



М.С. Волковой

# АВТОМАТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

---

**М.С. Волковой**

**АВТОМАТИКА  
И АВТОМАТИЗАЦИЯ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

---

---

**2012**

УДК 69:658.5.011.56 (075.8)  
В67

Рецензенты:

заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика»  
доктор технических наук, профессор *А.А. Южаков*  
(Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет);  
генеральный директор ОАО «Институт Пермгипромашпром»  
кандидат технических наук, доцент *В.В. Белоусов*  
(ОАО «Институт Пермгипромашпром», г. Пермь)

**Волковой, М.С.**

В67      Автоматика и автоматизация производственных процессов : учеб.  
пособие / М.С. Волковой. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. поли-  
техн. ун-та, 2012. – 145 с.

ISBN 978-5-398-00886-9

Изложены сведения об элементной базе и построении систем автома-  
тического и автоматизированного управления технологическими и производст-  
венными процессами применительно к производству строительных материалов и  
конструкций.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки  
270800 «Строительство».

УДК 69:658.5.011.56 (075.8)

ISBN 978-5-398-00886-9

© ПНИПУ, 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>1. КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....</b>	<b>7</b>
1.1. Системы автоматического контроля и сигнализации.....	7
1.2. Системы дистанционного управления и телеуправления.....	8
1.3. Системы автоматического регулирования, управления и защиты..	8
Контрольные вопросы.....	10
<b>2. ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....</b>	<b>12</b>
2.1. Датчики технологических параметров.....	12
2.1.1. Параметры датчиков.....	12
2.1.2. Резистивные датчики.....	14
2.1.3. Индуктивные датчики.....	20
2.1.4. Трансформаторные датчики.....	24
2.1.5. Емкостные датчики.....	25
2.1.6. Пьезоэлектрические датчики.....	27
2.1.7. Индукционные датчики.....	28
2.1.8. Частотные датчики.....	30
2.1.9. Цифровые датчики.....	31
2.2. Реле.....	33
2.2.1. Нейтральное электромагнитное реле постоянного тока.....	33
2.2.2. Поляризованное электромагнитное реле.....	35
2.2.3. Электромагнитное реле переменного тока.....	36
2.2.4. Герконовое реле.....	37
2.2.5. Биметаллическое тепловое реле.....	37
2.2.6. Обозначение реле на схемах.....	38
2.2.7. Основные релейно-контактные схемы.....	39
2.2.8. Реле времени.....	40
2.3. Усилители.....	43
2.3.1. Электрические усилители.....	43
2.3.2. Гидравлические усилители.....	47
2.3.3. Пневматические усилители.....	49
2.4. Исполнительные механизмы.....	50
2.5. Регулирующие органы.....	54
Контрольные вопросы.....	55
<b>3. ПОСТРОЕНИЕ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ.....</b>	<b>57</b>
3.1. Структурная схема.....	57
3.2. Функциональная схема автоматизации.....	57
3.3. Принципиальная электрическая схема.....	66
Контрольные вопросы.....	66

<b>4. АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ.....</b>	<b>68</b>
4.1. Измерение температуры.....	68
4.2. Измерение давления и разряжения.....	74
4.3. Измерение расхода.....	78
4.4. Измерение уровня.....	84
4.5. Измерение параметров веществ.....	88
Контрольные вопросы.....	90
<b>5. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ.....</b>	<b>92</b>
5.1. Виды систем автоматического регулирования.....	92
5.2. Свойства объектов регулирования.....	95
5.3. Законы регулирования.....	98
5.4. Программируемые логические контроллеры.....	99
5.5. Автоматизированные системы управления технологическими процессами.....	101
Контрольные вопросы.....	104
<b>6. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ.....</b>	<b>105</b>
6.1. Схемы управления электродвигателями.....	105
6.2. Автоматизация склада заполнителей бетона.....	109
6.3. Управление поточно-транспортной системой.....	113
6.4. Автоматизация процессов дозирования и взвешивания.....	116
6.5. Автоматизация процессов смешивания.....	120
6.6. Автоматизация нагрева арматурных стержней.....	123
6.7. Автоматизация процесса уплотнения бетонной смеси центрифугированием.....	125
6.8. Автоматизация процесса тепловлажностной обработки бетонных изделий.....	126
Контрольные вопросы.....	130
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>131</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....</b>	<b>133</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....</b>	<b>137</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....</b>	<b>138</b>

## ВВЕДЕНИЕ

*Автоматика* – это отрасль науки и техники, охватывающая теорию и способы реализации систем управления техническими объектами и процессами, действующими без участия человека.

*Автоматизация* – это комплекс технических мероприятий, частично или полностью исключающих участие людей в управлении технологическим объектом или процессом.

В строительном производстве могут автоматизироваться следующие технологические процессы:

а) складирование сырья, материалов, жидких или газообразных сред, готовой продукции. Объектами автоматизации являются бункеры, силосы, резервуары, конвейеры;

б) транспортирование сырья, жидких и газообразных сред, готовой продукции. Объектами автоматизации могут быть конвейеры, трубопроводы, насосы, запорная арматура;

в) получение энергии и ее распределение. Объекты автоматизации: котлы, теплообменники, компрессоры, трубопроводы, ресиверы;

г) дробление и сортировка материала. Автоматизируются дробилки и грохоты;

д) дозирование материалов и приготовление смесей; объекты: дозаторы, смесители;

е) тепловая обработка изделий и материалов. Автоматизации подлежат камеры тепловлажностной обработки, автоклавы, сушильные камеры, печи;

ж) сварка изделий и арматуры. Автоматизируются сварочные машины, аппараты, сварочные линии;

з) формование изделий – автоматизируются формовочные машины;

и) контроль качества и свойств материалов и изделий;

к) учет производительности землеройных и транспортных машин;

л) вентиляция и кондиционирование воздуха.

