропуск горячей воды в подогреватель ППВ. ИМ и регулирующий клапан РО работают в импульсном режиме. Это означает, что при подаче импульса генератора ВД контакт КV3:1 замыкается, включается ИМ, и регулирующий клапан РО увеличивает пропуск горячей воды в подогреватель ППВ. Когда импульс исчезает, контакт КV3:1 размыкается, отключается ИМ, и регулирующий клапан РО не пропускает горячую воду в подогреватель ППВ.

При достижении заданной температуры поливной воды в выходной цепи измерительного моста блока измерения, задания и сравнения ТС3 исчезает электрический сигнал, что приводит к возврату реле КV1 и размыканию контакта КV1:1. В результате отключается ИМ, не работает регулирующий клапан РО, несмотря на то, что продолжают поступать импульсы из генератора ВД.

В случае увеличения температуры поливной воды на 1°C относительно заданного значения в выходной цепи измерительного моста блока ТС3 также появляется электрический сигнал, но другой полярности. Выходной сигнал блока ТС3 передается в блок БРП4, в котором срабатывают соответствующие триггеры. В соответствующей выходной цепи блока БРП4 появляется электрический сигнал положительной полярности, и запитывается напряжением обмотка реле КV2, о чем сигнализирует лампа НL2.

Реле КV2 срабатывает, и замыкается его контакт КV2:1, находящийся в другой электрической цепи ИМ. В результате включается ИМ и регулирующий клапан РО уменьшает пропуск горячей воды в подогреватель ППВ. ИМ и регулирующий клапан РО работают в импульсном режиме.

Уменьшение пропуска горячей воды в подогреватель ППВ приводит к понижению температуры поливной воды. При дос-

тижении температуры поливной воды заданного значения исчезает выходной сигнал в измерительном мосту блока ТС3, происходит возврат реле KV2 и размыкание контакта KV2:1. В результате отключается ИМ, прекращает работу регулирующий клапан РО, однако импульсы продолжают поступать из генератора ВД.

При достижении максимально допустимого значения температуры поливной воды в выходной цепи измерительного моста регулирующего логометра ТС (на схеме мост не показан) появляется электрический сигнал. Это приводит к срабатыванию регулирующего логометра ТС. В результате размыкается контакт ТС:1 и замыкается контакт ТС:2, что вызывает форсированное закрытие регулирующего клапана РО в силу постоянного запитывания напряжением ИМ по цепи: – 24 В – SA – ТС:2 – ИМ.

Закрытие клапана РО прекращает пропуск горячей воды и подогреватель ППВ и уменьшает температуру поливной воды. При снижении температуры поливной воды до заданного значения в выходной цепи измерительного моста регулирующего логометра ТС исчезает электрический сигнал. Это приводит к возврату логометра и возврату в исходное состояние его контактов: контакт ТС:1 замыкается, а контакт ТС:2 размыкается.

Система автоматического регулирования температуры поливной воды продолжает функционировать в прежнем импульсном режиме.

При работе САР температуры поливной воды работает и система автоматической сигнализации. В состав САС входят определенные элементы из САР температуры поливной воды, которые включают сигнальные лампы HL1...HL4. Сигнальная лампа HL1 сигнализирует о том, что температура поливной воды меньше заданной; лампа HL2 – температура больше заданной; лампа HL3 сигнализирует об обрыве цепи, которая включает ИП2, блоки ТС3 и БПР4; лампа HL4 сигнализирует о коротком замыкании в цепи: ИП2 – блоки ТС3 – БРП4.

Подогретая до заданной температуры вода используется затем для полива растений и увлажнения воздуха в теплице. Для этих же целей применяются аналогичные по исполнению систе-

мы автоматического управления, которые работают одинаково и независимо одна от другой.

САУ поливом растений и САУ увлажнением воздуха представляют собой программные системы автоматизации.

В САУ поливом растений параметрами программы являются продолжительность и кратность полива. Продолжительность одного полива растений теплицы может задаваться в пределах 2...4 мин, а кратность полива может изменяться в пределах от 1 до 5. Согласно заданной программе автоматики включаются электромагнитные вентили 17 и 19 (рис. 13.3, б) в заданное время суток.

В САУ увлажнением воздуха параметрами программы также являются продолжительность и кратность увлажнения с аналогичными значениями, что и САУ поливом растений.

Поливная вода распределяется через нижнюю систему труб, которые используются также для подачи раствора минеральных удобрений.

Воздух увлажняется в теплице через верхнюю систему труб согласно заданной временной программе.

#### 13.3.4. Автоматическое управление концентрацией растворов минеральных удобрений

Несмотря на многообразие растворов минеральных удобрений, используемых для подкормки растений, общим для них является параметр рН. Значение параметра рН является весьма важным с точки зрения благоприятного протекания кислотно-щелочной реакции в стадии развития растений.

При  $pH > 7$  реакция раствора минеральных удобрений является щелочной, а при  $pH < 7$  – кислой. Теоретически значение рН может изменяться от 0 до 14. Рост большинства растений затормаживается при  $pH < 4$ , так как снижается степень усвоения растениями из почвы катионов минеральных веществ. Рост растений также значительно снижается при  $pH > 8$ . Это объясняется осаждением многих минеральных веществ на поверхности корней растений, что затрудняет их дыхание и питание. Каждому виду растений свойственно конкретное оптимальное значе-

ние рН. Однако для большинства растений оптимальное значение параметра рН находится в пределах от 5 до 7 единиц.

Система автоматизации (рис. 13.6) обеспечивает управление концентрацией и параметром рН раствора минеральных удобрений.

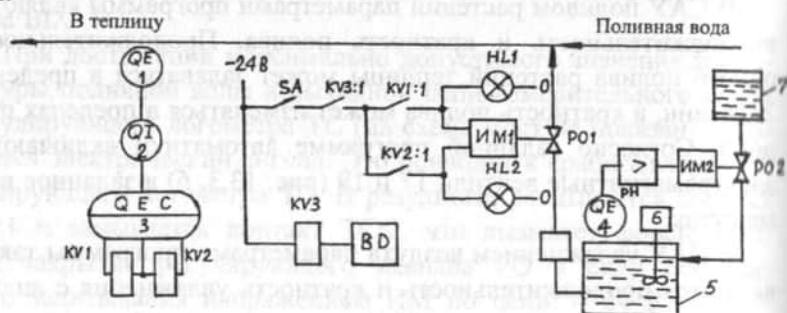


Рис. 13.6. Функционально-принципиальная схема управления концентрацией растворов минеральных удобрений

Система автоматизации позволяет измерить концентрацию раствора минеральных удобрений в диапазоне от 0 до 0,2 МПа осмотического давления с точностью до  $\pm 10\%$  и автоматически поддерживать заданное значение. Концентрация раствора удобрений измеряется ИП QE1 кондуктометрического типа, работающим на основе изменения электропроводности раствора. Преобразователь имеет встроенный терморезистор, обеспечивающий компенсацию температурной погрешности. ИП QE1 монтируется в трубопроводе на участке после смешивания концентрированного раствора минеральных удобрений с поливной водой. Такое расположение ИП обеспечивает измерение необходимой концентрации раствора удобрений для подкормки растений.

ИП QE1 присоединяется через анализатор раствора удобрений QI2 к регулируемому прибору QEC3. Прибор QEC3 обеспечивает двухпозиционное управление ИМ1 при помощи двух реле. Одно из них, KV1, реагирует на управляющий сигнал регулирующего прибора 3, соответствующий состоянию раствора минеральных удобрений «Концентрация больше». Это означает, что концентрация раствора, измеренная ИП1, превышает заданное значение, и управляющий сигнал, выработанный регули-

рующим прибором 3, через реле KV1 и последующие элементы системы автоматизации должен обеспечить уменьшение концентрации раствора. Другое реле, KV2, реагирует на управляющий сигнал, соответствующий состоянию раствора минеральных удобрений «Концентрация меньше». Это означает, что концентрация раствора удобрений для подкормки растений меньше заданной, и управляющий сигнал регулирующего прибора 3 через реле KV2 и последующие технические средства должен обеспечить уменьшение концентрации раствора.

Управление параметром рН осуществляет определенная часть технических средств системы автоматизации.

Для измерения параметра рН используется электродный ИП QE4, который монтируется в резервуаре 5. В основе принципа действия ИП4 лежит свойство появления электрических потенциалов на электродах, помещенных в концентрированный раствор. ИП измеряет в растворе концентрацию водородных ионов. В выходной цепи ИП возникает электрический сигнал в виде гальванического напряжения. Преобразователь измеряет рН с достаточно высокой точностью, значение которой соответствует 0,1 рН (для растений допускаются отклонения параметра рН от оптимального значения в пределах от  $\pm 0,2$  до  $\pm 0,5$ ).

Мешалка с электроприводом 6 обеспечивает равномерное распределение концентрации минеральных удобрений, характеризующейся значением параметра рН, по всему объему раствора.

В резервуар 7 заливается специальный раствор для корректирования значения параметра рН раствора минеральных удобрений, находящегося в резервуаре 5 и используемого для подкормки растений в теплице.

Система автоматизации работает следующим образом после замыкания выключателем контакта SA.

Электрический сигнал ИП1, соответствующий концентрации раствора в данный момент, поступает в анализатор 2 и сравнивается с заданным ее значением. При достаточном отклонении концентрации раствора в поливной воде в анализаторе 2 появляется выходной сигнал. Далее он поступает в регулирующий прибор 3, который вырабатывает в соответствии с измеренной ИП1 концентрацией раствора управляющий сигнал.

Если концентрация раствора удобрений больше заданной, то управляющий сигнал включает в работу реле KV1. Оно срабатывает, и замыкающий контакт KV1:1 запитывает соответствующую цепь ИМ1, управляющий клапан PO1 уменьшает подачу концентрированного раствора для смешивания с поливной водой. Сигнальная лампа HL1 отображает работу ИМ1 в этом режиме. При достижении концентрации раствора заданного значения контакт KV1:1 размыкается и ИМ1 прекращает работу. Об этом сигнализирует погасание лампы HL1.

При концентрации раствора удобрений, меньше заданной, управляющий сигнал включает в работу реле KV2, которое своим замыкающим контактом KV2:1 запитывает другую цепь ИМ1. ИМ1 работает уже в другом режиме, который обеспечивает через PO1 большую подачу концентрированного раствора для смешивания с поливной водой. Этот режим работы ИМ1 отображается сигнальной лампой HL2. При достижении концентрации раствора заданного значения контакт KV2:1 размыкается, ИМ1 прекращает работу и PO1 занимает первоначальное положение «Закрыто». Погасание лампы HL2 отображает окончание работы ИМ1.

Для улучшения качества двухпозиционного регулирования концентрации раствора используется электрическая цепь, состоящая из импульсного прерывателя BD и реле KV3. Работа элементов такой цепи аналогична описанной в 13.3.2.2.

Одновременно с автоматическим регулированием концентрации раствора в поливной воде, подаваемой в теплицу, система автоматизации обеспечивает также регулирование значения pH в исходном концентрированном растворе, который используется затем для подготовки раствора конечной концентрации.

При отклонении параметра pH от заданного значения в выходной цепи ИП4 возникает значительное гальваническое напряжение, которое усиливается и включает в работу ИМ2. В результате ИМ2 изменяет степень открытия регулирующего клапана PO2, изменяется (уменьшается или увеличивается в соответствии со знаком отклонения параметра pH) подача специального раствора из резервуара 7 в резервуар 5.

### 13.3.5. Автоматическое управление подкормкой углекислым газом и досвечиванием растений

Подкормка растений углекислым газом может обеспечиваться путем подачи сжигаемого природного газа в специальных генераторах или дымовых газов из тепличных котельных, а также из специальных газовых баллонов, содержащих CO<sub>2</sub>. Углекислый газ подается в теплицу при отсутствии в ней рабочих и при закрытых фрамугах.

В состав системы автоматизации (рис. 13.7), обеспечивающей ручное и автоматическое управление подачей углекислого газа, входят: генератор импульсов G, кольцевой счетчик ТТ, реле KV1...KV14, выключатели SA1...SA12, SA25, SA39...SA50, кнопочный выключатель SB, газогенератор углекислого газа (на схеме не показан). Система автоматизации работает в автоматическом режиме по заданной временной программе с 24-часовым циклом.

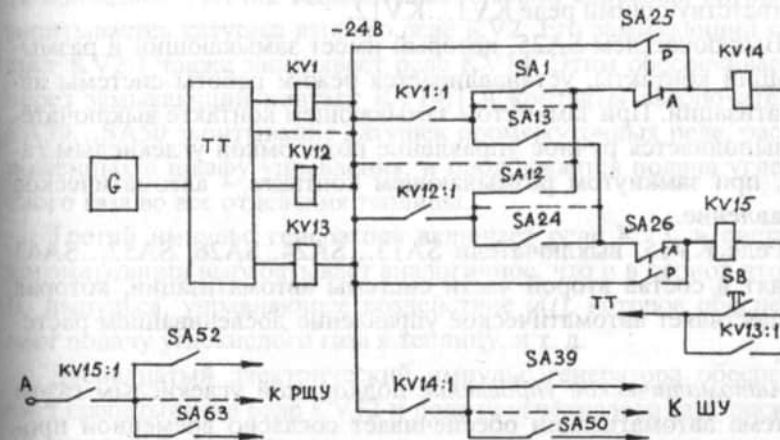


Рис. 13.7. Принципиальная электрическая схема управления подкормкой углекислым газом и досвечиванием растений

Генератор импульсов вырабатывает импульсы с периодом следования 2 ч. Кольцевой счетчик, выполненный на основе триггеров, обеспечивает адресное формирование команд. Адресные команды счетчика обеспечивают включение реле

KV1...KV12 и подачу углекислого газа в 12 отделений теплицы. Реле KV13 своими контактами, которые на рис. 13.7 не показаны, обеспечивает подачу нулевого потенциала ко всем триггерам кольцевого счетчика, возвращая их в исходное состояние.

При помощи кнопочного выключателя SB «Установка времени 12 ч», имеющего замыкающий контакт, можно переводить триггеры кольцевого счетчика в исходное состояние путем нажатия на его кнопку.

Выключателями SA39...SA50 набираются номера отделений теплицы, в которые необходимо подавать углекислый газ.

При помощи выключателей SA1...SA12 устанавливается длительность подкормки растений углекислым газом: первый включенный выключатель определяет начало подкормки, а последний – окончание. Длительность подкормки определяется в часах и соответствует двойному числу одновременно включенных выключателей. Каждый выключатель обеспечивает запитывание катушки реле KV14 при работе системы автоматизации с соответствующими реле KV1...KV12.

Выключателем SA25, который имеет замыкающий и размыкающий контакты, устанавливается режим работы системы автоматизации. При замкнутом замыкающем контакте выключателя выполняется ручное управление подкормкой углекислым газом, при замкнутом размыкающем контакте – автоматическое управление.

Реле KV15, выключатели SA13...SA24, SA26, SA52...SA63 входят в состав второй части системы автоматизации, которая осуществляет автоматическое управление досвечиванием растений.

*Автоматическое управление подкормкой углекислым газом* система автоматизации обеспечивает согласно временной программе, продолжительность выполнения которой задана включением определенного числа выключателей SA1...SA12. Отделения теплицы, в которые необходимо подавать углекислый газ, набираются выключателями SA39...SA50. Автоматическая подача углекислого газа в каждое отделение теплицы реализуется последующей работой элементов системы автоматизации при соответствующем положении выключателя SA25.

Генератор импульсов посылает импульсы с двухчасовым периодом следования на вход кольцевого счетчика. Вырабатываемые счетчиком адресные команды поочередно включают реле KV1...KV12, которые управляют промежуточным реле KV14.

Так, первый импульс генератора, поступивший в счетчик, обеспечивает появление первой адресной команды в виде электрического сигнала, и запитывается катушка реле KV1. В момент срабатывания реле замыкается контакт KV1:1 и запитывается катушка промежуточного реле KV14. Его замыкающий контакт KV14:1 запитывает через контакты выключателей SA39...SA50 электрические цепи промежуточных реле, расположенных в шкафу управления (на схеме промежуточные реле не показаны). В результате углекислый газ из газогенератора подается в 12 отделений теплицы (при включенных двенадцати выключателях SA39...SA50).

Через два часа генератор подает второй импульс. В результате кольцевой счетчик вырабатывает второй адресный сигнал, и запитывается катушка второго реле KV2. Его замыкающий контакт KV2:1 также запитывает реле KV14. Этим обеспечивается через замыкающий контакт KV14:1 и контакты выключателей SA39...SA50 запитывание катушек промежуточных реле, расположенных в шкафу управления, и продолжается подача углекислого газа во все отделения теплицы.

Третий импульс генератора включает реле KV3, и система автоматизации вырабатывает аналогичное, что и в период второго импульса, управляющее воздействие  $u(t)$ , которое обеспечивает подачу углекислого газа в теплицу, и т. д.