Результатами применения средств автоматизации являются:

- повышение производительности;
- улучшение качества продукции;
- обеспечение бесперебойной работы;
- снижение затрат;
- улучшение условий труда персонала.

По *степени автоматизации* различают частичную, комплексную и полную автоматизацию.

*Частичная автоматизация* охватывает отдельные технологические процессы и установки, не имеющие связей с другими процессами и установками в смысле автоматизации. Частичная автоматизация облегчает

труд человека, но не позволяет использовать все преимущества автоматизации.

*Комплексная автоматизация* характеризуется тем, что все технологические процессы и установки автоматизируются с применением соответствующих технических средств, объединяемых общей системой управления. Функции человека сводятся к наблюдению за ходом процесса, его анализу и изменению режима работы автоматических устройств с целью достижения наилучших технико-экономических показателей.

*Полная автоматизация* отличается от комплексной тем, что функции анализа и оптимизации режимов работы системы выполняют специальные автоматические устройства, например ЭВМ. За обслуживающим персоналом остаются функции периодического осмотра и профилактического ремонта.

*Объем автоматизации* определяется числом операций, процессов и устройств, управление которыми осуществляется с помощью средств автоматизации.

*Уровень автоматизации* определяется степенью совершенства технических средств, используемых для автоматизации.

Степень автоматизации, ее объем и уровень выбираются для каждого объекта с обоснованием технико-экономической эффективности и возможности устранения тяжелых и вредных условий труда обслуживающего персонала.

Обычно автоматизируются следующие процессы и устройства:

- основные технологические процессы;
- устройства, обеспечивающие локализацию аварий;
- устройства измерения и регистрации;
- вспомогательные процессы, обеспечивающие работу без обслуживающего персонала.

## 1. КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Для общего представления автоматических систем используют структурные схемы. Структурная схема определяет основные функциональные части системы, их назначение и взаимосвязи. На таких схемах элементы системы изображают в виде прямоугольников, связи между элементами обозначают линиями со стрелками. Стрелки указывают направление передачи информации.

Далее будут рассмотрены основные виды систем автоматики, классифицированные по функциональному назначению.

### 1.1. Системы автоматического контроля и сигнализации

Система *автоматического контроля* предназначена для измерения и регистрации параметров технологического процесса, имеет структуру, приведенную на рис. 1.1, и состоит из объекта, датчика, измерительного устройства и указателя.

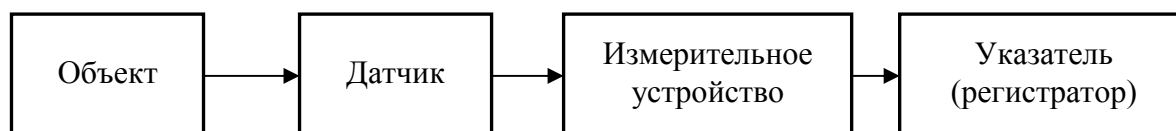


Рис. 1.1. Структурная схема системы автоматического контроля

В качестве *объекта* может рассматриваться любая технологическая установка: котел, насос и т.п. Состояние объекта в данной системе характеризуется величиной контролируемого параметра (температура, давление и т.д.).

*Датчик* – это чувствительный элемент, воспринимающий определенный физический фактор, например температуру, и преобразующий его в сигнал, удобный для дальнейшего использования. Например, термопара является датчиком температуры, она преобразует разность температур в электрический сигнал (ЭДС термопары пропорциональна разности температур).

*Измерительное устройство* содержит измерительные цепи, усилитель, источники питания и служит для усиления и преобразования сигнала.

*Указатель* (регистратор) выполняет функции визуальной индикации (регистрации) величины контролируемого параметра. Объединенные в одной конструкции измерительное устройство и указатель (регистратор) называются вторичным прибором, тогда датчик называется первичным преобразователем.

Пример системы автоматического контроля – система для измерения температуры в печи. Датчик температуры расположен непосредственно в печи, а вторичный прибор – на пульте управления и контроля.



Система *автоматической сигнализации* имеет аналогичную структуру, но вместо указателя применяется элемент сигнализации (лампочка, звонок, сирена). Назначение системы – извещение персонала о выходе значения технологического параметра за границы установленного диапазона.

## 1.2. Системы дистанционного управления и телеуправления

Система *дистанционного управления* предназначена для дистанционного воздействия на объект, например, включение-отключение, открывание-закрывание. Структурная схема системы дистанционного управления показана на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Структурная схема системы дистанционного управления

В состав системы входят орган управления, исполнительный механизм, регулирующий орган, объект. В отличие от системы автоматического контроля, где сигнал передается от объекта к оператору, в данной системе направление передачи сигнала обратное – от оператора к объекту.

*Органами управления* обычно являются кнопка, ключ или другое подобное устройство. Сигнал от органа управления поступает на *исполнительный механизм* (электромагнит, электродвигатель и т.п.), который взаимодействует с *регулирующим органом* (клапан, вентиль и т.п.) и осуществляет воздействие на процессы, происходящие на объекте.

Примером дистанционного управления является управление включением и выключением электродвигателя с пульта управления, расположенного на удалении от двигателя.

Система *телеуправления* отличается тем, что по одной линии связи (или каналу связи) может передаваться большое число команд управления. Пример – система управления телевизором, в который по одному каналу (оптическому каналу в инфракрасном диапазоне) с пульта управления передается много команд управления функциями телевизора.

Системы автоматического контроля, сигнализации и дистанционного управления относятся к разомкнутым системам, в них сигналы передаются лишь в одном направлении: либо от объекта, либо к объекту.

## 1.3. Системы автоматического регулирования, управления и защиты

Структурная схема *системы автоматического регулирования* (САР) представлена на рис. 1.3.

САР имеет замкнутую структуру, характеризующуюся как прямым (к объекту), так и обратным (от объекта) направлениями передачи сигналов. Помимо рассмотренных ранее, данная схема содержит ряд новых устройств.

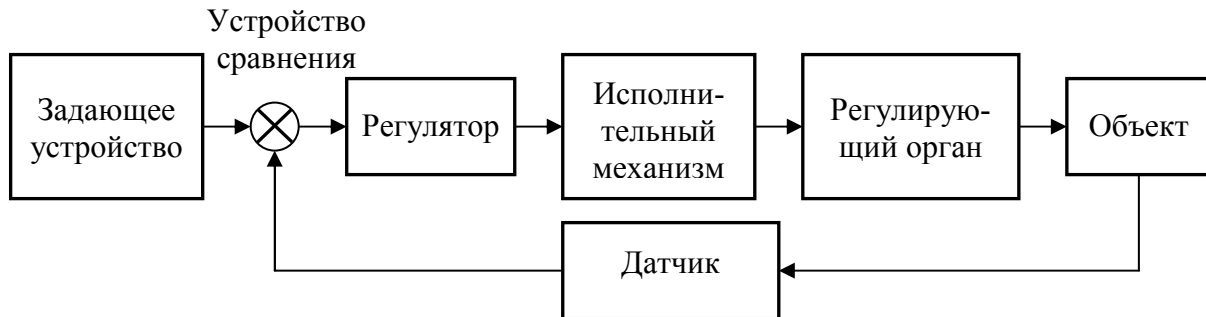


Рис. 1.3. Структурная схема системы автоматического регулирования

*Задающее устройство* формирует сигнал-задание, который в устройстве сравнения сравнивается с сигналом, поступающим от датчика. В случае, если сигнал-задание и сигнал от датчика не равны между собой, устройство сравнения вырабатывает сигнал рассогласования, поступающий на регулятор.

*Регулятор* под действием сигнала рассогласования по заранее заданному закону формирует сигнал управления, который через исполнительный механизм и регулирующий орган воздействует на объект с целью изменения регулируемого параметра в соответствии с заданием.

По виду регулируемого параметра различают САР температуры, давления, уровня и т.д. По принципу действия выделяют САР непрерывного, релейного и импульсного действия. По характеру задания бывают стабилизирующие, программные, следящие САР. По виду используемой энергии в регуляторе и исполнительном механизме различают САР электрические, гидравлические, пневматические и т.д.

Простейшая система автоматического регулирования (стабилизации) уровня воды в резервуаре представлена на рис. 1.4. Система состоит из резервуара 1, в который из одной трубы вода вливается, а из другой выливается. На поверхности воды плавает поплавок 2, связанный при помощи стержня 3 и рычага 4 с клапаном 5. Назначение системы – поддержание заданного уровня воды  $L$ . Система работает следующим образом. Уровень воды остается постоянным, если приток равен потреблению. Допустим, что потребление увеличилось. Тогда уровень воды понизится, поплавок переместится вниз, и вместе с ним опустится правое плечо рычага. Левое же плечо рычага переместится вверх и приоткроет клапан ровно настолько, чтобы восстановить равенство притока и потребления воды.

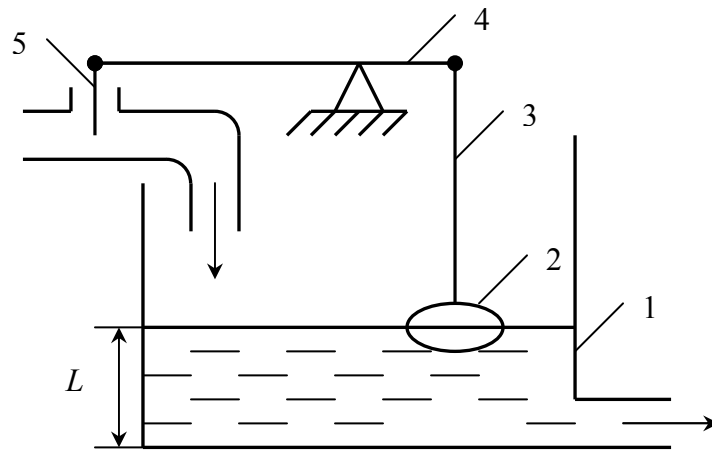


Рис. 1.4. САР уровня воды в резервуаре

Установим соответствие между реализацией САР (см. рис. 1.4) и структурной схемой (см. рис. 1.3). Очевидно, что объектом является резервуар, а регулируемым параметром – уровень  $L$ . Регулирующим органом является клапан, изменяющий приток воды. Датчиком является поплавок, он преобразует изменение уровня в перемещение стержня. Функции регулятора и исполнительного механизма выполняет рычаг, воздействующий на исполнительный орган – клапан. Функции задающего устройства выполняет стержень, связывающий поплавок с рычагом. Изменяя длину стержня, можно задавать положение поплавка, а следовательно, и уровень, при котором выполняется условие равенства притока воды потреблению.