Двенадцатый электрический импульс генератора обеспечивает срабатывание реле KV12 и подачу углекислого газа также в 12 отделений теплицы.

После отключения реле KV12 кольцевой счетчик вырабатывает электрический сигнал, обеспечивающий запитывание катушки реле KV13. При срабатывании реле KV13 замыкается его контакт KV13:1 (на схеме не показан), чем осуществляется подача нулевого потенциала ко всем триггерам счетчика и возвращение триггеров в исходное состояние.

Затем первый электрический импульс генератора, поступая в кольцевой счетчик, обеспечивает запитывание катушки реле

KV1, и начинается новый суточный цикл управления подкормкой углекислым газом растений в соответствующих отделениях теплицы, номера которых установлены выключателями SA39...SA50.

*Ручное управление* подкормкой углекислым газом растений в соответствующих отделениях теплицы обеспечивается постановкой выключателя SA25 в необходимое положение. Его замкнутый замыкающий контакт запитывает катушку реле KV14, которое своим контактом KV14:1 через выключатели SA39...SA50 запитывает промежуточные реле, расположенные в шкафу. Длительность подкормки может продолжаться без ограничения во времени, задается и контролируется оператором.

*Досвечивание* растений обеспечивает одновременно их освещение и ультрафиолетовое облучение, что позволяет увеличить урожай овощей на 20...40 %, ускорить их созревание на 3...4 недели. Искусственное досвечивание продлевает и интенсифицирует процесс фотосинтеза, присущий растениям. При фотосинтезе энергия оптического излучения при участии молекул воды и углекислого газа преобразуется в химическую и превращается в соответствующие органические соединения с одновременным выделением растениями кислорода.

В теплицах применяются облучатели типа ОТ-400МИ-У5, ОТ-1000-У5 и другие с ртутной лампой ДРЛФ мощностью 400 и 1000 Вт.

Автоматическое и ручное управление досвечиванием выполняются определенными техническими средствами, входящими в состав системы автоматизации (рис. 13.7). Такими средствами являются: генератор импульсов G, кольцевой счетчик ТТ, реле KV1...KV12, промежуточное реле KV15, выключатели SA13...SA24, SA26, SA52...SA63, распределительные щитки управления РЩУ (на рисунке не показаны).

Выключателем SA26, имеющим замыкающий и размыкающий контакты, можно задавать ручное или автоматическое управление досвечиванием растений. При замкнутом размыкающем контакте выполняется автоматическое управление, а при замкнутом замыкающем – ручное.

Длительность досвечивания определяется в часах и соответствует двойному числу одновременно включенных выключателей SA13...SA24 «Досвечивание», а начало и конец досвечива-

ния определяются соответственно первым и последним из этих включенных выключателей. Выключатели SA13...SA24 через свои замкнутые контакты передают также при поочередном срабатывании реле KV1...KV12 управляющие импульсы промежуточному реле KV15, обеспечивая выработку управляющих воздействий  $u(t)$  для досвечивания растений в необходимых отделениях теплицы.

Выключатели SA52...SA63 «Участок досвечивания» обеспечивают подачу электрических сигналов к распределительным щиткам управления РЩУ для последующего включения облучателей в соответствующих отделениях теплицы.

*Автоматическое управление* досвечиванием растений выполняется согласно заданной программе с суточным циклом. Отделения теплицы, необходимые для досвечивания растений, набираются выключателями SA52...SA63. При соответствующем положении выключателя SA26 автоматическое включение облучателей в отделениях теплицы обеспечивается системой автоматизации следующим образом.

Из генератора с двухчасовым периодом поступают импульсы в кольцевой счетчик, который вырабатывает адресные команды. Согласно адресным командам поочередно включаются реле KV1...KV12.

Первая адресная команда включает реле KV1, которое замыкающим контактом KV1:1 через выключатель SA13, размыкающий контакт выключателя SA26 запитывает катушку реле KV15. Замыкающим контактом KV15:1 запитываются через выключатели SA52...SA63 соответствующие цепи, и электрические сигналы подаются к распределительным щиткам управления. В результате включаются облучатели в соответствующих отделениях теплицы.

Через два часа генератор посылает второй импульс, и счетчик вырабатывает вторую адресную команду, которая включает реле KV2. При срабатывании реле замыкается контакт KV2:1 и сигнал проходит через выключатель SA14, размыкающий контакт SA26 и катушку реле KV15, которое своим контактом KV15:1 обеспечивает работу облучателей и дальнейшее досвечивание растений.

Третий, четвертый и т. д. импульсы генератора приводят к выработке управляющих воздействий  $u(t)$ , обеспечивающих досвечивание растений в течение суток.

При замкнутых контактах двенадцати выключателей SA52...SA63 одновременно досвечиваются растения в двенадцати отделениях теплицы.

После срабатывания и последующего возврата реле KV12 кольцевой счетчик вырабатывает адресный сигнал; и запитывается катушка реле KV13. Срабатывание этого реле возвращает триггеры счетчика в исходное состояние путем подачи к ним нулевого потенциала. На этом заканчивается первый суточный цикл досвечивания растений.

Второй суточный цикл досвечивания начинается с момента подачи генератором первого импульса. Снова поочередно срабатывают реле KV1...KV12, и при включенных двенадцати выключателях SA13...SA24 в течение суток растения облучаются одновременно в тех отделениях теплицы, номера которых набраны выключателями SA52...SA63.

Автоматическое досвечивание и автоматическая подкормка углекислым газом растений могут обеспечиваться системой автоматизации одновременно или раздельно, т. е. каждая технологическая операция может выполняться и в различное время суток. Раздельно или одновременно указанные технологические операции могут выполняться путем соответствующего использования выключателей SA25, SA26, SA39...SA50, SA52...SA63 и SA1...SA24.

*Ручное управление* досвечиванием растений в соответствующих отделениях теплицы обеспечивается переводом выключателя SA26 в необходимое положение. При этом замкнутый контакт выключателя SA26 запитывает катушку реле KV15, который замыкающим контактом KV15:1 через выключатели SA52...SA63 запитывает распределительные щитки управления. Длительность досвечивания задается и контролируется оператором.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Объясните особенности каждого вида сооружения защищенного грунта и конструкций теплиц.
2. Что представляют собой системы автоматизации для парников и как они работают?
3. Приведите примеры комплектного оборудования для автоматизации ангарных теплиц.
4. Назовите параметры управления комплектного оборудования УТ-12 и объясните работу системы автоматизации по каждому параметру.

## Глава 14. АВТОМАТИЗАЦИЯ ХРАНИЛИЩ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

### 14.1. Характерные особенности хранения сельскохозяйственной продукции

При закладке растениеводческой продукции (корнеплодов, картофеля, плодов и овощей) на длительное хранение используются средства механизации и автоматизации, обеспечивающие транспортировку продукции и ее загрузку в хранилище, автоматическое управление параметрами микроклимата и защиту продукции от порчи, сортировку и выгрузку продукции, контроль качества и учет количества продукции при загрузке, хранении и реализации.

Средства транспортировки, сортировки, загрузки и выгрузки продукции изучаются в дисциплине «Механизация сельского хозяйства». В данной главе рассматриваются средства управления параметрами микроклимата в хранилищах. Основными параметрами микроклимата в хранилищах, определяющих качество и длительную сохранность продукции (корнеплодов, картофеля, плодов, овощей и др.), являются температура и относительная влажность воздуха в массе хранимого продукта. Обеспечение оптимальных значений параметров микроклимата в хранилищах при различных погодных условиях представляет собой достаточно сложный процесс автоматического управления температурой и влажностью.

При необходимости в хранилищах устанавливаются электрокалориферы для подогрева воздуха в зимний период или холодильные машины для предварительного охлаждения вентиляционного воздуха в летний и осенне-весенний периоды.

Основной технологической операцией при управлении микроклиматом является активное вентилирование. Оно не только позволяет поддерживать оптимальный температурно-влажностный режим в хранилищах, но исключает заболевание хранимого продукта. Это достигается одновременным удалением влаги с его поверхности, а также продуктов дыхания из его массы, что устраняет развитие болезнетворных микроорганизмов. Особенностью активного вентилирования является то, что воздух

поступает снизу вверх через массу продукта, активно его омывая. Это дает возможность быстрее охладить, обсушить и поддерживать оптимальный микроклимат, а также устранять самогревание и отпотевание хранимого продукта.

Вентиляционная система, снабженная центробежным или осевым вентилятором, обеспечивает подачу воздуха в массу хранимого продукта. Температура продукта поддерживается путем подачи воздуха по вентиляционным каналам в его массу. При подаче наружного воздуха используется приточная шахта, которая закрывается при подаче воздуха из самого хранилища.

Режим работы вентиляционной системы зависит от температуры наружного воздуха, вида и массы хранимого продукта. Наружный воздух подается через приточную шахту в том случае, когда его температура является вполне достаточной для обеспечения оптимального температурного режима в хранилище. При не допустимо низкой или высокой температуре наружного воздуха вентилятор прогоняет через хранимый продукт внутренний воздух, т. е. обеспечивается рециркуляционный режим активного вентилирования. Приточная шахта в этом случае закрывается специальным клапаном.

Каждый вид хранимого продукта имеет специфические особенности, что определяет характер процесса управления его хранением. Так, технологический процесс хранения картофеля и овощей разделяется на три основных периода: лечебный, охлаждения и хранения.

*Лечебный период* длительностью 10...15 дней характеризуется созданием необходимого микроклимата в хранилище с целью быстрого заживления продукта от механических повреждений. Для достижения этого необходимо поддерживать, например, в межклубневом пространстве хранимого картофеля температуру в пределах 14...18 °С и относительную влажность воздуха более 90 %. Активное вентилирование проводится 4...6 раз в сутки рециркуляционным воздухом.

В случае закладки в закрома хранилища картофеля, пораженного фитофторой, нематодой и другими болезнями, температура в течение лечебного периода поддерживается в пределах 8...10 °С с последующим охлаждением до 1...2 °С.

При закладке на хранение мокрого картофеля его немедленно просушивают активным вентилированием путем подачи воздуха, имеющего относительную влажность не более 80 %.

*Период охлаждения* длительностью 20...40 дней, наступающий после двухнедельного лечебного периода, характеризуется тем, что температура хранимого картофеля постепенно снижается до 1...3 °С.

Хранимый продукт может охлаждаться наружным воздухом или смесью наружного и внутреннего воздуха. Такое активное вентилирование проводится в те периоды суток, когда температура наружного воздуха не менее чем на 4...5 °С ниже температуры хранимого продукта. Динамика охлаждения, например, хранимого картофеля невысокая и характеризуется снижением температуры на 0,5...0,6 °С в сутки при максимальной влажности воздуха до 100 %. Активное вентилирование проводится 4...6 раз в сутки по 10...30 мин.

*Период хранения* является основным и самым длительным по времени. Он разделяется на зимнее и весенне-летнее хранение. В зимнее время температура поддерживается с точностью  $\pm 1$  °С, система активного вентилирования включается 4...6 раз в сутки.

При повышении температуры в массе хранимого продукта до 3 °С и более включается в работу вентиляционная система. Зимой хранимый продукт вентилируется смесью наружного и внутреннего воздуха, а при больших морозах – только внутренним воздухом, т. е. обеспечивается режим рециркуляции. В весенне-летний период хранимый продукт вентилируется наружным воздухом, который поступает в хранилище через приточную шахту в наиболее холодное время суток. В случае необходимости, обусловленной высокой температурой наружного воздуха, вентилируемый воздух перед подачей в массу хранимого продукта охлаждается специальными холодильными установками.

Для всех периодов технологического процесса хранения продукта относительная влажность воздуха, подаваемого в хранилище, должна быть максимальной. Причем максимальное значение влажности ограничивается моментом образования конденсата на хранимом продукте.

Указанные выше агротехнические требования реализуются в системах автоматизации, которые обеспечивают автоматическое управление микроклиматом в хранилищах. Подобные агротехнические требования предъявляются к технологическим процессам хранения большого числа видов сельскохозяйственной продукции. Однако наряду с параметрами температуры и относительной влажности воздуха хранение плодов сопровождается поддержанием в хранилище необходимого газового состава среды.

Оптимальная температура воздуха при хранении картофеля должна составлять  $+(2...5)$  °С, корнеплодов –  $+(0,5...1)$  °С, лука –  $(0...+3)$  °С. Оптимальная относительная влажность воздуха при хранении картофеля, корнеплодов, капусты составляет 80...95 %, лука – не более 60...70 %.

Для создания микроклимата в хранилищах применяется оборудование, включающее установки активного вентилирования, подогрева (СФОО-10/0,4 И2, СФОО-16/0,4И2), охлаждения (установки компрессорного типа), а также увлажнения воздуха.

При хранении фруктов дополнительно применяются установки для генерирования  $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$  и образования в хранилищах газовых смесей.

В сельскохозяйственном производстве эксплуатируются типовые отечественные системы управления микроклиматом в хранилищах. Для картофелехранилищ вместимостью до 1000 т промышленность выпускает комплект оборудования ОРТХ (оборудование регулирования температуры хранилищ). Для хранилищ вместимостью более 1000 т применяется комплект ОРТХ-М со шкафом управления ШАХ-1, а также комплексы «Среда-1» для автоматического управления микроклиматом при хранении картофеля и «Среда-2» для автоматического управления микроклиматом при хранении лука.

Для хранения фруктов применяются типовые хранилища вместимостью от 270 до 3000 т. Оборудование систем автоматического управления температурой, относительной влажностью воздуха и газовым составом среды устанавливается мощностью 132...505 кВт со шкафами управления ШАП-59.

#### 14.2. Автоматизация хранилищ на основе комплектного оборудования ОРТХ

Система автоматизации представляет собой хранилище и располагаемое в нем оборудование типа ОРТХ (оборудование регулирования температуры хранилищ). Система обеспечивает поддержание в заданных пределах температуры принудительно подаваемого приточного воздуха, а также температуры в массе хранимого продукта и температуры воздуха верхней (надзакромной) зоны хранилища. Оптимальный температурный режим в хранилищах поддерживается за счет использования активного вентилирования без искусственного охлаждения воздуха.

Оборудование типа ОРТХ (рис. 14.1) имеет в своем составе следующие технические средства: смесительный клапан 5 с электроприводом 7 и электронагревательным элементом 4; вентиляционную систему, которая включает приточную 6 и вытяжную 6а шахты, напорный вентилятор 2 с электродвигателем 1, воздухораспределительную систему каналов; два рециркуляционно-отопительных агрегата 8 и 9; ИП температуры воздуха и массы хранимого продукта ТЕ1...ТЕ6, а также другие, обеспечивающие автоматическое и ручное управление температурным режимом и расположенные в шкафу автоматического управления активным вентилированием (ШАУ-АВ).

В процессе управления температурным режимом в хранилище заслонка смесительного клапана может занимать определенные положения. При вертикальном положении система активного вентилирования работает на наружном воздухе, а при горизонтальном – на рециркуляционном. Промежуточное положение заслонки обеспечивает работу системы вентилирования на смеси наружного и внутреннего воздуха в определенном соотношении.

В шкафу управления размещаются регуляторы температуры ТДЕС1, ТЕС2...ТЕС6, программное реле времени КЕ, магнитные пускатели, переключатели и кнопочные выключатели.

Температура контролируется терморезисторами, которые выполняют функции ИП. Температура наружного воздуха контролируется ИП ТЕ1, а температура воздуха верхней (надзакромной) зоны хранилища, которая характеризует температурный режим воздуха над массой хранимого продукта, – ИП ТЕ3.

ИП ТЕ2 и ТЕ4 контролируют температуру в массе хранимого продукта, а ИП ТЕ5 и ТЕ6 – температуру приточного воздуха распределительной системы каналов.

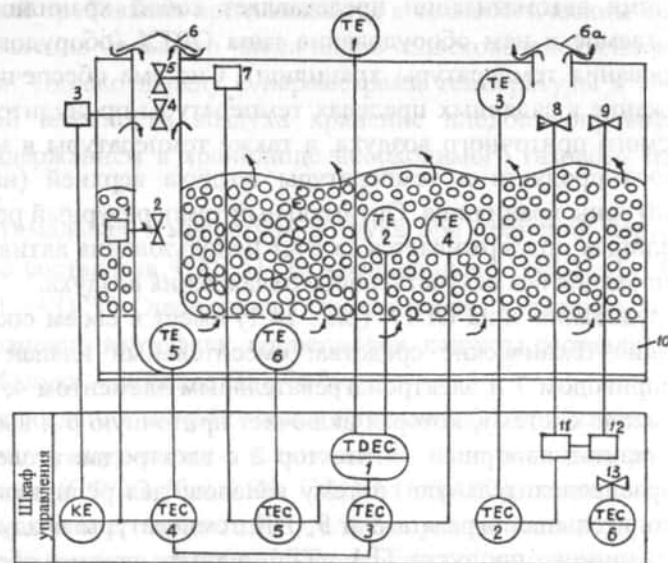


Рис. 14.1. Функциональная схема САУ температурным режимом в хранилищах на основе оборудования ОРТХ: 1 – ИМ (электродвигатель); 2 – РО (приточный вентилятор); 3 – ИМ (магнитный пускатель КМЗ на рис. 14.2); 4 – РО (электронагревательный элемент подогрева смесительного клапана); 5 – РО (смесительный клапан); 6 – приточная шахта; 7 – ИМ (электродвигатель привода смесительного клапана); 8, 9 – РО (рециркуляционно-отопительные агрегаты); 10 – магистральный воздухопровод; 11 – ИМ (магнитный пускатель КМ1); 12 – ИМ (магнитный пускатель КМ2); 13 – РО (электродвигательный элемент подогрева шкафа управления); TDEC1 (SK1) – дафференциальный терморегулятор, обеспечивает заданную динамику уменьшения температуры массы продукта; TEC2 (SK2)-терморегулятор, управляет работой рециркуляционно-отопительных агрегатов; TEC3(SK3) – терморегулятор, управляет работой приточного вентилятора; TEC4 (SK4) – терморегулятор, не допускает подмораживание продукта; TEC5(SK5) – пропорциональный терморегулятор, управляет заслонкой смесительного клапана; TEC6(SK6)-терморегулятор, управляет обогревом шкафа управления; KE (КТ)-программное реле времени (элементы, указанные в скобках, соответствуют условным обозначениям на рис. 14.2)

В состав воздухораспределительной системы каналов входят магистральный канал 10 и отходящие от него распределительные каналы. В магистральный канал может подаваться наруж-

ный, внутренний воздух или их смесь, что зависит от температурного режима в хранилище. Поступающий в магистральный канал воздух подается вентилятором по напольным распределительным каналам и направляется через напольные щелевые отверстия в массу хранимого продукта.

Воздухораспределительные каналы выполнены по своему поперечному сечению постепенно сужающимися к концу, что обеспечивает одинаковое давление и скорость воздуха по всей напольной воздухораспределительной сети хранилища. Распределительные каналы, расположенные в полу, закрываются съемными щелевыми бетонными или металлическими плитами, что позволяет в периоды после окончания хранения продукта очищать их.

Система автоматизации (рис. 14.2) может работать в ручном и автоматическом режимах в различные технологические периоды хранения картофеля и овощей.

Режим работы системы автоматизации задается переключателем SA1, который имеет следующие положения: А – «Автоматика»; Н – «Нейтральное»; Р – «Ручное». Переключателем SA2 устанавливаются периоды технологического процесса хранения продукции при следующих его положениях: Л – «Лечебный»; О – «Охлаждение»; Х – «Хранение». Режим работы подогревателя смесительного клапана задается переключателем SA3, который имеет следующие положения: А – «Автоматика»; Н – «Нейтральное»; Р – «Ручное». Нейтральное положение означает, что в переключателе отсутствует замыкание каких-либо контактов.

*Примечание.* Точка на условном изображении переключателя указывает позицию замыкания соответствующего контакта.

Выключатель SA обеспечивает включение и отключение системы обогрева шкафа управления.

*Лечебный период* начинается после засыпки продукта (картофеля, овощей) в хранилище. Автоматическое управление температурным режимом обеспечивается определенными техническими средствами системы автоматизации. К ним относятся программное реле времени КТ, магнитный пускатель КМ4, приточный вентилятор 2 с электроприводом 1 (рис. 14.1), переключатели SA1, SA2, SA3 (рис. 14.2).

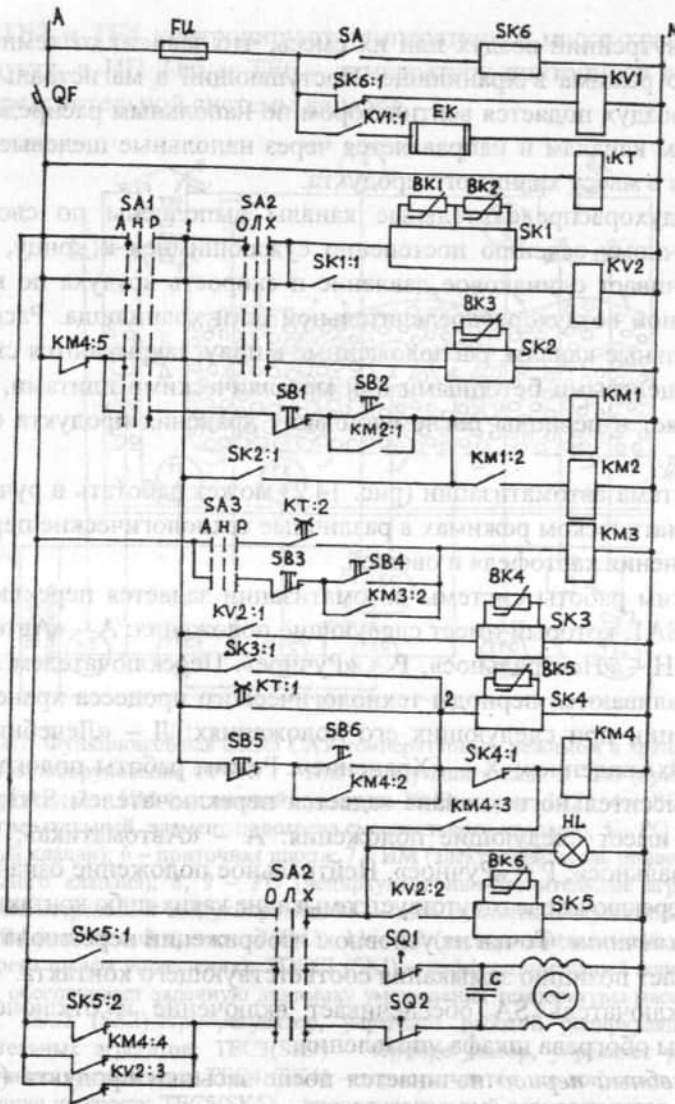


Рис. 14.2. Принципиальная электрическая схема управления температурным режимом в хранилищах на основе оборудования ОРГХ

Реле времени КТ может настраиваться на определенную программу, которая обеспечивает четырех- или шестиразовое включение вентилятора в сутки. При четырехразовом интервалы вре-

мени между включениями могут колебаться от 160 до 210 мин, при шестиразовом – от 160 до 180 мин. Реле времени КТ позволяет сдвигать время работы программы на 20 мин в сторону опережения.

В лечебный период программное реле времени настраивается на шестиразовое включение в сутки приточного вентилятора и обеспечивает длительность каждого включения в течение 30 мин.

Лечебный период обеспечивается системой автоматизации постановкой переключателей в необходимые положения: SA1 переводится в положение А; SA2 – в положение Л, а SA3 – в положение Н. При таком положении переключателей замыкаются их соответствующие контакты, что обеспечивает в дальнейшем запитывание цепей управления и включение необходимых технических средств.

При переводе автоматического выключателя QF в положение «Включено» запитывается фазным напряжением программное реле времени КТ, которое замыкающим контактом КТ:1 (контакт действует с замедлением при срабатывании и возврате) запитывает катушку КМ4 магнитного пускателя. Ток протекает по цепи: фаза А – QF – SA1 – узел 1 – КТ:1 – узел 2 – SK4:1 – КМ4 – N. Магнитный пускатель КМ4 срабатывает, и его силовые контакты КМ4:1 (на рис. 14.2 не показаны) замыкаются. Включается в работу вентилятор подачи воздуха, и обеспечивается активное вентилирование продукта путем рециркуляции воздуха в хранилище.

О работе вентилятора сигнализирует лампа HL, которая запитывается фазным напряжением замыкающим контактом КМ4:3.

Заслонка смесительного клапана 5 (рис. 14.1) находится в горизонтальном положении. Внутренний воздух надзакромного пространства поступает через отверстия в приточную шахту 6 и подается вентилятором 2 по воздухопроводной системе каналов в массу хранимого продукта. Активно омывая продукт, воздух поступает в надзакромное пространство хранилища и снова повторяет ранее пройденный замкнутый путь.

Активное вентилирование продолжается в течение времени, заданного программным реле времени, которое затем размыкает

с определенным замедлением контакт КТ:1, и магнитный пускатель КМ4 останавливает приточный вентилятор.

В лечебный период электронагревательные элементы смесительного клапана и шкафа управления (ШАУ-АВ), а также рециркуляционно-отопительные агрегаты не работают.

Если необходимо просушить хранимый продукт, управляют приточным вентилятором вручную при помощи кнопочного выключателя SB6 в течение времени, необходимого для просушивания продукта.

*Период охлаждения* соответствует условию, когда переключатели SA1 и SA3 остаются в прежних положениях, соответствующих А и Н, а переключатель SA2 переводится в положение 0.

Постановкой автоматического выключателя QF в положение «Включено» вводятся в работу программное реле времени КТ и дифференциальный терморегулятор SK1. Реле времени запитывается по прежней замкнутой цепи, а терморегулятор SK1 – по следующей замкнутой цепи: фаза А – QF – SA1 – SA2 – SK1 – N.

Управление работой системы активного вентилирования осуществляется согласно программе, заданной при помощи реле времени КТ, и терморегуляторами SK1, SK3, SK4, SK5 в зависимости от температуры в массе хранимого продукта и температуры наружного воздуха, контролируемой ИП ВК1, ВК2, ВК4, ВК5, ВК6 (TE1, TE2, TE4, TE5, TE6 на рис. 14.1).

Реле времени КТ своим замыкающим контактом КТ:1 включает в работу пускатель КМ4, который силовыми контактами КМ4:1 (на рис. 14.2 не показаны) подключает электродвигатель к источнику питания, и обеспечивается работа приточного вентилятора. Происходит активное вентилирование хранимого продукта рециркуляционным воздухом заданное число раз в сутки и заданной продолжительности, что достигается настройкой реле времени на необходимую программу перед включением в работу системы автоматизации.

При активном вентилировании рециркуляционным воздухом температура в массе хранимого продукта может повышаться и превышать заданное значение, которое устанавливается по шкале дифференциального регулятора SK1. Дифференциальный терморегулятор ежедневно настраивается на определенную

температуру в соответствии с рекомендациями технолога. Значение задаваемой температуры систематически корректируется с учетом того, чтобы обеспечивать динамику ежесуточного уменьшения температуры в массе хранимого продукта на 0,5...0,6 °С.

Терморегулятор SK1, запитанный фазным напряжением после замыкания контакта QF, вступает в работу в случае повышения температуры в массе хранимого продукта до значения, превышающего заданное. Если температура в массе хранимого продукта превышает заданную, а температура наружного воздуха становится меньше на значение установленного дифференциала, тогда срабатывает дифференциальный терморегулятор.

Терморегулятор SK1 одновременно управляет положением заслонки смесительного клапана и работой приточного вентилятора через промежуточное реле KV2. Это достигается за счет того, что управляющий сигнал терморегулятора размножается реле KV2, имеющим два замыкающих контакта KV2:1 и KV2:2, которые замыкаются одновременно в момент срабатывания реле.

Замыкающим контактом SK1:1 запитывается фазным напряжением катушка KV2 промежуточного реле, которое срабатывает. В результате замыкающий контакт KV2:1 включает в работу терморегулятор SK3, который, в свою очередь, включает замыкающим контактом SK3:1 терморегулятор SK4. Размыкающий контакт SK4:1 остается в замкнутом состоянии и продолжает запитывать катушку КМ4 магнитного пускателя, что обеспечивает работу системы активного вентилирования. Замкнутое состояние контакта SK4:1 ограничивается минимально заданным значением температуры в приточном воздухопроводе, контролируемой ИП ВК5.

В момент срабатывания реле KV2 его замыкающий контакт KV2:2 включает в работу пропорциональный терморегулятор SK5 типа ПТР-П. Пропорциональный терморегулятор управляет температурой воздуха в системе активного вентилирования, контролируемой ИП ВК6 (TE6 на рис. 14.1). Срабатывание терморегулятора приводит к появлению управляющего сигнала, обеспечивающего работу электродвигателя привода

смесительного клапана. Появление управляющего сигнала зависит от температуры воздуха в приточном воздухопроводе.

Между температурой воздуха в системе активного вентилирования и температурой в массе хранимого продукта существует определенная зависимость, которая используется в конструкции терморегулятора SK5. Терморегулятор настраивается на определенное значение температуры, которая должна поддерживаться в магистральном воздухопроводе. Отклонение от заданной температуры может приводить к появлению в терморегуляторе SK5 управляющего сигнала.

Итак, подключение терморегулятора SK5 к источнику питания обусловлено повышением температуры в массе хранимого продукта относительно температуры наружного воздуха. Увеличение температуры в массе хранимого продукта характеризует также повышение температуры воздуха в магистральном воздухопроводе.

При температуре, контролируемой ИП ВК6 и превышающей заданную на определенное значение, срабатывает пропорциональный терморегулятор SK5. В результате, одновременно замыкается контакт SK5:1 и размыкается контакт SK5:2. Контакт SK5:1 запитывает через размыкающий контакт SQ1 путевого выключателя и замкнутый контакт переключателя SA2 электродвигатель привода смесительного клапана. Электродвигатель поворачивает заслонку смесительного клапана из горизонтального положения в вертикальное. При достижении заслонкой вертикального положения размыкается контакт SQ1 и электродвигатель прекращает свою работу. Наружный, более холодный воздух подается в массу хранимого продукта, температура которого уменьшается.

Охлаждение хранимого продукта продолжается до тех пор, пока отклонение температуры от заданной в сторону уменьшения не достигает значения, сопоставимого с нечувствительностью терморегулятора.

Терморегулятор SK5 снова срабатывает таким образом, что замыкающий контакт SK5:1 размыкается, а размыкающий контакт SK5:2 замыкается. Электродвигатель поворачивает заслонку смесительного клапана в обратном направлении до момента срабатывания путевого выключателя SQ2, который своим раз-

мыкающим контактом разрывает цепь питания электродвигателя, останавливая его. Заслонка занимает горизонтальное положение, и активное вентилирование осуществляется рециркуляционным воздухом. В период времени между поворотом заслонки из вертикального положения в горизонтальное или обратном направлении система активного вентилирования работает на смеси наружного и внутреннего надзакромного воздуха.

В периоды длительного повышения температуры наружного воздуха, превышающей температуру в приточном воздухопроводе, пропорциональный терморегулятор SK5 вырабатывает сигнал, согласно которому заслонка смесительного клапана переводится в горизонтальное положение. Система автоматизации обеспечивает режим активного вентилирования рециркуляционным воздухом согласно программе, заложенной в реле времени КТ, которое периодически включает и отключает приточный вентилятор.

В периоды, когда не работает приточный вентилятор, управляемый программным реле времени КТ, температура в массе хранимого продукта, контролируемая ИП ВК4 (ТЕ4 на рис. 14.1), может повышаться и превышать заданное значение. Необходимая температура в массе хранимого продукта задается по шкале терморегулятора SK3, который может дополнительно включать в работу приточный вентилятор.

Превышение заданной температуры в массе хранимого продукта на значение, превышающее нечувствительность терморегулятора SK3, приводит к его срабатыванию. Замыкающим контактом SK3:1 запитывается фазным напряжением терморегулятор SK4, который продолжает удерживать в замкнутом положении размыкающий контакт SK4:1. В результате магнитный пускатель KM4 запитывается своими силовыми контактами от источника трехфазной системы питания электродвигатель 1 (рис. 14.1), который обеспечивает работу приточного вентилятора 2. Активное вентилирование уменьшает температуру в массе хранимого продукта до заданного значения, при котором работа приточного вентилятора прекращается вследствие размыкания контакта SK3:1.

Включение приточного вентилятора согласно временной программе реле КТ может также совпадать с появлением управ-

ляющего сигнала в выходной цепи терморегулятора SK1. В этом случае управляющий сигнал терморегулятора устанавливает заслонку смесительного клапана в определенное положение и дополнительно запитывает фазным напряжением магнитный пускатель KM4 путем шунтирования контактом SK3:1 замкнутого контакта КТ:1. Тогда положение заслонки смесительного клапана определяет особенности организации активного вентилирования хранимого продукта, т. е. оно может осуществляться наружным воздухом, рециркуляционным воздухом или смесью наружного и рециркуляционного воздуха. По окончании действия управляющего сигнала реле времени КТ приточный вентилятор может продолжать работу за счет замкнутого контакта SK3:1 при условии, что температура в массе хранимого продукта превышает температуру наружного воздуха.

Включение и отключение приточного вентилятора можно контролировать при помощи сигнальной лампы HL. При включении в работу вентилятора силовыми контактами магнитного пускателя KM4 одновременно включается также сигнальная лампа HL вспомогательным контактом KM4:3. В момент отключения вентилятора контакт KM4:3 размыкается, и лампа HL гаснет.