Системы *логики-программного управления*, как и САР, имеют замкнутую структуру. Назначение системы заключается в выполнении программы изменения состояния объекта в соответствии с заданной последовательностью рабочих операций. При этом переход от одной операции к другой может логически увязываться с состоянием объекта.

Системы *защиты и блокировки* предназначены для предотвращения нештатных и аварийных ситуаций на объекте. Система аварийной защиты отключает агрегат при возникновении аварийной ситуации. Запретно-разрешающая блокировка устраняет возможность неправильных или несвоевременных включений и отключений устройств и механизмов.

### Контрольные вопросы

1. Что такое автоматика?
2. В чем заключается автоматизация производственных процессов?
3. Какие технологические процессы могут быть автоматизированы в строительном производстве?
4. В чем заключается частичная, комплексная и полная автоматизация?

5. Изобразите структурную схему системы автоматического контроля.
6. Изобразите структурную схему системы автоматической сигнализации.
7. Изобразите структурную схему системы дистанционного управления.
8. Чем отличается система телеуправления?
9. Изобразите структурную схему системы автоматического регулирования.
10. Приведите пример системы автоматической стабилизации уровня.
11. Каково назначение систем логико-программного управления?
12. В чем заключаются функции автоматических систем защиты и блокировки?

## 2. ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

### 2.1. Датчики технологических параметров

*Датчики (измерительные преобразователи)* технологических параметров предназначены для преобразования текущих значений контролируемых физических величин в сигналы информации. В технической литературе понятия «датчик» и «измерительный преобразователь» часто не различают. Хотя с функциональной точки зрения эти понятия совпадают, в конструкторской практике датчиком называется первичный измерительный преобразователь (или несколько взаимодействующих измерительных преобразователей), заключенный(ые) в корпус и устанавливаемый(ые) на объекте. Наибольшее распространение получили датчики с электрическими выходными сигналами.

Датчики подразделяются на аналоговые, цифровые и частотные. Выходным сигналом *аналоговых* датчиков является электрическая величина, принимающая бесконечное множество значений (непрерывная величина), например, напряжение, сопротивление и т.д. Аналоговые датчики бывают параметрическими и генераторными. К *параметрическим* относятся такие датчики, у которых изменение входной величины вызывает изменение параметра электрической цепи: электрического сопротивления, индуктивности, взаимной индуктивности или емкости. Они соответственно носят название: резистивные, индуктивные, трансформаторные, емкостные. Параметрические датчики являются пассивными, они получают питание от внешнего источника энергии.

*Генераторные* датчики преобразуют энергию входного сигнала (силы, давления, температуры и т.д.) в электрический выходной сигнал (напряжение или ток). К генераторным датчикам относятся индукционные, пьезоэлектрические, термоэлектрические, фотоэлектрические и др.

Выходным сигналом *цифровых* датчиков является код. Эти датчики называют дискретными, так как их выходной сигнал может принимать ограниченное число разрешенных значений.

В *частотных* датчиках в качестве информативного параметра выходного сигнала используется частота электрических колебаний или импульсов.

#### 2.1.1. Параметры датчиков

*Входная величина* – физическая величина, на которую датчик должен реагировать. Прочие физические величины, действующие на датчик, являются помехами.

*Выходная величина* – сигнал на выходе датчика. Различают датчики с естественным выходным сигналом (электрическое сопротивление, емкость, напряжение или ток произвольной величины и т.п.) и датчики с

унифицированным выходным сигналом. Согласно Государственной системе промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП) принят ряд унифицированных выходных сигналов. Из них наиболее часто употребляемыми являются сигналы постоянного тока, изменяющегося в пределах от 0 до 5 мА или от 4 до 20 мА, или постоянного напряжения от 0 до 10 В.

*Функция преобразования* показывает зависимость выходной величины от входной. Она может быть задана аналитически в виде формулы  $y=f(x)$ , в форме таблицы или графика. Графическое представление функции преобразования называется статической характеристикой (рис. 2.1).

*Чувствительность* (коэффициент преобразования) определяется отношением приращения выходной величины к вызвавшему это приращение изменению входной величины:  $S = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$ .

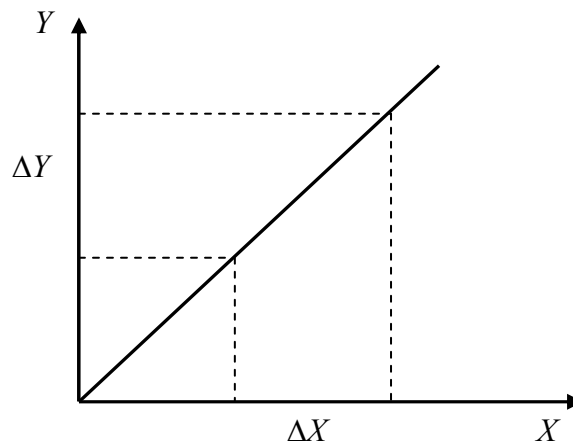


Рис. 2.1. Статическая характеристика

*Порог чувствительности* – это минимальное изменение входной величины, начиная с которого, может осуществляться ее измерение данным прибором.