*Период хранения* начинается после установления переключателя в положение «Хранение» (SA1 остается в прежнем положении «Автоматика»).

Замыкающий контакт QF продолжает запитывать фазным напряжением программное реле времени КТ и дифференциальный терморегулятор SK1, которые совместно с другими терморегуляторами продолжают управлять работой системы активного вентилирования и поддерживать заданный температурный режим в хранилище.

Реле времени КТ обеспечивает жесткое управление работой приточного вентилятора согласно заданной временной программе. Работа системы активного вентилирования устраняет температурные перепады в массе хранимого продукта. Автоматическое управление температурным режимом соответствует действию системы автоматизации в период охлаждения.

В зависимости от соотношения температуры в массе хранимого продукта и температуры наружного воздуха вводится в

действие дифференциальный терморегулятор SK1, а также терморегуляторы SK3 и SK4. Их работа в этот период соответствует работе в период охлаждения, только в такое календарное время, в течение которого температура в массе хранимого продукта и приточном воздухопроводе превышает температуру наружного воздуха. При ином соотношении температуры между наружным воздухом и в массе хранимого продукта терморегулятор SK4 изменяет характер своей работы, что описано ниже.

Отличительной особенностью является и то, что в момент отключения приточного вентилятора магнитным пускателем KM4 его размыкающий контакт KM4:5 замыкается (возвращается в исходное состояние, соответствующее обесточенной катушке) и через замкнутый контакт переключателя SA2 запитывает фазным напряжением терморегулятор SK2.

Работа пропорционального терморегулятора SK5 заключается в изменении режима работы системы активного вентилирования путем перевода заслонки смесительного клапана 5 (рис. 14.1) из горизонтального положения в вертикальное и в обратном направлении в зависимости от температуры в приточном воздухопроводе. Температура контролируется ИП ВК6, и в зависимости от ее значения срабатывает терморегулятор SK5 таким же образом, как описано в период охлаждения.

Действие терморегуляторов SK3 и SK4 соответствует их работе в период охлаждения, но только в том случае, если температура в приточном воздухопроводе выше заданной.

Характерная отличительная особенность работы системы автоматизации в период хранения связана с понижением температуры наружного воздуха зимой, что оказывает значительное влияние на температурный режим в хранилище.

Минимально допустимая температура в приточном воздухопроводе, контролируемая ИП ВК5, устанавливается по шкале терморегулятора SK4 и соответствует значению, при котором исключается подмораживание хранимого продукта. При снижении температуры в приточном воздухопроводе до значения ниже заданного (с учетом зоны нечувствительности) срабатывает терморегулятор SK4. В результате размыкающий контакт SK4:1 размыкается, обесточивается катушка KM4 магнитного пускателя и останавливается приточный вентилятор.

Температура в верхней части хранилища контролируется ИП ВК3. Ее понижение до значения, меньше заданного, сопоставимого с зоной нечувствительности, действует таким образом, что срабатывает терморегулятор SK2. Тогда замыкается его контакт SK2:1 и запитывается катушка KM1 магнитного пускателя (поз. 11 на рис. 14.1), который срабатывает и силовыми контактами KM1:1 (на рис.14.2 не показаны) включает в работу рециркуляционно-отопительный агрегат Т8 (рис. 14.1).

Одновременно замыкается вспомогательный контакт KM1:2 и запитывается фазным напряжением катушка KM2 магнитного пускателя (поз. 12 на рис. 14.1), который силовыми контактами KM2:1 (на рис. 14.2 не показаны) включает в работу другой рециркуляционно-отопительный агрегат 9 (рис. 14.1).

При работе отопительных агрегатов приточный вентилятор не работает.

Теплота, излучаемая обоими отопительными агрегатами, повышает температуру в надзакромном пространстве хранилища. Когда температура достигает заданного значения, терморегулятор SK2 отключает оба отопительные агрегаты.

Система активного вентилирования включается в работу только в том случае, когда температура в приточном воздухопроводе, контролируемая ИП ВК5, увеличится до значения, превышающего заданное (с учетом зоны нечувствительности терморегулятора). Тогда размыкающий контакт SK4:1 возвращается в исходное замкнутое состояние и магнитный пускатель KM4 по управляющему сигналу реле времени КТ может включать в работу приточный вентилятор.

*Управление подогревателем* смесительного клапана целесообразно в зимний период, когда возникает опасность его примерзания при значительном снижении температуры наружного воздуха. Реальная опасность примерзания возникает при снижении температуры до  $-15^{\circ}\text{C}$ .

*Автоматический обогрев* смесительного клапана осуществляется при переводе переключателя SA3 в положение «Автоматика». Подогреватель включается в работу в соответствии с программой реле времени КТ. При срабатывании реле времени его замыкающий контакт КТ:2 запитывает фазным напряжением через замкнутый контакт SA3 катушку KM3 магнитного пуска-

теля (поз. 3 на рис. 14.1), который силовыми контактами KM3:1 (на рис. 14.2 не показаны) включает подогреватель.

*Ручной обогрев* смесительного клапана осуществляется после постановки переключателя SA3 в положение Р при помощи кнопочных выключателей SB3 и SB4.

*Автоматический обогрев* шкафа управления (ШАУ-АВ) вводится в действие в случае возникновения неблагоприятных для работы его аппаратуры климатических условий.

В состав системы автоматического управления обогревом входят выключатель SA, терморегулятор SK6 в виде термореле (ТЕС6 на рис. 14.1), промежуточное реле KV1 и электронагреватель ЕК (поз. 13 на рис. 14.1).

Термореле SK6, настроенное на необходимую температуру (параграф 11.2), поддерживает ее на заданном уровне при замыкании контакта выключателя SA. Через размыкающий контакт SK6:1 запитывается катушка KV1 промежуточного реле, которое своим замыкающим контактом KV1:1 подключает к источнику питания электронагреватель ЕК. При достижении заданной температуры контакт SK6:1 размыкается, отключая электронагреватель ЕК.

*Ручное управление* температурным режимом в хранилище осуществляется для всех технологических периодов после замыкания контакта QF.

*Лечебный период* обеспечивается постановкой переключателя SA1 в положение Р с последующим включением в работу вентилятора кнопочным выключением SB6. Останавливается вентилятор при помощи кнопочного выключателя SB5.

*Период охлаждения* характеризуется тем, что переключатель SA1 остается в положении Р. Управление работой системы активного вентилирования осуществляется кнопочными выключателями SB5 и SB6. Частота включения приточного вентилятора и продолжительность его работы определяются необходимостью обеспечения нужной динамики охлаждения хранимого продукта.

Замыкание контакта SB6 приводит к запитыванию фазным напряжением также терморегулятора SK4, который исключает подмораживание хранимого продукта при снижении температуры в проточном воздухопроводе до минимально допустимого значения. Хранимый продукт не подмораживается в результате

автоматического отключения вентилятора размыканием контакта SK4:1 при опасном значении температуры.

Период хранения соответствует условию, при котором переключатель SA1 остается в положении Р. Системой активного вентилирования управляют при помощи кнопочных выключателей SB5 и SB6.

Положительная температура в надзакромном пространстве хранилища поддерживается включением в работу рециркуляционно-отопительных агрегатов при помощи кнопочных выключателей SB1 и SB2.

Замыканием контакта SB6 запитывается катушка KM4 магнитного пускателя, который шунтирует своим вспомогательным контактом KM4:2 выключатель SB6. Одновременно запитывается терморегулятор SK4, который автоматически отключает приточный вентилятор. Это происходит в том случае, если температура в приточном воздухопроводе снижается до минимально допустимого значения.

### 14.3. Автоматизация хранилищ на основе комплекса «Среда-1»

#### 14.3.1. Общие сведения о системе автоматизации

Комплекс «Среда-1» [3] предназначен для управления температурным режимом в картофеле- и овощехранилищах секционного типа, имеющих восемь секций. Оптимальный температурный режим в каждой секции хранилища поддерживается за счет использования в различные технологические периоды хранения системы активного вентилирования, рециркуляционно-отопительных агрегатов, а также холодильных машин. Система автоматизации управляет температурой в массе хранимого продукта, температурой воздуха в верхней надзакромной зоне хранилища и температурой воздуха в приточном канале системы активного вентилирования. Комплекс «Среда-1» обеспечивает также визуальный контроль за температурой в 32 точках указанных выше зон хранилища и автоматическую сигнализацию.

Визуальный контроль сводится к измерению температуры при помощи терморезисторов, установленных в соответствующи-

х зонах хранилища, и поочередной передаче результатов измерения на шкалу логометра, что осуществляется при помощи ручного переключателя.

Световая сигнализация оповещает обслуживающий персонал об отклонении температуры от заданной в отдельных зонах секций хранилища, о работе соответствующих ИМ, а также о режимах работы системы автоматизации.

Заданный температурный режим в каждой секции хранилища поддерживается автономно при помощи технических средств, размещаемых в секциях. Секция (рис. 14.3) имеет приточную 6 и вытяжную 10 шахты, смесительный клапан 5 с электродвигателем 7 и подогревателем 4; систему активного вентилирования, которая включает приточный вентилятор 2 с электродвигателем 1 и воздухораспределительные каналы 11; два рециркуляционно-отопительных агрегатов 8 и 9 с исполнительными механизмами 12 и 13; ИП температуры воздуха и массы хранимого продукта TE1<sub>в</sub>, TE1<sub>м</sub>, TE1<sub>к</sub>; холодильную машину 15 с исполнительным механизмом 14.

Функциональная схема, представленная на рис. 14.3, наглядно отражает функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического регулирования температуры в одной секции хранилища и оснащение секции приборами измерения и средствами автоматизации.

Температурный режим в секциях хранилища обеспечивается техническими средствами системы автоматизации, которые располагаются в шкафу управления. Техническими средствами первой секции являются регуляторы температуры TDEC1<sub>м</sub>, TEC1<sub>м</sub>, TEC1<sub>к</sub>, TEC1<sub>в</sub>, TEC1<sub>кп</sub>, программное реле времени KE, реле выдержки времени, магнитные пускатели, промежуточные реле, переключатели, кнопочные выключатели, сигнальные лампы. Технические средства автоматизации каждой секции хранилища объединяются конструктивно и входят в состав соответствующих автоматических регуляторов.

Функции ИП температуры выполняют терморезисторы. ИП температуры наружного воздуха TE1<sub>н</sub> устанавливается для каждой секции не ближе 0,5 м от стены хранилища и защищается от прямого попадания солнечных лучей.

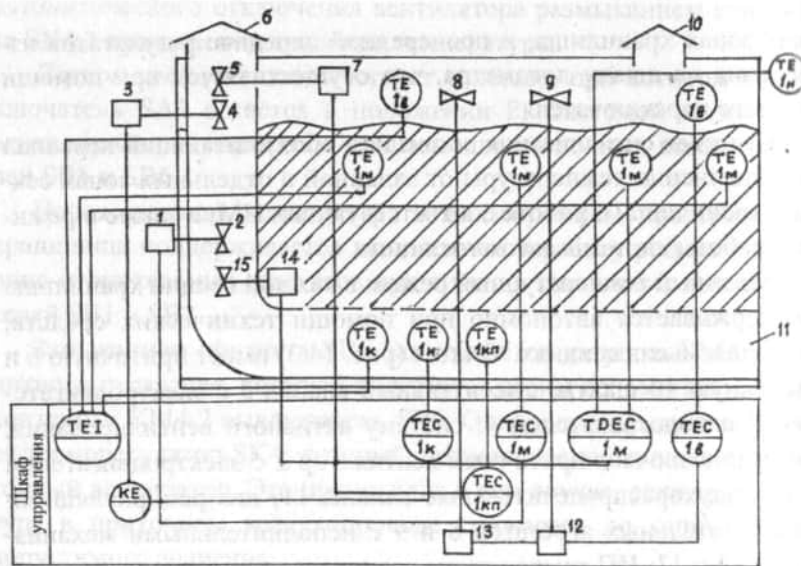


Рис. 14.3. Функциональная схема САУ температурой в одной секции хранилища на основе комплекта «Среда-1»: 1 – ИМ (электродвигатель); 2 – РО (приточный вентилятор); 3 – ИМ (магнитный пускатель); 4 – РО (электронагреватель смесительного клапана); 5 – РО (смесительный клапан); 6 – приточная шахта; 7 – ИМ (электродвигатель); 8 и 9 – РО (рециркуляционно-отопительные агрегаты); 10 – вытяжная шахта; 11 – приточный канал; 12 и 13 – ИМ магнитные пускатели; 14 – ИМ (магнитный пускатель); 15 – РО (холодильная машина); TDEC<sub>1M</sub> (PPT на рис.14.4) – регулятор разности температур, управляет положением заслонок смесительных клапанов и холодильными машинами во всех секциях хранилища; TEC<sub>1M</sub> – терморегулятор, управляет работой приточного вентилятора; TEC<sub>1B</sub> – терморегулятор, управляет работой рециркуляционно-отопительных агрегатов; TEC<sub>1K</sub> – терморегулятор, не допускает подмораживания продукта; TEC<sub>1KP</sub> – терморегулятор, управляет положением заслонки смесительного клапана; TE – логометр, показывающий прибор; KE – программное реле времени

В массе хранимого продукта одной секции устанавливаются четыре ИП температуры TE<sub>1M</sub>. Сигнал одного ИП действует на регулятор разности температур TDEC<sub>1M</sub>, а сигнал другого ИП – на терморегулятор TEC<sub>1M</sub>. Сигналы остальных двух ИП поступают в логометр TEI, что обеспечивает визуальный контроль за температурой в массе хранимого продукта одной секции.

В верхней надзакромной зоне секции монтируются два ИП TE<sub>1B</sub>: один ИП используется для логометра TEI, а второй ИП –

для двухпозиционного терморегулятора TEC<sub>1B</sub>, управляющего включением и отключением рециркуляционно-отопительных агрегатов.

В приточном канале секции устанавливаются после вентилятора три ИП TE<sub>1K</sub>: один ИП используется для логометра TEI; второй ИП – для двухпозиционного терморегулятора TEC<sub>1K</sub>, управляемого работой приточного вентилятора; третий ИП TE<sub>1KP</sub> для терморегулятора пропорционального действия TEC<sub>1KP</sub>, управляющего положением заслонки смесительного клапана.

Совокупность частей технических средств автоматизации одной секции и пути передачи воздействий между отдельными частями отражаются структурной схемой (рис. 14.4).

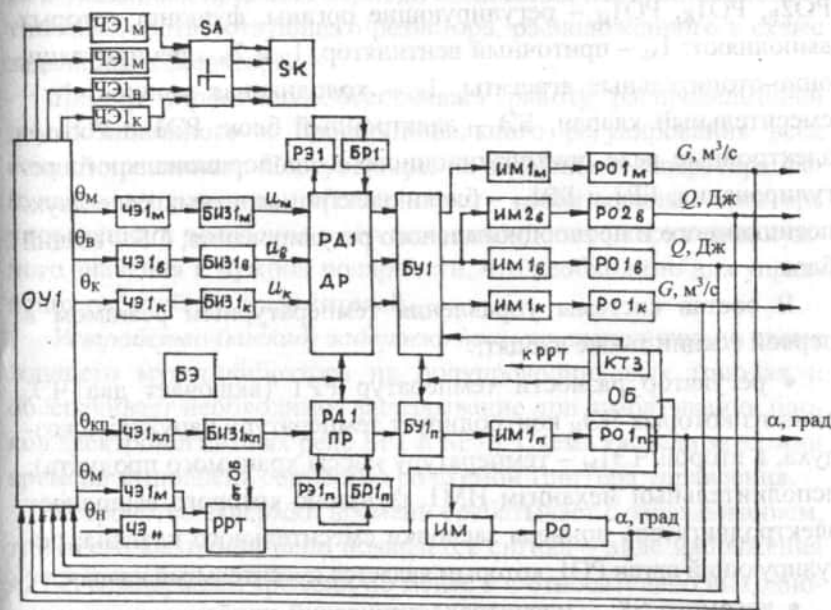


Рис. 14.4. Структурная схема САУ температурой в одной секции хранилища

В структуру системы управления температурным режимом в первой секции входят следующие средства автоматизации: ОУ1 – объект управления (первая секция хранилища); два ЧЭ<sub>1K</sub>, четыре ЧЭ<sub>1M</sub>, три ЧЭ<sub>1B</sub>, ЧЭ<sub>1H</sub> – чувствительные элементы (тер-

морезисторы), измеряющие температуру в верхней зоне ( $1_B$ ), в массе хранимого продукта ( $1_M$ ), в приточном канале ( $1_K, 1_{KP}$ ) и наружного воздуха ( $n$ ); РД1 ДР – распределитель первой секции (РД1) двухпозиционного регулирования (ДР); РД1 ПР – распределитель первой секции (РД1) пропорционального регулирования (ПР); БУ1 и БУ1П – блоки управления двухпозиционного и пропорционального регулирования; ИМ1М, ИМ1В, ИМ2В, ИМ1В, ИМ1П – исполнительные механизмы, функции которых выполняют:  $1_M$  – электродвигатель привода приточного вентилятора,  $1_B$  и  $2_B$  – магнитные пускатели включения и отключения рециркуляционно-отопительных агрегатов,  $1_K$  – магнитный пускатель включения и отключения холодильной машины,  $1_P$  – электродвигатель привода смесительного клапана; РО1М, РО1В, РО2В, РО1К, РО1П – регулирующие органы, функции которых выполняют:  $1_M$  – приточный вентилятор,  $1_B$  и  $2_B$  – рециркуляционно-отопительные агрегаты,  $1_K$  – холодильная машина,  $1_P$  – смесительный клапан; БЭ – электронный блок; РЭ1 и РЭ1П – электронные реле двухпозиционного и пропорционального регулирования; БР1 и БР1П – блоки электромагнитных реле двухпозиционного и пропорционального регулирования; ОБ – общий блок.