*Диапазон преобразования* – область значений величины, в пределах которой нормированы допускаемые погрешности датчика. Эта область ограничена нижним и верхним пределами преобразования.

*Погрешность* датчика характеризует величину отклонения выходного сигнала датчика от значения, соответствующего действительному значению измеряемой величины. В зависимости от способа вычисления погрешности бывают абсолютными, относительными и приведенными.

Абсолютная погрешность определяется как разность между измеренным и действительным значениями физической величины:

$$\Delta = X - X_{\text{д}}.$$

Абсолютная погрешность имеет размерность измеряемой величины.

Относительная погрешность определяется отношением абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины, выраженным в процентах:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_d} \cdot 100.$$

Приведенная погрешность вычисляется как отношение абсолютной погрешности к нормирующему значению измеряемой величины и выражается в процентах:

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100.$$

В качестве нормирующего значения чаще всего используется верхний предел преобразования.

### 2.1.2. Резистивные датчики

К резистивным относятся реостатные датчики, тензорезисторные датчики, терморезисторы и др. Общим признаком резистивных датчиков является то, что их выходной величиной является активное электрическое сопротивление.

#### Реостатные датчики

Конструкции реостатных датчиков показаны на рис. 2.2.

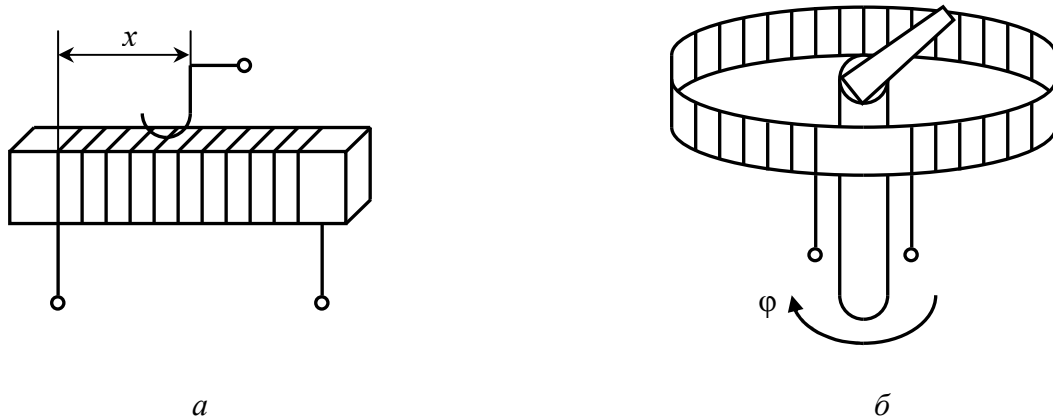


Рис. 2.2. Реостатные датчики:  
а – с линейным перемещением; б – с угловым перемещением

Датчик состоит из изоляционного каркаса, на который намотана тонкая (диаметр от 0,03 до 0,3 мм) изолированная проволока из высокоомного сплава. По зачищенной от изоляции контактной дорожке обмотки перемещается пружинный подвижный контакт, при этом изменяется сопротивление между выводами обмотки и выводом подвижного контакта.

Если обмотка намотана на каркас в виде пластины (см. рис. 2.2,а), то входной величиной датчика является линейное перемещение  $X$ . Если кар-

кас датчика кольцевой (см. рис. 2.2,б), то входной величиной является угловое перемещение  $\varphi$ .

Возможны два варианта включения датчика.

Реостатное включение показано на рис. 2.3. Датчик включается в схему при помощи одного из выводов обмотки и вывода подвижного контакта.

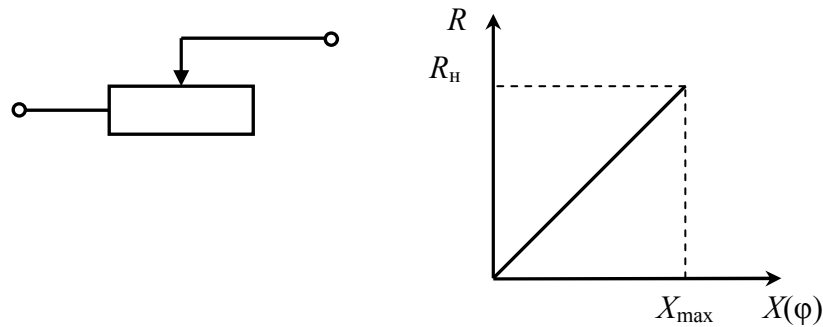


Рис. 2.3. Схема реостатного включения датчика и его характеристика

В случае включения датчика по схеме потенциометра на его обмотку подается напряжение питания, а выходное напряжение снимается с подвижного контакта (рис. 2.4).

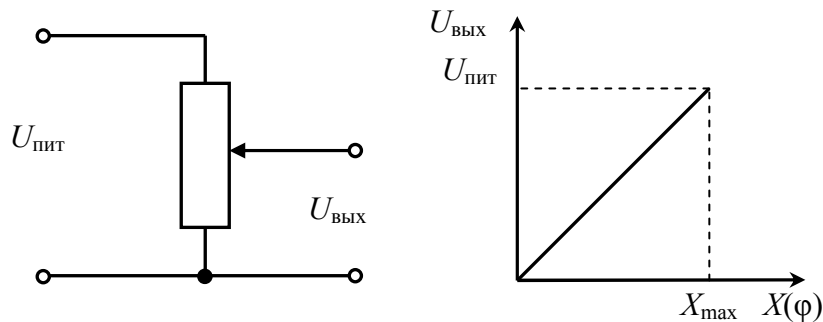


Рис. 2.4. Потенциометрическая схема включения датчика и его характеристика

Чувствительность реостатного датчика определяется максимальным перемещением подвижного контакта  $X_{\max}$  (или  $\varphi_{\max}$ ) и номинальным сопротивлением обмотки  $R_n$  при реостатном включении или величиной питающего напряжения  $U_{\text{пит}}$  при включении потенциометром.