В состав системы управления температурным режимом в первой секции также входят:

- регулятор разности температур РРТ (включает два ЧЭ, один из которых ЧЭ<sub>н</sub> контролирует температуру наружного воздуха, а второй ЧЭ<sub>1М</sub> – температуру массы хранимого продукта); исполнительный механизм ИМ1, функцию которого выполняет электродвигатель привода заслонки смесительного клапана; регулирующий орган РО1, которым является смесительный клапан;

- логометр СК – магнитоэлектрический прибор с внутрирабочной системой, показывающий со шкалой (имеет в своем составе для визуального контроля температуры в соответствующих зонах секции хранилища чувствительные элементы ЧЭ<sub>1М</sub>, ЧЭ<sub>1В</sub>, ЧЭ<sub>1К</sub>); переключатель SA, обеспечивающий поочередное подключение ЧЭ к измерительному мосту логометра.

#### 14.3.2. Устройство и принцип действия элементов и узлов системы автоматизации

**Электронный блок БЭ** предназначен для управления через распределителя двухпозиционного и пропорционального регулирования (РД1 ДР и РД1 ПР) секций хранилища блоками электронных реле РЭ1 и РЭ1П и электромагнитных реле БР1 и БР1П (рис. 14.4) и питается от общего блока.

Электронный блок состоит из задающего генератора, триггера управления и устройства задержки времени.

*Задающий генератор* вырабатывает импульсы напряжения с периодом следования 20...50 с, которые необходимы для запуска триггера управления. Паузы между импульсами регулируются в указанных пределах периода следования изменением сопротивления соответствующего резистора, расположенного в схеме задающего генератора.

*Триггер управления* обеспечивает работу распределителей двухпозиционного и пропорционального регулирования всех секций хранилища. Поступающие из задающего генератора импульсы напряжения обеспечивают срабатывание триггера управления и появление в его выходных цепях напряжения нужного значения и нужной полярности, что необходимо для управления работой распределителей.

*Устройство (каскад) задержки времени* выполнено по схеме ждущего мультивибратора на полупроводниковых триодах и обеспечивает необходимое запаздывание при срабатывании блоков электромагнитных реле БР1 и БР1П. Схема каскада задержки времени выполнена совместно со схемой триггера управления.

Устройство задержки времени срабатывает с запаздыванием, т. е. в его выходной цепи появляется сигнал в виде напряжения  $\pm 27$  В с задержкой времени не менее 3 с относительно выходного напряжения в триггере управления. Указанное напряжение подается с задержкой во времени на обмотки электромагнитных реле блоков БР1 и БР1П через электронные реле РЭ1 и РЭ1П. Это исключает ложное срабатывание блоков управления БУ1 и БУ1П и исполнительных механизмов от электромагнитных наводок, возникающих при переключении электромагнитных реле в распределителях РД1 ДР и РД1 ПР.

Электронный блок БЭ периодически вырабатывает импульсы напряжения, при помощи которых с заданной выдержкой времени поочередно включаются и отключаются электромагнитные реле в распределителях всех секций хранилища. Работа распределителя одной секции описана ниже.

**Общий блок ОБ** содержит выпрямители и стабилизаторы напряжения, обеспечивающие питание всех элементов и узлов системы автоматизации, включая и элементы общего блока: программное реле времени, реле задержки времени, переключатель режимов управления, переключатель индикации состояния системы автоматизации (работа, проверка, выключено).

На принципиальной электрической схеме общего блока (рис. 14.5) изображены только некоторые его элементы, выполняющие в структуре системы автоматизации определенные функции.

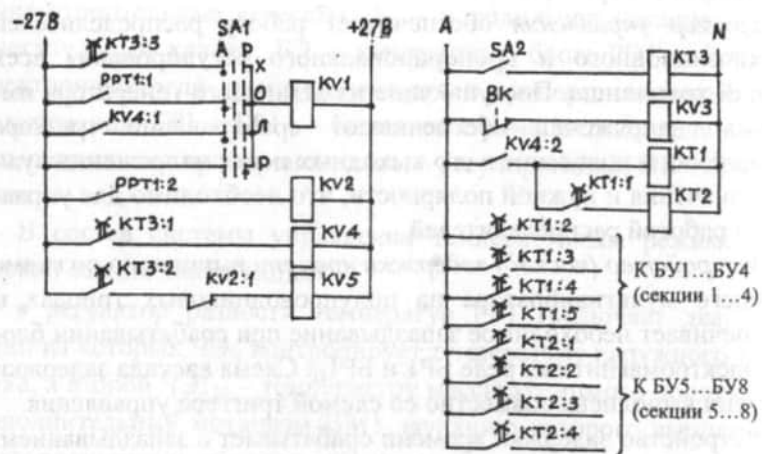


Рис. 14.5. Принципиальная электрическая схема общего блока

Программное реле времени КТ3 после подключения к источнику питания выдает управляющие сигналы определенным элементам системы автоматизации на выполнение ими необходимых операций управления по двум программам, которые определяют продолжительность командоуправления сигнала 40 и 30 мин.

Реле КТ3 своим замыкающим контактом КТ3:1 через электромагнитное реле КV4 управляет двумя реле выдержки времени – КТ1 и КТ2. Контакты этих реле КТ1:2...КТ1:5 и КТ2:1...КТ2:4, замыкающиеся с замедлением, подают напряжение питания с интервалом 15...30 мин через электромагнитные реле блоков управления БУ на магнитные пускатели (на схеме не показаны), которые управляют работой электродвигателей приточных вентиляторов секций 1...4 от реле КТ1 и секций 5...8 от реле КТ2.

Переключатель SA1 обеспечивает ручной (положение Р) или автоматический (положения Л, О, Х) режимы управления. При автоматическом управлении переключатель SA1 устанавливается в последовательной очередности периодов технологического процесса хранения продукта: положение Л соответствует периоду «Лечебный», положение О – периоду «Охлаждение» и положение Х – «Хранение».

Все элементы системы автоматизации – блоки БИЗ, распределители двухпозиционного регулирования, электронный блок БЭ, электронные реле РЭ, блоки БР, блоки управления БУ, логометр Р, регулятор разности температур РРТ (рис. 14.4) – запитываются от общего блока при помощи контактов реле КV1 (рис. 14.5), которые находятся в электрических цепях этих элементов. Причем подключение (на схеме не показано) необходимых элементов к источникам питания общего блока при автоматическом управлении зависит от технологического периода хранения продукта и осуществляется соответствующими элементами блока и системы автоматизации.

Так, реле КV1 запитывает необходимые элементы в период «Лечебный» при срабатывании реле КV4, в период «Охлаждение» – при срабатывании регулятора РРТ и в период «Хранение» – при срабатывании программного реле времени КТ3.

При ручном управлении реле КV1 срабатывает и запитывает соответствующие элементы системы автоматизации после остановки переключателя SA1 в положение Р.

Промежуточные реле КV2 и КV5 управляют работой смесительных клапанов. При замыкании регулятором РРТ своего контакта РРТ:2 срабатывает реле КV2, а реле КV5 возвращается в исходное состояние в результате размыкания контакта КV2:1.

Подвижные контакты реле KV2 и KV5, которые находятся в электрических цепях управления электродвигателями привода смесительных клапанов (на рис.14.5 не показаны), изменяют свое положение на противоположное. Срабатывание реле KV2 и возврат реле KV5 приводят к включению электродвигателей привода смесительных клапанов и поворачиванию заслонок в вертикальное положение. В результате этого активное вентилирование продукта в секциях хранилища осуществляется наружным воздухом.

Реле KV3 вместе с ИП температуры ВК управляет работой электрообогревателя шкафа управления.

Промежуточное реле KV4 включает своим контактом KV4:2 реле выдержки времени КТ1, что обеспечивает затем включение реле выдержки времени КТ2.

**Блок измерения и задания БИЗ** предназначен для сравнения измеряемой соответствующим ЧЭ температуры в определенной зоне секции хранилища с ее заданным значением и усиления сигнала рассогласования.

БИЗ представляет собой типовую электронную микросхему, в которой конструктивно выполнена мостовая схема (измерительный мост) измерения температуры и ее сравнения с заданной, а также схема усиления сигнала рассогласования между заданной температурой и ее действительным значением. Одним плечом измерительного моста является терморезистор, выполняющий функцию ЧЭ; другим – служит резистор переменного сопротивления, обеспечивающий задание необходимой температуры и выполняющий функцию задающего элемента.

Выход каждого блока БИЗ в системе автоматизации подключается через соответствующий распределитель двухпозиционного или пропорционального регулирования ко входу электронного реле РЭ.

Для каждого ЧЭ, работающего в составе автоматического регулятора системы автоматизации «Среда-1», используется отдельный блок измерения и задания. В результате для регуляторов температуры двухпозиционного регулирования применяется 24 блока БИЗ и для регуляторов температуры пропорционального регулирования – восемь блоков БИЗ, которые питаются от общего блока.

**Распределители двухпозиционного и пропорционального регулирования** обеспечивают поочередный опрос блоков измерения и задания температуры в различных зонах секций хранилища, а также передачу выходного сигнала каждого блока БИЗ на вход электронных реле РЭ. Распределители питаются с общего блока.

Распределители двухпозиционного и пропорционального регулирования системы автоматизации «Среда-1» представляют собой синхронные автоматические переключатели для поочередного опроса БИЗ температуры массы хранимого продукта, а также температуры воздуха в верхней зоне и приточном канале в восьми секциях хранилища. Работа распределителей секций хранилища выражается в поочередном включении и отключении их электромагнитных реле с определенной выдержкой времени согласно импульсам задающего генератора.

Распределители двухпозиционного и пропорционального регулирования выполняются для одной секции в виде электрической схемы (рис. 14.6).

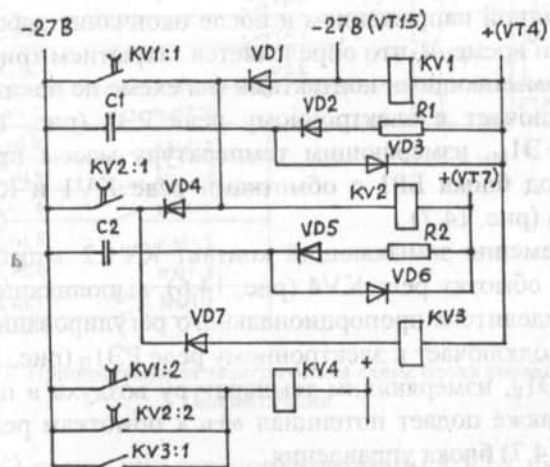


Рис. 14.6. Принципиальная электрическая схема распределителей двухпозиционного и пропорционального регулирования одной секции

Элементы схемы разделены на *распределитель двухпозиционного (релейного) регулирования РД1 ДР* и *распределитель пропорционального регулирования РД1 ПР* (рис. 14.4) на основании

законов регулирования, используемых в регуляторах температуры системы автоматизации. На рис. 14.4 распределители обозначены цифрой 1, что означает их принадлежность к первой секции хранилища. В состав распределителя двухпозиционного регулирования РД1 ДР входят электромагнитные реле KV1, KV2 и KV3 (рис. 14.6), а в состав распределителя пропорционального регулирования – реле KV4.

Распределители РД1 ДР и РД1 ПР работают синхронно с электронным блоком БЭ, т. е. одновременно с поступающими из этого блока импульсами напряжения. Импульсы напряжения подаются из выходной цепи триггера управления электронного блока на обмотки электромагнитных реле распределителя РД1 ДР и с интервалом следования, который определяется задающим генератором.

Первый импульс напряжения подается на обмотку реле KV1 (рис. 14.6) от триода VT4 триггера управления полярностью «+», а от триода VT15 каскада задержки времени – полярностью -27 В. Реле KV1 срабатывает и своим контактом KV1:1 становится на самоблокировку, благодаря которой обмотка реле остается запитанной напряжением и после окончания работы каскада задержки времени, что определяется закрытием триода VT15. Другими замыкающими контактами (на схеме не показаны) реле KV1 подключает к электронному реле РЭ1 (рис. 14.4) блок БИЗ1М с ЧЭ1М, измеряющим температуру массы продукта, а также выход блока БР1 с обмотками реле KV1 и KV2 блока управления (рис. 14.7)

Одновременно замыкающий контакт KV1:2 запитывает напряжением обмотку реле KV4 (рис. 14.6), выполняющего функцию распределителя пропорционального регулирования РД1 ПР. Реле KV4 подключает к электронному реле РЭ1П (рис. 14.4) блок БИЗ1К с ЧЭ1К, измеряющим температуру воздуха в приточном канале, а также подает потенциал «+» к обмоткам реле KV6 и KV7 (рис. 14.7) блока управления.

Во втором такте работы триггера управления потенциал «+» источника питания подключается к обмотке реле KV2 (рис. 14.6) от триода VT7 триггера управления и отключается от обмотки KV1, так как триод VT4 триггера управления закрывается. Но обмотка реле KV1 обесточивается с некоторой задержкой, необходимой для срабатывания реле KV2, за счет замедленного

размыкания контакта KV1:1. Время размыкания контакта определяется временем разряда конденсатора C1 на обмотку KV1 по цепи: C1 – VD3 – KV1 – VD1 – KV1:1. Конденсатор C1 заряжается во время запитывания обмотки KV1 по цепи: R1 – VD2.

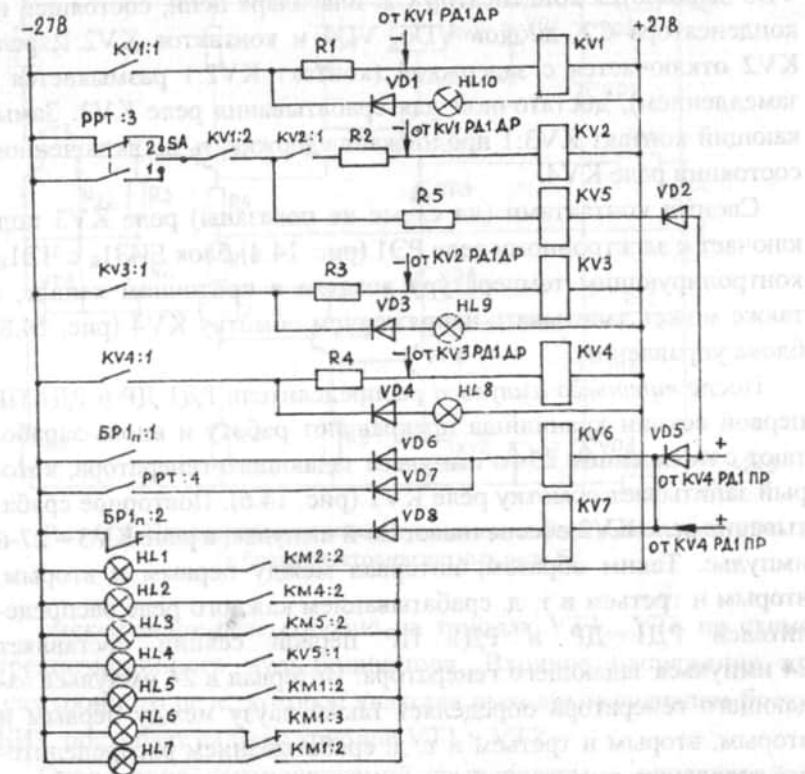


Рис. 14.7. Принципиальная электрическая схема блока управления одной секции

Реле KV2 своим замыкающим контактом KV2:1 самоблокируется, а контактом KV2:2 удерживает реле KV4 во включенном состоянии. Одновременно реле KV2 подключает (контакты на схеме не показаны) к электронному реле РЭ1 (рис. 14.4) блок БИЗ1В с ЧЭ1В, контролирующим температуру воздуха в верхней зоне, а также может запитывать напряжением обмотку реле KV3 (рис. 14.8) блока управления.