Порог чувствительности датчика зависит от диаметра провода.

Для реостатных датчиков характерны температурная погрешность и погрешность нелинейности от нагрузки.

Температурная погрешность определяется зависимостью сопротивления обмотки от температуры окружающей среды, она проявляется при реостатном включении датчика.

При включении датчика по схеме потенциометра нагрузка, подключаемая к выходу датчика, может исказить его статическую характеристику (рис. 2.5), если сопротивление нагрузки  $R_n$  недостаточно велико.



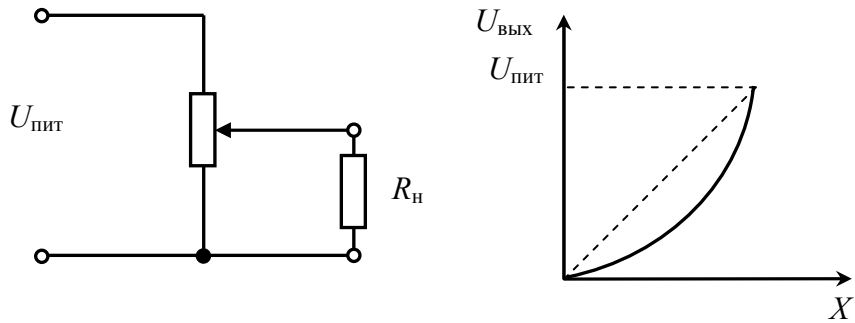


Рис. 2.5. Схема нагруженного датчика и его характеристика

Для уменьшения данной погрешности сигнал с выхода потенциометрического датчика рекомендуется подавать на усилитель с большим входным сопротивлением.

Максимальный предел преобразования реостатного датчика, как правило, невелик: от 5 мм до нескольких десятков миллиметров. Реостатные датчики часто используют как преобразователь малых перемещений в составе других датчиков. Например, реостатный преобразователь можно использовать для измерения прогиба мембраны в датчике давления.

### Тензорезисторные датчики

Принцип действия тензорезисторных датчиков (тензодатчиков) основан на явлении тензоэффекта, заключающегося в изменении сопротивления проводников и полупроводников при их механической деформации.

Тензодатчики бывают трех типов: проволочные, фольговые и полупроводниковые. Конструкции проволочных и фольговых тензодатчиков приведены на рис. 2.6.

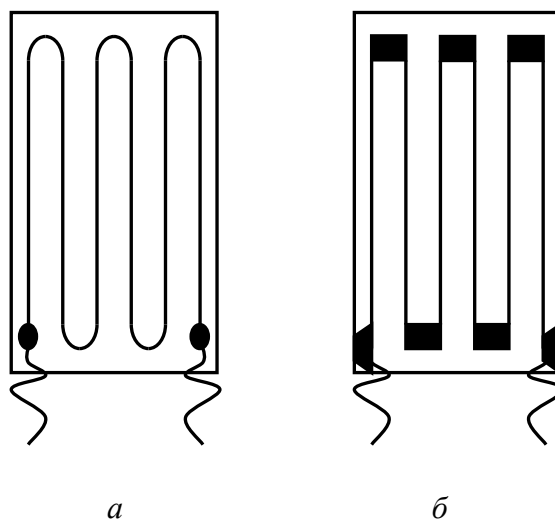


Рис. 2.6. Конструкции тензодатчиков:

$a$  – проволочный тензодатчик;  $b$  – фольговый тензодатчик

Проволочный тензодатчик (см. рис. 2.6,а) выполнен в виде решетки из тонкого (диаметр 0,02 ... 0,05 мм) высокоомного провода, наклеенной на полоску специальной бумаги или лаковую пленку. Выводы решетки выполнены гибким медным проводом.

В фольговом тензодатчике (см. рис. 2.6,б) аналогичная решетка получена путем травления тонкой пленки из высокоомного сплава.

Тензодатчик наклеивается на деталь или элемент конструкции в той точке, где необходимо измерить деформацию, причем проводники должны располагаться вдоль направления деформации (рис. 2.7)

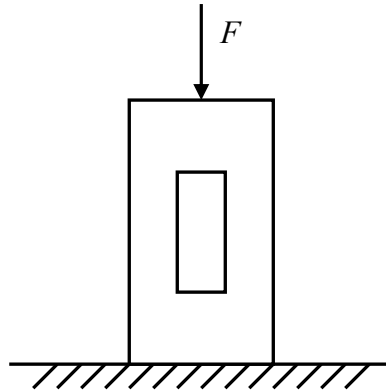


Рис. 2.7. Схема наклеивания тензодатчика на колонну

При деформировании детали проводники тензодатчика деформируются (растягиваются или сжимаются) так же, как поверхность детали. При этом растяжение проводника вызывает увеличение сопротивления датчика, а сжатие – уменьшение сопротивления.

Полупроводниковые тензодатчики имеют такую же конфигурацию, как и фольговые, а выполняются в виде тонкого слоя монокристаллического кремния, нанесенного на сапфировую подложку. Они обладают значительно более высокой чувствительностью, чем металлические тензодатчики.

Для снятия характеристики тензодатчик наклеивается на тарировочную балку. В процессе нагружения балки определяется зависимость сопротивления тензодатчика от величины механического напряжения в балке  $R = f(\sigma)$ .

Тензодатчик после тарировки невозможно отклеить и использовать повторно, поэтому определяют номинальную характеристику партии однотипных датчиков. Для этого выбирают определенное число датчиков из партии, снимают их характеристики и усредняют. Полученная характеристика называется *номинальной*, считается, что все тензодатчики данной партии имеют такую характеристику. Отсюда возникает погрешность градуировки, поскольку фактическая характеристика каждого экземпляра будет отличаться от номинальной.

Другим источником погрешности является качество приклеивания тензодатчика, из-за которого деформация тензодатчика может отличаться от деформации поверхности объекта. Кроме того, существует температурная погрешность, обусловленная зависимостью сопротивления тензодатчика от температуры.

### Схемы включения тензодатчиков

Простейшей схемой для преобразования изменения сопротивления в изменение напряжения является *делитель напряжения* (рис. 2.8).

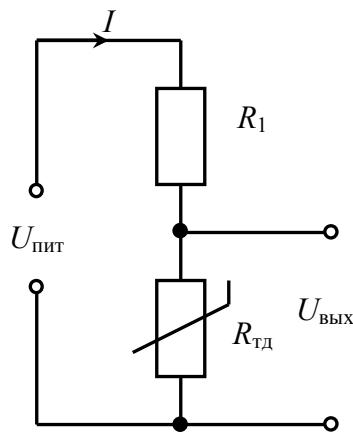


Рис. 2.8. Схема делителя напряжения

Тензодатчик  $R_{\text{тд}}$  включается последовательно с резистором  $R_1$ , и к ним прикладывается напряжение питания  $U_{\text{пит}}$ . В цепи протекает ток

$$I = \frac{U_{\text{пит}}}{R_1 + R_{\text{тд}}}.$$

На сопротивлении тензодатчика возникает падение напряжения:  $U_{\text{вых}} = I \cdot R_{\text{тд}}$ . После подстановки и преобразования получаем:

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{пит}}}{\frac{R_1}{R_{\text{тд}}} + 1},$$

т.е. выходное напряжение делителя зависит от сопротивления тензодатчика. Однако у рассмотренной схемы есть существенный недостаток: сопротивление тензодатчика и, следовательно, выходное напряжение будут зависеть от температуры.

*Мостовая схема* состоит из четырех плеч, образованных четырьмя резисторами (рис. 2.9), с диагоналями  $ab$  и  $vg$ . На диагональ  $ab$  подается напряжение питания  $U_{\text{пит}}$ , а с диагонали  $vg$  снимается выходной сигнал  $U_{\text{вых}}$ .

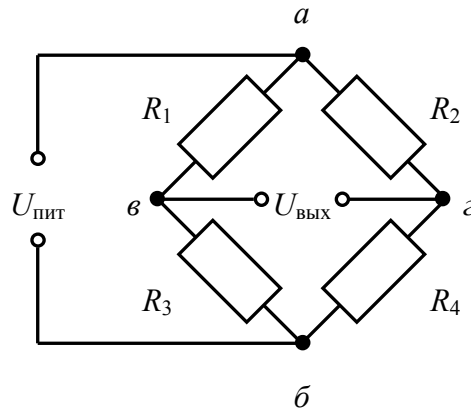


Рис. 2.9. Схема моста

Когда мост уравновешен,  $U_{\text{вых}} = 0$ . Условием равновесия моста является выполнение равенства:  $\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$ . Если сопротивление одного из резисторов изменится, нарушается условие равновесия, и на выходной диагонали появляется напряжение, пропорциональное изменению сопротивления. Таким образом, если в одно из плеч моста включить датчик, выходным сигналом которого является изменение сопротивления, то  $U_{\text{вых}}$  будет зависеть от физической величины, измеряемой датчиком.

Для исключения температурной погрешности в соседние плечи моста включают два одинаковых тензодатчика. Тензодатчики наклеивают на объект в непосредственной близости один от другого, чтобы они находились в одинаковых температурных условиях (рис. 2.10).