В третьем такте работы триггера управления, что соответствует третьему импульсу задающего генератора, полярность «+» источника питания снимается с обмотки реле KV2 (рис. 14.7) и подается к обмотке реле KV3 при помощи триода VT4 триггера управления. Через резистор R2 (рис. 14.6) и диод VD5 заряжается конденсатор C2. Благодаря цепи, состоящей из конденсатора C2, диодов VD6, VD4 и контактов KV2:1, реле KV2 отключается с задержкой (контакт KV2:1 размыкается с замедлением), достаточной для срабатывания реле KV3. Замыкающий контакт KV3:1 продолжает удерживать во включенном состоянии реле KV4.

Своими контактами (на схеме не показаны) реле KV3 подключает к электронному реле РЭ1 (рис. 14.4) блок БИЗ1к с ЧЭ1к, контролирующим температуру воздуха в приточном канале, а также может запитывать напряжением обмотку KV4 (рис. 14.8) блока управления.

После третьего импульса распределителя РД1 ДР и РД1 ПР первой секции хранилища прекращают работу и вновь заработают с появлением 25-го импульса задающего генератора, который запитывает обмотку реле KV1 (рис. 14.6). Повторное срабатывание реле KV2 обеспечивает 26-й импульс, а реле KV3 – 27-й импульс. Таким образом, интервал между первым и вторым, вторым и третьем и т. д. срабатыванием каждого реле распределителей РД1 ДР и РД1 ПР первой секции составляет 24 импульса задающего генератора. Интервал в 24 импульса задающего генератора определяет также паузу между первым и вторым, вторым и третьем и т. д. срабатыванием распределителей остальных семи секций хранилища.

Четвертый импульс задающего генератора обеспечивает срабатывание триггера управления и каскада задержки времени, что определяет начало работы распределителей второй секции, которые работают аналогично распределителям первой секции, и т. д.

В состав системы автоматизации входят восемь распределителей двухпозиционного регулирования РД ДР и восемь распределителей пропорционального регулирования РД ПР, что соответствует числу секций хранилища.

Электронное реле РЭ выполнено совместно с блоком электромагнитных реле БР в виде одной электрической схемы (рис. 14.8), питание которой осуществляется от общего блока.

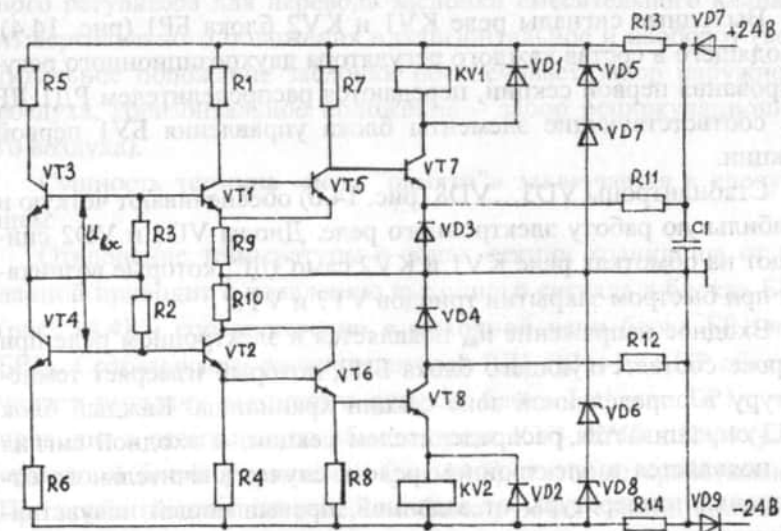


Рис. 14.8. Принципиальная электрическая схема электронного реле РЭ и блока электромагнитных реле БР

Электронное реле собрано на триодах VT1...VT8 по схеме трехпозиционного нуль-индикатора. Входное напряжение  $u_{вх}$  электронного реле, которое является выходным сигналом блока БИЗ, поступает на базы триодов VT1 и VT2.

Отклонение контролируемой температуры в определенной зоне секции хранилища от заданного значения в сторону уменьшения или увеличения определяет полярность выходного сигнала блока БИЗ и соответственно полярность входного напряжения  $u_{вх}$  электронного блока.

В случае поступления на базы триодов VT3 и VT4 напряжения  $u_{вх}$  положительной полярности открываются триоды VT3 и VT7, т. е. работает верхняя половина схемы. В результате запитывается напряжением обмотка реле KV1 блока БР и оно срабатывает.

При поступлении на базы триодов VT3 и VT4 входного напряжения обратной полярности работает нижняя половина схемы и открываются триоды VT4 и VT8. В результате запитывается напряжением обмотка реле KV2 блока БР и оно срабатывает.

Выходные сигналы реле KV1 и KV2 блока БР1 (рис. 14.4), входящего в состав каждого регулятора двухпозиционного регулирования первой секции, передаются распределителем РД1 ДР на соответствующие элементы блока управления БУ1 первой секции.

Стабилитроны VD3...VD8 (рис. 14.6) обеспечивают четкую и стабильную работу электронного реле. Диоды VD1 и VD2 снижают на обмотках реле KV1 и KV2 самоЭДС, которые возникают при быстром закрытии триодов VT7 и VT8.

Входное напряжение  $u_{вх}$  появляется в электронном реле при опросе соответствующего блока БИЗ, который измеряет температуру в определенной зоне секции хранилища. Каждый блок БИЗ опрашивается распределителем секции, и входной сигнал  $u_{вх}$  появляется в электронном реле в случае значительного отклонения температуры от заданной, превышающей нечувствительность соответствующего регулятора температуры.

Характер отклонения температуры от заданной, что оценивается ее повышением или понижением, определяет появление соответствующего сигнала в выходной цепи блока БР1 или БР1п (рис. 14.4). Выходной сигнал блока БР1 или БР1п действует на определенный элемент блока управления БУ1, что формирует в нем соответствующий выходной сигнал и определяет состояние исполнительного механизма (включен – отключен).

**Блок управления БУ** (рис. 14.7), выполненный на основе семи электромагнитных реле, управляет работой исполнительных механизмов в одной секции хранилища.

Каждое реле имеет определенное назначение: KV1 – реле «памяти» отклонения температуры массы хранимого продукта от заданной; KV2 – выходное реле управления приточным вентилятором; KV3 – реле «памяти» отклонения температуры воздуха в верхней зоне от заданной и одновременно выходное реле управления рециркуляционно-отопительными агрегатами; KV4 – реле «памяти» отклонения температуры воздуха в при-

точном канале от заданной и выходное реле защиты хранимого продукта от подмораживания; KV5 – реле управления холодильной машиной; KV6 и KV7 – выходное реле пропорционального регулятора для перевода заслонки смесительного клапана из вертикального положения в горизонтальное и наоборот (вертикальное положение заслонки обеспечивает забор наружного воздуха, горизонтальное положение – забор рециркуляционного воздуха).

Сущность термина «реле "памяти"» заключается в следующем.

Отклонение температуры в зонах секции хранилища от заданной приводит к появлению выходного сигнала в блоках БИЗ (рис. 14.4) и соответственно в выходной цепи блока БР1 или БР1п. Срабатывание распределителей РД1 ДР и РД1 ПР обеспечивает передачу выходного сигнала блока БР1 или БР1п, что приводит к запитыванию обмоток реле KV1, KV3 и KV4 (реле «памяти») блока управления (рис.14.8), которые срабатывают. При срабатывании эти реле самоблокируются своими контактами KV1:1, KV3:1, KV4:1. В результате обмотки реле KV1, KV3, и KV4 остаются под напряжением после исчезновения сигнала распределителей РД1 ДР и РД1 ПР (рис. 14.4), сохраняя таким образом информацию («память») об отклонении температуры в соответствующей зоне секции от заданной. Этим обеспечивается надежное срабатывание последующих элементов соответствующего автоматического регулятора и выработка регулятором необходимого управляющего воздействия  $u(t)$ .

В блоке управления находится система автоматической сигнализации, включающая десять сигнальных ламп и другие элементы управления (рис. 14.8), при помощи которых включаются сигнальные лампы. Лампы сигнализируют: HL1 – о включении приточного вентилятора; HL2 и HL3 – рециркуляционно-отопительных агрегатов; HL4 – о включении холодильной машины; HL5 и HL6 – об открытии (вертикальное положение заслонки) и закрытии (горизонтальное положение заслонки) смесительного клапана; HL7 – о включении подогревателя смесительного клапана; HL8, HL9 и HL10 – об отклонении темпе-

ратуры в приточном канале, в верхней зоне и в массе продукта от заданной.

В блоке управления находится переключатель SA, при помощи которого задается способ охлаждения хранимого продукта. Переключатель имеет два положения: в положении 1 хранимый продукт охлаждается наружным воздухом; в положении 2 вентилируемый воздух охлаждается специальной холодильной машиной, которая включается регулятором разности температур PPT и реле KV5 блока управления.

**Терморегуляторы** системы автоматизации представляют собой автоматические регуляторы температуры двухпозиционного регулирования и автоматические регуляторы температуры пропорционального регулирования, обеспечивающие заданный температурный режим в секциях хранилища в различные технологические периоды хранения продукции. В состав САУ температурой каждой секции входят три терморегулятора двухпозиционного регулирования, один терморегулятор пропорционального регулирования, что наглядно отражает структурная схема (рис. 14.4). Каждый терморегулятор обеспечивает управление температурой в той зоне секции хранилища, где устанавливается чувствительный элемент.

Терморегуляторы, например САУ температурным режимом в первой секции хранилища (рис. 14.4), представляют собой совокупность определенных технических средств автоматизации.

Автоматический регулятор двухпозиционного регулирования температуры в массе продукта конструктивно объединяет: ЧЭ1<sub>М</sub>, блок БИЗ1<sub>М</sub>, реле KV1 распределителя РД1 ДР, электронное РЭ1, блок электромагнитных реле БР1, реле KV1 и KV2 (рис. 14.8) блока управления, исполнительный механизм ИМ1<sub>М</sub> и регулирующий орган РО1<sub>М</sub> (рис. 14.4). Регулятор включает приточный вентилятор при увеличении температуры массы продукта относительно заданной.

Автоматический регулятор двухпозиционного регулирования температуры воздуха в верхней зоне секции имеет в своем составе: ЧЭ1<sub>В</sub> (рис. 14.4), блок БИЗ1<sub>В</sub>, реле KV2 распределяется РД1 ДР, электронное реле РЭ1, блок электромагнитных реле

БР1, реле KV3 (рис. 14.7) блока управления, исполнительные механизмы ИМ1<sub>В</sub> и ИМ2<sub>В</sub> (рис. 14.4), регулирующие органы РО1<sub>В</sub> и РО2<sub>В</sub>. Регулятор включает рециркуляционно-отопительные агрегаты при снижении температуры воздуха в верхней зоне относительно заданной.

Автоматический регулятор двухпозиционного регулирования температуры воздуха в приточном канале состоит из: ЧЭ1<sub>К</sub>, блока БИЗ1<sub>К</sub>, реле KV3 распределителя РД1 ДР, электронного реле РЭ1, блока электромагнитных реле БР1, реле KV4 (рис. 14.8) блока управления, исполнительного механизма ИМ1<sub>К</sub> (рис. 14.4) и регулирующего органа РО1<sub>К</sub>. Регулятор отключает приточный вентилятор при температуре воздуха в канале, ниже заданной.

Автоматический регулятор пропорционального регулирования температуры воздуха в приточном канале состоит из: ЧЭ1<sub>КП</sub>, блока БИЗ1<sub>КП</sub>, реле KV4 распределителя РД1ПР, электронного реле РЭ1<sub>П</sub>, блока электромагнитных реле БР1<sub>П</sub>, реле KV6 и KV7 (рис. 14.8) блока управления, исполнительного механизма ИМ1<sub>П</sub>, регулирующего органа РО1<sub>П</sub>. Задача автоматического регулятора – не допустить путем закрытия смесительного клапана подмораживания хранимого продукта в секции хранилища.

Автоматический регулятор разности температур (рис. 14.4) входит в состав системы автоматизации «Среда-1» и управляет положением заслонок смесительных клапанов, расположенных в приточных каналах хранилища. Автоматический регулятор имеет в своем составе: чувствительные элементы, контролирующие температуру наружного воздуха ЧЭ<sub>Н</sub> и массы хранимого продукта ЧЭ<sub>М</sub>; регулятор разности температур PPT; реле KV2 и KV5 общего блока (рис. 14.5); исполнительные механизмы ИМ, которыми являются электродвигатели, и регулирующие органы РО, функции которых выполняют смесительные клапаны приточных каналов хранилища.

Регулятор PPT срабатывает, когда температура наружного воздуха становится ниже температуры массы хранимого продукта на заданное значение, которое можно изменять в пределах 0,5...10 °С. Регулятор PPT работает в технологическом периоде «Охлаждение».

### 14.3.3. Рабочий процесс системы автоматизации

Автоматическое управление температурным режимом в хранилище обеспечивается системой автоматизации (рис. 14.3... 14.8) в различные периоды технологического процесса хранения продукции.

**Лечебный период** осуществляется при помощи реле времени КТ3 (рис. 14.5) согласно заданной временной программе после перевода переключателя SA1 в положение «Л».

Выключателем SA2 запитывается программное реле времени КТ3, которое обрабатывает заданную временную программу. В заданное время реле КТ3 срабатывает и своим замыкающим контактом КТ3:1 включает промежуточное реле KV4, которое срабатывает, что приводит к одновременному замыканию контактов KV4:1 и KV4:2. В результате запитываются реле KV1 и реле выдержки времени КТ1. Своими контактами (на схеме не показаны) реле KV1 подключает соответствующие элементы системы автоматизации к источнику питания общего блока.

Реле КТ1 поочередно через 15...30 с при помощи контактов КТ1:2...КТ1:5 запитывает блоки управления БУ1...БУ4, которые подают напряжение 220 В на обмотки магнитных пускателей. Срабатывание магнитных пускателей приводит к замыканию их силовых контактов и подключению электродвигателей к трехфазному источнику питания, что обеспечивает работу приточных вентиляторов и активное вентилирование хранимого продукта рециркуляционным воздухом в первых четырех секциях хранилища.

После пуска приточного вентилятора четвертой секции реле КТ1 своим контактом КТ1:1 включает реле выдержки времени КТ2, которое срабатывает. В результате замыкаются контакты КТ2:1...КТ2:4 и поочередно при помощи блоков управления БУ5...БУ8 обмотки магнитных пускателей подключаются к источнику питания с фазным напряжением 220 В. Срабатывание магнитных пускателей приводит к замыканию их силовых контактов, что обеспечивает подключение электродвигателей к трехфазному источнику питания и их пуску. В результате работают приточные вентиляторы в остальных четырех секциях и осуществляют активное вентилирование хранимого продукта. По окончании промежутка времени, заданного для одного цикла

вания называются *нейтральными*, или *астатическими*. Отсутствие самовыравнивания у различных объектов теоретически [3] возможно в двух случаях. В первом случае должно возникать равенство значений и знаки обоих дифференциалов со стороны как: поступления, так и расхода вещества или энергии будут одинаковыми. Такой случай маловероятен. Поэтому считается, что объект имеет нулевое самовыравнивание при отсутствии зависимости приложенных воздействий на стороне поступления и расхода от значения регулируемого параметра.

Из уравнения (1.17) следует, что с уменьшением коэффициента самовыравнивания до нуля постоянная времени  $T$  должна возрастать до бесконечности при конечном значении параметра  $S$ .

Самовыравнивание является одним из важнейших свойств объектов, определяющим эффективность управления. Объекты с отрицательным самовыравниванием и без самовыравнивания не могут работать без автоматических регуляторов.

Устойчивыми статическими объектами являются многие машины и устройства: водонагреватели и системы отопления помещений – относительно температуры при изменении тепловой нагрузки, двигатели внутреннего сгорания – относительно частоты вращения вала при изменении задания этого параметра и др.

Способность объекта накапливать вещество или энергию называется *аккумулирующей*. Физическая величина, характеризующая аккумулирующую способность объекта, называется его *емкостью*, а отношение емкости объекта к значению управляемого параметра получило название *емкостного коэффициента*.

Например, для рассматриваемого объекта (рис. 1.1) емкость резервуара

$$C = \int_0^{H_0} S dH = SH_0, \quad (1.19)$$

а емкостный коэффициент

$$K_c = C/H_0 = S, \quad (1.20)$$

где  $H_0$  – оптимальное (заданное) значение уровня воды.

Значение параметра  $C$  характеризует запас управляющей среды внутри объекта.

Емкостью может быть любая физическая величина. Например, при регулировании уровня жидкости емкость резервуара зависит от его вместимости. Емкость вращающихся частей в машинах зависит от момента инерции. При регулировании температуры емкостью является теплоемкость объекта. Емкость объекта характеризуется накоплением вещества или энергии, что возможно при наличии сопротивления на выходе объекта.

Каждый объект имеет определенную физическую природу, а также входной и выходной параметры, между которыми во времени существует функциональная связь. Для идеализированных объектов функциональная зависимость между указанными параметрами выражается следующими однотипными дифференциальными уравнениями:

- для поступательного движения

$$mdv/dt = F, \quad (1.21)$$

где  $m$  – масса движущегося тела;  $v$  – линейная скорость;  $F$  – результирующая действующая сила;

- для вращательного движения

$$Jd\omega/dt = M, \quad (1.22)$$

где  $J$  – момент инерции вращающегося тела;  $\omega$  – угловая скорость вращения;  $M$  – результирующий вращающий момент;

- для нагревания и охлаждения тела

$$mcd\theta/dt = W, \quad (1.23)$$

где  $m$  – масса нагреваемого (охлаждаемого) тела;  $c$  – удельная теплоемкость;  $\theta$  – температура тела;  $W$  – поток влаги;

- для жидкостей в сосуде

$$SdH/dt = Q, \quad (1.24)$$

где  $S$  – площадь основания сосуда;  $H$  – уровень жидкости в сосуде;  $Q$  – объемный поток жидкости.

Аналогичные уравнения можно записать для многих других физических процессов, протекающих в различных объектах.

(на схеме не показаны) подключает соответствующие узлы к источникам питания общего блока.

Срабатывает также реле KV2 и своим размыкающим контактом KV2:1 обеспечивает возврат реле KV5 в исходное состояние. Это приводит к открытию смесительных клапанов («Общий блок») и поступлению наружного воздуха в приточные шахты хранилища.

При повышении температуры наружного воздуха до температуры массы продукта происходит возврат регулятора РРТ и его контактов в исходное состояние. Реле KV2 также возвращается в исходное состояние, и его контакт KV2:1 замыкается, что приводит к срабатыванию реле KV5. Включаются электродвигатели привода смесительных клапанов (замыкающие контакты реле KV5 находятся в цепях управления электродвигателями и на схеме не показаны), и клапаны закрываются, что обеспечивает при работе приточных вентиляторов активное вентилирование продукта рециркуляционным воздухом.

Днем и ночью в осеннее время, как правило, температура бывает различной. Днем температура наружного воздуха может превышать температуру массы или быть ей равной, и тогда продукт в хранилище вентилируется рециркуляционным воздухом. Ночью температура наружного воздуха понижается, становится ниже температуры массы продукта, и продукт вентилируется наружным воздухом.

Автоматические регуляторы температуры АРТ массы хранимого продукта управляют работой приточных вентиляторов в секциях хранилища. Их задача заключается в том, чтобы включать вентиляторы при повышении температуры массы продукта относительно заданной и их отключать, когда температура массы достигает заданного значения.

Причем работа АРТ согласуется с импульсами, которые вырабатывает электронный блок.

В соответствии с импульсами напряжения электронного блока поочередно работают распределители двухпозиционного и пропорционального регулирования восьми секций хранилища. Первые три импульса обеспечивают работу распределителей РД1 ДР и РД1 ПР первой секции хранилища, следующие три импульса – работу распределителей РД2 ДР и РД2 ПР второй

секции и т. д. В то же время каждый из трех очередных импульсов действует на определенное реле распределителя секции хранилища.

Работа одного АРТ массы продукта аналогична работе каждого из восьми терморегуляторов системы автоматизации. Поэтому достаточно рассмотреть принцип действия АРТ массы продукта, например, первой секции хранилища.

*Первый импульс* электронного блока приводит к срабатыванию реле KV1 распределителя РД1 ДР (рис. 14.4 и 14.6). Реле KV1 размножает электрический сигнал блока БЭ, поскольку оно имеет несколько замыкающих контактов.

Так, один из замыкающих контактов реле KV1 (на схеме не показан) подключает выход блока БИЗ1<sub>М</sub> к входу электронного реле РЭ1, т. е. осуществляется опрос блока БИЗ1<sub>М</sub>. Если температура массы хранимого продукта выше заданной, то в выходной цепи блока БИЗ1<sub>М</sub> появляется электрический сигнал, который подается распределителем РД1 ДР в электронное реле РЭ1.

При отклонении температуры относительно заданного значения, превышающего нечувствительность реле РЭ1, оно срабатывает. Электронное реле преобразует аналоговый сигнал в логический и передает его в блок электромагнитных реле БР1. Одно из реле блока БР1 (рис. 14.8) срабатывает, и его замыкающий контакт совместно с замыкающими контактами реле KV1 (рис. 14.6) распределителя РД1 ДР (на схеме контакты не показаны) подключают к источнику питания обмотки реле KV1 и KV2 блока управления (рис. 14.8). Реле KV1 и KV2 срабатывают и становятся на самоблокировку («Блок управления»).

Одновременно включается лампа НЛ10, которая сигнализирует о повышении температуры массы продукта относительно заданной.

При срабатывании KV2 в блоке БУ1 появляется управляющий сигнал в результате замыкания контакта реле (на схеме не показан), который находится в цепи управления электродвигателем привода приточного вентилятора (цепь управления на схеме не показана) и замыкает обмотку магнитного пускателя. Магнитный пускатель срабатывает и своими силовыми контактами включает приточный вентилятор первой секции хранилища.

Хранимый продукт активно вентилируется наружным воздухом и охлаждается, так как смесительный клапан в приточной шахте открыт в результате срабатывания регулятора РРТ. Снижение температуры массы продукта до заданного значения приводит к возврату автоматического регулятора температуры массы и отключению приточного вентилятора.

При срабатывании реле KV1 (рис. 14.6) его контакт KV1:2 включает реле KV4 распределителя пропорционального регулирования РД1 ПР. Реле KV4 одним своим замыкающим контактом (на схеме не показан) подключает выход блока БИЗ1<sub>КП</sub> к входу электронного реле РЭ1<sub>п</sub>, имеющего электрическую связь с блоком БР1<sub>п</sub>.

Температура воздуха в приточном канале пропорциональна температуре массы хранимого продукта и не достигает в осенний период значения, при котором возникает подмораживание продукта.

Блок БИЗ1<sub>КП</sub> устанавливается на значение температуры воздуха в приточном канале, при котором исключается подмораживание продукта наружным воздухом. Поэтому в выходной цепи блока БИЗ1<sub>КП</sub> электрический сигнал не достигает того значения, при котором автоматический регулятор вырабатывает управляющее воздействие  $u(t)$  на закрытие смесительного клапана.

*Второй импульс* БЭ приводит к срабатыванию реле KV2 (рис. 14.6) распределителя РД1 ДР. Реле KV2 своими контактами (на схеме не показаны) подключают выход блока БИЗ1 в (рис. 14.4) к входу РЭ1, а выход блока БР1 – к обмотке реле KV3 (рис. 14.8) блока управления.

Поскольку температура воздуха в верхней зоне секции хранилища в осенний период выше заданной, а блок БИЗ1<sub>В</sub> формирует выходной сигнал только при уменьшении температуры ниже заданной, то реле KV3 блока управления не срабатывает из-за отсутствия выходного сигнала в блоке БИЗ1<sub>В</sub>. Отсутствие выходного сигнала в БИЗ1<sub>В</sub> не приводит к срабатыванию РЭ1 и БР1, а также к запитыванию напряжением обмотки реле KV3 блока управления.

При срабатывании реле KV2 (рис. 14.6) распределителя РД1 ДР замыкается контакт KV2:2 и реле остается во включенном состоянии. Однако из-за отсутствия выходного сигнала в блоке БИЗ1<sub>КП</sub> заслонка смесительного клапана находится в том же положении (вертикальном).

Третий импульс БЭ приводит к срабатыванию реле KV3 (рис. 14.6) распределителя первой секции, и опрашивается блок БИЗ<sub>1к</sub> (рис. 14.4), который вырабатывает выходной сигнал только при уменьшении температуры воздуха в приточном канале ниже заданной.

Реле KV3 (рис. 14.6) подключает выход БИЗ<sub>1к</sub> к входу реле РЭ1, которое не срабатывает из-за отсутствия выходного сигнала в БИЗ<sub>1к</sub>, являющегося выходным сигналом реле РЭ1, и обмотка реле KV4 (рис. 14.8) блока управления не подключается к источнику питания. Следовательно, автоматический регулятор не вырабатывает управляющее воздействие  $u(t)$ .

При срабатывании реле KV3 (рис. 14.6) замыкается контакт KV3:1 и реле KV4 продолжает оставаться во включенном состоянии. Но положение заслонки смесительного клапана не изменяется.

Последующие импульсы напряжения БЭ поочередно включают в работу распределители двухпозиционного и пропорционального регулирования второй, третьей и т. д. секций хранилища, которые последовательно опрашивают блоки измерения и задания температуры массы продукта, а также воздуха в верхней зоне и приточном канале каждой секции. Один цикл опроса распределителями блоков БИЗ в восьми секциях хранилища соответствуют 24 импульсам БЭ.

Автоматические регуляторы САУ температурным режимом в остальных секциях работают аналогично первой секции.

Осенью возможны длительные периоды с температурой наружного воздуха, превышающей температуру массы хранимого продукта. Это создает условия невозможности использования наружного воздуха для охлаждения массы хранимого продукта. В такие периоды используются холодильные машины, расположенные в секциях хранилища, путем постановки переключателя SA (рис. 14.8) в положение 2.

При значительной температуре наружного воздуха регулятор РРТ находится в состоянии покоя и все его подвижные контакты занимают те положения, которые отображены на схемах рис. 14.5 и 14.7. В такие периоды отключаются приточные вентиляторы, закрываются смесительные клапаны и прекращается доступ наружного воздуха в приточные шахты хранилища.

Первый импульс БЭ при очередном цикле опроса блока БИЗ<sub>1м</sub> первой секции (рис. 14.4) формирует выходной сигнал. В результате включаются реле KV1 и KV2 блока управления (рис. 14.7). Это приводит к включению приточного вентилятора секции при помощи реле KV2 и запитыванию по цепи:  $-27\text{ В} - \text{PPT:3} - \text{SA} - \text{KV1:2} - \text{R5} - \text{обмотка KV5} - \text{VD2} - \text{потенциал «+»}$  реле KV5, которое срабатывает. Своим контактом (на схеме не показан), находящимся в цепи управления холодильной машины, реле KV5 включает ее в работу.

Хранимый продукт активно вентилируется рециркуляционным воздухом, который охлаждается холодильной машиной.

Возможны также периоды, когда днем температура наружного воздуха выше температуры массы хранимого продукта, а ночью – ниже. Тогда для обеспечения необходимой динамики снижения температуры массы продукта днем используются холодильные машины, а ночью – более холодный воздух. Для использования холодильных машин переключатель SA (рис. 14.8) ставится в положение 2, а для использования наружного воздуха – в положение 1, и регулятор РРТ открывает смесительные клапаны, а автоматические регуляторы температуры массы включают приточные вентиляторы.

**Технологический период «Хранение»** осуществляется в автоматическом режиме после перевода переключателя SA1 (рис. 14.5) в положение «X» и выключателя SA2 – в положение «Включено». Период «Хранение» соответствует в основном зимне-весеннему календарному времени и в отдельных случаях некоторой части летнего времени. Изменяющиеся погодные условия влияют на температурный режим в хранилище и определяют характер работы технических средств системы автоматизации.

Включается программное реле времени КТЗ, и подключаются к источникам питания общего блока при помощи реле KV1 технические средства, обеспечивающие заданный температурный режим во всех секциях хранилища. Одновременно работают электронный блок и распределители двухпозиционного и пропорционального регулирования.

Реле времени КТЗ, реализуя временную программу, включает и отключает в заданное время приточные вентиляторы во всех секциях хранилища.

Одновременно с реле времени КТЗ работают автоматические регуляторы температуры двухпозиционного и пропорционального регулирования системы автоматизации.

Работу автоматических регуляторов рассмотрим на примере САУ температурным режимом в первой секции хранилища.

На *первый импульс* БЭ при очередном цикле их следования распределитель РД1 ДР отвечает срабатыванием реле KV1 (рис. 14.6) и опросом блока БИЗ1<sub>М</sub> (рис. 14.4). При температуре массы продукта, превышающей заданную, выходной сигнал блока БИЗ1<sub>М</sub>, действуя на соответствующие элементы САУ, включает приточный вентилятор первой секции. Работа САУ температурным режимом в этом периоде соответствует технологическому периоду «Охлаждение».

При температуре массы продукта, соответствующей заданному значению или меньше его, в выходной цепи блока БИЗ1<sub>М</sub> сигнал отсутствует и не включается приточный вентилятор.

При срабатывании реле KV1 (рис. 14.6) замыкается контакт KV1:2 и срабатывает реле KV4 распределителя РД1ПР. Реле KV4 подключает своим контактом (на схеме не показан) выход блока БИЗ1<sub>КП</sub> ко входу РЭ1<sub>П</sub>.

Если температура в приточном канале ниже заданной, то блок БИЗ1<sub>КП</sub> выдает сигнал, который приводит к срабатыванию РЭ1<sub>КП</sub> и БР1<sub>П</sub>. Замыкающий контакт БР1<sub>П</sub>:1 (рис. 14.8) замыкается, а размыкающий контакт БР1<sub>П</sub>:2 размыкается. Срабатывание реле KV6 и возврат реле KV7 приводит к закрытию смесительного клапана. Наружный воздух не поступает в приточную шахту.

При *втором импульсе* БЭ срабатывает реле KV2 (рис. 14.6), которое подключает выход блока БИЗ1<sub>В</sub> (рис. 14.4) ко входу РЭ1, а выход блока БР1 – к обмотке реле KV3 (рис. 4.8) блока управления.

Уменьшение температуры в верхней зоне до значения ниже заданного приводит к появлению в выходной цепи блока БИЗ1<sub>В</sub> (рис. 14.4) сигнала. Срабатывают электронные реле РЭ1 и блок БР1 (рис. 14.7). В результате запитывается обмотка реле KV3 (рис. 14.8), реле срабатывает и своим контактом KV3:1 становится на самоблокировку. Другими своими контактами (на схеме не показаны) реле KV3 через ИМ1<sub>В</sub> и ИМ2<sub>В</sub> (рис. 14.4) включает рециркуляционно-отопительные агрегаты В и РО2<sub>В</sub> (на

рис. 14.3 ИМ1<sub>В</sub> и ИМ2<sub>В</sub> соответствуют поз. 12 и 13, а РО1<sub>В</sub> и РО2<sub>В</sub> – поз. 8 и 9).

Температура воздуха в верхней зоне повышается, и когда достигнет заданного значения, отключаются рециркуляционно-отопительные агрегаты. Это происходит из-за отсутствия сигнала в выходной цепи блока БИЗ1<sub>В</sub> при очередном его опросе.

При срабатывании реле KV2 (рис. 14.6) замыкается контакт KV2:2 и реле KV4 остается включенным. Если температура воздуха в приточном канале ниже заданной, то смесительный клапан в приточной шахте остается закрытым.

Если температура воздуха в приточном канале выше заданной, то в блоке БИЗ1<sub>КП</sub> (рис. 14.4) выходной сигнал отсутствует. Электронное реле РЭ1<sub>П</sub> и блок БР1<sub>П</sub> не срабатывают, контакт БР1<sub>П</sub>:1 разомкнут, а контакт БР1<sub>П</sub>:2 остается в замкнутом состоянии. Реле KV6 возвращается в исходное состояние, а реле KV7 срабатывает, что обеспечивает открытие смесительного клапана.

На *третий импульс* БЭ распределитель РД1 ДР (рис. 14.4) отвечает срабатыванием реле KV3 (рис. 14.6) и опросом блока БИЗ1<sub>К</sub> (рис. 14.4). Выход блока БИЗ1<sub>К</sub> подключается к входу электронного реле РЭ1.

При температуре воздуха в канале, превышающей заданную, в блоке БИЗ1<sub>К</sub> не появляется выходной сигнал. Это означает, что продукту не угрожает подмораживание и приточный вентилятор в первой секции может работать, включенный, например, реле КТЗ (рис. 14.5) или терморегулятором с блоком БИЗ1<sub>М</sub> (рис. 14.4).

Если температура воздуха в канале ниже заданного значения, то в выходной цепи блока БИЗ1<sub>К</sub> появляется выходной сигнал. Он обеспечивает срабатывание элементов РЭ1, БР1, что приводит к запитыванию обмотки реле KV4 (рис. 14.8) блока управления.

Реле KV4 своим контактом KV4:1 становится на самоблокировку, и лампа НЛ8 сигнализирует о снижении температуры воздуха в канале, ниже заданной. Одновременно другим своим контактом (на схеме не показан) реле KV4 размыкает цепь управления электродвигателем 1 (рис. 14.3), который является ИМ1<sub>К</sub> (рис. 14.4). Приточный вентилятор останавливается.

Срабатывание реле KV3 (рис. 14.6) приводит также к замыканию контакта KV3:1 и реле KV4 остается включенным. Реле

KV4 опрашивает блок БИЗ1<sub>кп</sub> (рис. 14.4) и подключает его к входу РЭ1<sub>п</sub>.

При температуре воздуха в приточном канале, выше заданной, в выходной цепи блока БИЗ1<sub>кп</sub> не появляется сигнал и смесительный клапан остается открытым.

Если температура воздуха в канале меньше заданной, что угрожает подмораживанием продукта, то в выходной цепи блока БИЗ1<sub>кп</sub> появляется сигнал. Срабатывают реле РЭ1<sub>п</sub> и блок БР1<sub>п</sub>. Контакт БР1<sub>п</sub>:1 замыкается, а контакт БР1<sub>п</sub>:2 размыкается, что приводит к закрытию смесительного клапана.

Температурный режим в остальных секциях хранилища обеспечивается аналогичным образом.

Обогрев шкафа управления осуществляется в автоматическом режиме. При снижении температуры окружающего воздуха до 10 °С контакт ВК (рис. 14.5) ИП температуры замыкается, срабатывает реле KV3, которое своими контактами (на схеме не показаны) включает электронагревательные элементы. Повышение температуры до 20 °С приводит к размыканию контакта ВК и отключению нагревательных элементов.

Система автоматизации предусматривает ручное управление температурным режимом в хранилище при помощи кнопочных выключателей.

С наступлением холодов возникает опасность обмерзания смесительных клапанов, что приводит к отказам в их работе. Обмерзание устраняется при помощи электроподогревателей 4 (рис. 14.3).

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Охарактеризуйте особенности хранения сельскохозяйственной продукции.
2. Объясните устройство и принцип действия системы автоматизации на основе комплекта ОРТХ.
3. Раскройте устройство и принцип действия технических средств автоматизации комплекса «Среда-1».
4. Объясните содержание функциональной и структурной схем системы автоматизации на основе комплекта «Среда-1».
5. Объясните принцип действия системы автоматизации на основе комплекта «Среда-1».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бородин И. Ф., Кирилин Н. И. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. – М.: Колос, 1977.
2. Бородин И. Ф. Технические средства автоматизации. – М.: Колос, 1982.
3. Бородин И. Ф., Неделько Н. М. Автоматизация технологических процессов. – М.: Агропромиздат, 1986.
4. Бохан Н. И., Назгорский И. С. Автоматизация механизированных процессов в растениеводстве. – М.: Колос, 1982.
5. Бохан Н. И., Фурунжиев Р. И. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – Мн.: Ураджай, 1987.
6. Бохан Н. И., Бородин И. Ф. и др. Средства автоматики и телемеханики. – М.: Агропромиздат, 1992.
7. Галкин В. И. Промышленная электроника. – Мн.: Вышэйш. шк., 1989.
8. Гельфенбейн С. П., Волчанов В. Л. Электроника и автоматика в мобильных сельхозмашинах. – М.: Агропромиздат, 1987.
9. Головинский О. И. Основы автоматики. – М.: Высш. шк., 1987.
10. Гриб В. К. и др. Механизация животноводства. – Мн.: Ураджай, 1997.
11. Дайнеко В. А., Крутов А. В. Применение электрической энергии в сельском хозяйстве. – Мн.: Ураджай, 2001.
12. Иофинов С. А., Коллар Л., Оберлэндер П. и др. Автоматизация в растениеводстве. – М.: Агропромиздат, 1992.
13. Ключев А. С. и др. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
14. Колесов А. В. Основы автоматики. – М.: Колос, 1987.
15. Конгур В. В. и др. Автоматизация сельскохозяйственного производства. – Киев: Урожай, 1988.
16. Кудрявцев И. Ф., Карасев О. Б., Матюшина Л. Н. Автоматизация производственных процессов на животноводческих фермах и комплексах. – М.: Агропромиздат, 1985.
17. Мартыненко И. И. и др. Автоматика и автоматизация производственных процессов. – М.: Агропромиздат, 1985.
18. Мартыненко И. И., Поддубный А. П. Основы автоматики и микропроцессорной техники. – Киев: Выща шк., 1988.
19. Манькин А. Н., Булыга И. Ф. Автоматизация процессов водоснабжения в сельском хозяйстве. – Мн.: Ураджай, 1986.
20. Советский энциклопедический словарь / Гл. ред. А. М. Прохоров. – М.: Советская энциклопедия, 1982.
21. Ревин Ю. Г., Костенко Ю. В. Основы автоматизации производственных процессов. – М.: Агропромиздат, 1991.
22. Рысс А. А., Гурвич Л. И. Автоматическое управление температурным режимом в теплицах. – М.: Агропромиздат, 1986.
23. Шавров А. В., Коломиец А. П. Автоматика. – М.: Колос, 2000.

## УСЛОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

АВМ – аналоговая вычислительная машина.  
АЛУ – арифметико-логическое устройство.  
АПК – агропромышленный комплекс.  
АР – автоматический регулятор.  
АСУ – автоматизированная система управления.  
АСУП – автоматизированная система управления предприятием.  
АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом.  
АЦП – аналого-цифровой преобразователь.  
БЗУ – буферное запоминающее устройство.  
БИЗ – блок измерения и задания.  
БИС – большая интегральная схема.  
БР – блок электромагнитных реле.  
БРП – блок регулирующего прибора.  
БУ – блок управления.  
БЭ – электронный блок.  
ВЗУ – внешнее запоминающее устройство.  
ВС – вычислительная система.  
Вых. П – выходной преобразователь.  
ГСП – государственная система промышленных приборов и средств автоматизации.  
ГЭД – гановский электронный домен.  
ДЦП – дискретно-цифровой преобразователь.  
ЗЭ – задающий элемент.  
ЗУ – запоминающее устройство.  
ЗК – чертежи закладных конструкций.  
И – основная логическая операция умножения (конъюнкция).  
И-алгоритм – интегральный алгоритм.  
И-регулятор – интегральный регулятор.  
ИЛИ – основная операция логического сложения (дизъюнкция).  
ИМ – исполнительный механизм.  
ИМС – интегральная микросхема.  
ИП – измерительный преобразователь.  
КМДП – комплементарная МДП-структура.  
КЭ – корректирующий элемент.  
ЛЭ – логический элемент.  
МДП – структура металл – диэлектрик – полупроводник.  
МИС – машиноиспытательная станция.  
МК – микроконтроллер.

МОП – структура металл – оксид – полупроводник.  
МЭТ – многозмиттерный транзистор.  
НЕ – основная операция логического отрицания (инверсия).  
ОА – объект автоматизации.  
ОАСУ – автоматизированная система управления отраслью.  
ОБ – общий блок.  
ОВ – обмотка возбуждения.  
ОЗУ – оперативное запоминающее устройство.  
ОК – общий коллектор.  
ОР – объект регулирования.  
ОРТХ – оборудование регулирования температуры хранилищ.  
ОС – обратная связь.  
ОУ – объект управления.  
ОУ – операционный усилитель.  
П-алгоритм – пропорциональный алгоритм.  
П-регулятор – пропорциональный регулятор.  
ПЗС – прибор с зарядовой связью.  
ПЗУ – постоянное запоминающее устройство.  
ПИ-алгоритм – пропорционально-интегральный алгоритм.  
ПИД-алгоритм – пропорционально-интегрально-дифференциальный алгоритм.  
ПИД-регулятор – пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор.  
ППВ – подогреватель поливной воды.  
ПУ – программа управления.  
РД ДР – распределитель двухпозиционного регулирования.  
РД ПР – распределитель пропорционального регулирования.  
РО – регулирующий орган.  
РЭ – электронное реле.  
САЗ – система автоматической защиты.  
САК – система автоматического контроля.  
САР – система автоматического регулирования.  
САС – система автоматической сигнализации.  
САУ – система автоматического управления.  
СИФУ – система импульсно-фазового управления.  
СОЗУ – сверхоперативное запоминающее устройство.  
СТАУ – современная теория автоматического управления.  
СЭ – сравнивающий элемент.  
СХП – сельскохозяйственное производство.  
ТК – чертежи типовых конструкций.  
ТМ – типовые монтажные чертежи.  
ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь.

ЦВМ – цифровая вычислительная машина.  
 ЦДП – цифро-дискретный преобразователь.  
 ЦМД – цилиндрический магнитный домен.  
 ША – шина адреса.  
 ШУ – шкаф управления.  
 ШУМ – местный шкаф управления.  
 УВВ – устройство ввода-вывода.  
 УВК – управляющий вычислительный комплекс.  
 УО – усилительный орган.  
 УУ – управляющее устройство.  
 ЭВМ – электронно-вычислительная машина.  
 ЭДС – электродвижущая сила.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	3
1. Предмет и задачи курса .....	3
2. Особенности автоматизации сельскохозяйственного производства, состояние и перспективы развития .....	7
<b>Раздел I. ПОНЯТИЕ И СОДЕРЖАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ</b> .....	11
<b>Глава 1. Краткое описание объектов управления</b> .....	11
1.1. Общие сведения об объектах .....	11
1.2. Свойства объектов управления .....	13
1.3. Статический режим объектов управления .....	30
1.4. Динамический режим объектов управления .....	35
Контрольные вопросы и задания .....	39
Исходные данные для выполнения заданий 1 и 2 .....	39
<b>Глава 2. Общие сведения о системах автоматизации</b> .....	40
2.1. Основные виды систем автоматизации .....	40
2.2. Понятие системы автоматизации и ее структура .....	43
2.3. Обратные связи .....	48
2.4. Схемы систем автоматизации .....	56
2.5. Принципы управления .....	70
2.6. Типовые алгоритмы управления и регуляторы .....	79
2.7. Устойчивость и качество работы систем автоматизации .....	86
Контрольные вопросы и задания .....	88
<b>Глава 3. Информационно-измерительные элементы</b> .....	89
3.1. Основные понятия ГСП .....	89
3.2. Общая характеристика измерительных преобразователей .....	90
3.3. Механические измерительные преобразователи .....	95
3.4. Электромеханические измерительные преобразователи .....	99
3.5. Тепловые измерительные преобразователи .....	114
Контрольные вопросы и задания .....	120
3.6. Сравнивающие устройства .....	121
3.6.1. Назначение и классификация сравнивающих устройств .....	121
3.6.2. Виды сравнивающих устройств .....	122
Контрольные вопросы и задания .....	126
3.7. Задающие устройства .....	126
Контрольные вопросы и задания .....	128
<b>Глава 4. Управляющие и корректирующие элементы</b> .....	129
4.1. Общие сведения об усилителях и их классификация .....	130
4.2. Усилители на транзисторах .....	132
4.3. Тиристорные усилители .....	135
4.4. Операционные усилители .....	139
Контрольные вопросы и задания .....	143
<b>Глава 5. Логические элементы и устройства</b> .....	144
5.1. Общие сведения .....	144
5.2. Основные положения алгебры логики .....	146

5.3. Базовые логические элементы .....	150
5.4. Триггерные структуры .....	156
5.5. Цифровые микрoeлектронные устройства .....	160
5.5.1. Регистры .....	161
5.5.2. Счетчики импульсов .....	164
5.5.3. Шифраторы, дешифраторы и распределители .....	166
5.5.4. Аналого-цифровые и цифроаналоговые устройства .....	168
Контрольные вопросы и задания .....	169
<b>Глава 6. Исполнительные механизмы .....</b>	<b>170</b>
6.1. Назначение и требования к исполнительным механизмам .....	170
6.2. Электромагнитные исполнительные механизмы .....	172
6.3. Электродвигательные исполнительные механизмы .....	178
6.4. Гидравлические и пневматические исполнительные механизмы .....	179
Контрольные вопросы и задания .....	181
<b>Глава 7. Регулирующие органы .....</b>	<b>182</b>
7.1. Общие сведения о регулирующих органах .....	182
7.2. Регулирующие органы для твердых веществ .....	183
7.3. Регулирующие органы для жидких и газообразных веществ .....	183
7.4. Регулирующие органы для энергетических потоков .....	187
Контрольные вопросы и задания .....	188
<b>Глава 8. Управляющие микропроцессоры и микроконтроллеры ..</b>	<b>189</b>
8.1. Общие сведения о микропроцессорах .....	189
8.2. Структура микропроцессора .....	191
8.3. Запоминающие устройства .....	194
8.4. Микропроцессоры в системах управления объектами .....	199
8.5. Некоторые примеры применения микропроцессоров в систе- мах автоматизации .....	206
Контрольные вопросы и задания .....	209
<b>Раздел II. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙ-</b> <b>СТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА .....</b>	<b>210</b>
<b>Глава 9. Автоматизация процессов приготовления и раздачи кормов</b> <b>9.1. Общие сведения .....</b>	<b>210</b>
9.2. Система автоматизации дробилок ДБ-5 и ДКМ-5 .....	212
9.3. Автоматизация раздачи кормов на фермах крупного рогатого скота .....	219
9.4. Автоматизация раздачи кормов на свиноводческих фермах .....	224
Контрольные вопросы и задания .....	229
<b>Глава 10. Автоматизация процессов доения и первичной обработ-</b> <b>ки молока .....</b>	<b>230</b>
10.1. Общие сведения .....	230
10.2. Система автоматизации пастеризационно-охладительной ус- тановки ОПФ-1-300 .....	232
Контрольные вопросы и задания .....	242
<b>Глава 11. Автоматизация оборудования для создания микрокли-</b> <b>мата .....</b>	<b>243</b>
11.1. Общие сведения .....	243

11.2. Устройство системы автоматизации теплогенераторов типа ТГ ..	243
11.3. Принцип действия системы автоматизации теплогенераторов типа ТП .....	247
11.4. Подготовка и настройка системы автоматизации .....	254
Контрольные вопросы и задания .....	256
<b>Глава 12. Автоматизация уборки навоза .....</b>	<b>257</b>
12.1. Уборка навоза с точки зрения автоматизации .....	257
12.2. Система автоматизации для удаления навоза .....	259
Контрольные вопросы и задания .....	262
<b>Глава 13. Автоматизация технологических процессов в защищен-</b> <b>ном грунте .....</b>	<b>263</b>
13.1. Общие сведения .....	263
13.2. Автоматизация обогрева парников .....	266
13.3. Автоматизация ангарных теплиц .....	275
13.3.1. Общие сведения .....	275
13.3.2. Система автоматического управления температурой в теплице .....	278
13.3.2.1. Устройство системы автоматизации .....	278
13.3.2.2. Рабочий процесс системы автоматизации .....	282
13.3.3. Автоматическое управление поливом и увлажнением ..	293
13.3.4. Автоматическое управление концентрацией растворов минеральных удобрений .....	299
13.3.5. Автоматическое управление подкормкой углекислым газом и досвечиванием растений .....	303
Контрольные вопросы и задания .....	308
<b>Глава 14. Автоматизация хранилищ сельскохозяйственной про-</b> <b>дукции .....</b>	<b>309</b>
14.1. Характерные особенности хранения сельскохозяйственной продукции .....	309
14.2. Автоматизация хранилищ на основе комплектного оборудо- вания ОРТХ .....	313
14.3. Автоматизация хранилищ на основе комплекса «Среда-1» ...	326
14.3.1. Общие сведения о системе автоматизации .....	326
14.3.2. Устройство и принцип действия элементов и узлов сис- темы автоматизации .....	331
14.3.3. Рабочий процесс системы автоматизации .....	344
Контрольные вопросы и задания .....	354
<b>Литература .....</b>	<b>355</b>
<b>Условные сокращения .....</b>	<b>356</b>

*Учебное издание*

**РАДЧЕНКО Григорий Егорович**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ  
ТЕХНИКИ**

*Учебное пособие*

Ответственный за выпуск *А. П. Аношко*

Корректор *Н. Ф. Крицкая*

Технический редактор *Л. П. Сокол*

Подписано в печать 24.06.2004.

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Уч.-изд. л. 21,5. Усл. печ. л. 21,04. Тираж 500 экз. Заказ 113.

Издательство УП «Технопринт». Лицензия № 02330 / 0056932 от 30.04.04.

Отпечатано в типографии УП «Технопринт».

Лицензия № 02330 / 0133109 от 30.04.04.

220027, Минск, пр-т Ф. Скорины, 65, корп. 14, оф. 205а,  
тел. / факс. 231-86-93.

и среды обитания человека — путем сохранения, спасения и  
ия элементов культуры как целостной системы.  
овательно, в рамках программ культурного развития  
ющей должна стать ориентация на сохранение (ценностей,  
форм жизнедеятельности и т.д.), т.е. на воспроизводство культуры  
тной и органичной системы, включающей на равных прошлое,  
и будущее.