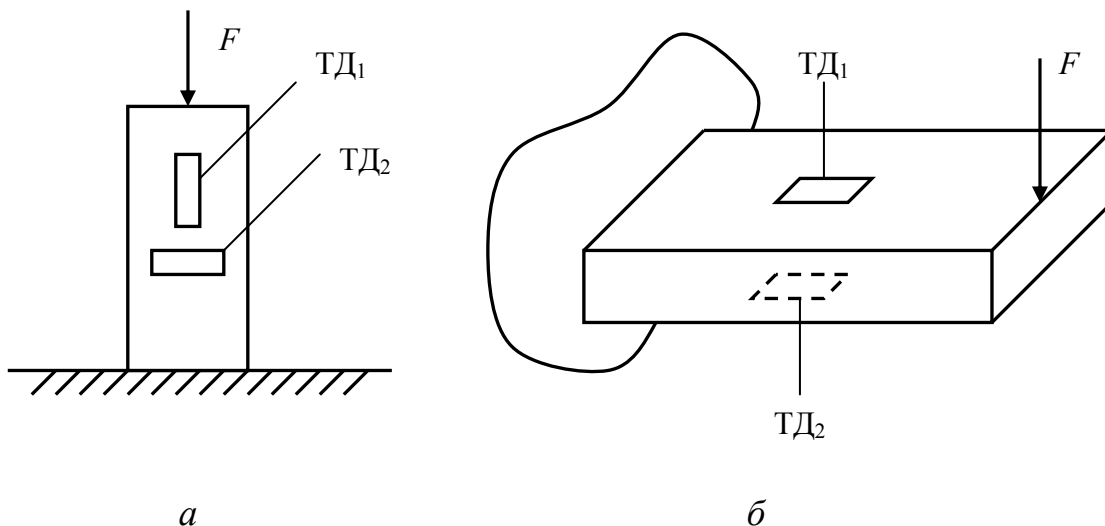


Рис. 2.10. Схемы наклейки двух тензодатчиков:  
 а – на колонну; б – на балку

Схема наклеивания двух тензодатчиков на колонну показана на рис. 2.10,а. Датчик ТД<sub>1</sub> является рабочим, он воспринимает деформацию колонны. Датчик ТД<sub>2</sub> наклеен под углом 90° к направлению деформации, его сопротивление не зависит от усилия нагрузки  $P$ , он используется для компенсации температурной погрешности. На рис. 2.10,б показана схема наклеивания двух тензодатчиков на балку, здесь оба датчика рабочие. Под действием нагрузки ТД<sub>1</sub> растягивается, а ТД<sub>2</sub> сжимается.

Схема моста с тензодатчиками приведена на рис. 2.11.

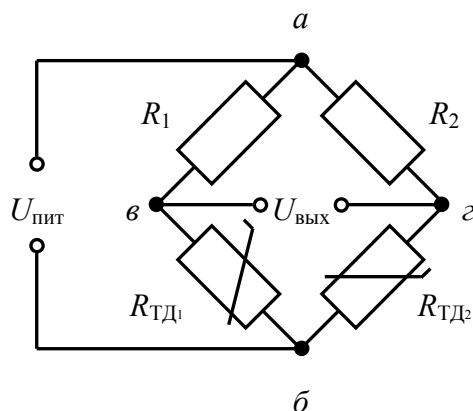


Рис. 2.11. Схема включения двух тензодатчиков в мост

При изменении сопротивлений рабочих тензодатчиков под действием нагрузки пропорционально изменяется выходное напряжение моста. Причем в случае с двумя рабочими датчиками чувствительность схемы в два раза выше, чем с одним.

При изменении температуры сопротивления тензодатчиков изменяется одинаково. Потенциалы точек  $в$  и  $г$  изменяются на одну и ту же величину, поэтому разность потенциалов, т.е. выходное напряжение моста, не изменяется. Таким образом обеспечивается компенсация температурной погрешности.

Тензодатчики широко используются в весоизмерительных устройствах, например, в весах для взвешивания автомобилей. Под платформой весов размещаются 4 упругих преобразователя, изготовленных из высококачественной стали. На каждый упругий преобразователь наклеивается от 4 до 24 тензодатчиков, включенных в мостовую схему. Упругие преобразователи преобразуют вес в деформацию, которая измеряется при помощи тензодатчиков.

### 2.1.3. Индуктивные датчики

Индуктивные датчики относятся к параметрическим, их выходной величиной является индуктивность. Конструкция простейшего индуктивного датчика показана на рис. 2.12.

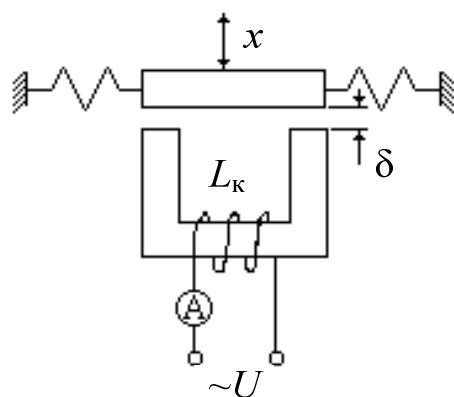


Рис. 2.12. Индуктивный датчик

Датчик состоит из сердечника, выполненного из ферромагнитного материала, и размещенной на нем катушки, намотанной медным изолированным проводом. Часть сердечника, называемая якорем или клапаном, имеет возможность перемещаться. Входной величиной датчика является перемещение клапана  $X$ , определяющее величину  $\delta$  воздушного зазора в магнитной цепи.

Индуктивность катушки определяется выражением

$$L = W^2 / Z_M,$$

где  $W$  – число витков катушки,  $Z_M$  – магнитное сопротивление, т.е. сопротивление протеканию магнитного потока. Магнитное сопротивление складывается из сопротивления сердечника  $Z_c$  и сопротивления воздушных зазоров:  $Z_M = Z_c + Z_b$ , причем  $Z_c \ll Z_b$ , поэтому  $Z_c$  можно пренебречь. Сопротивление воздушных зазоров

$$Z_b = \frac{2\delta}{\mu_0 S},$$

где  $\delta$  – длина воздушного зазора,  $\mu_0$  – магнитная проницаемость воздуха,  $S$  – площадь воздушного зазора. Итоговое выражение для индуктивности имеет вид

$$L = \frac{W^2 \mu_0 S}{2\delta}.$$

Характеристика индуктивного датчика приведена на рис. 2.13.

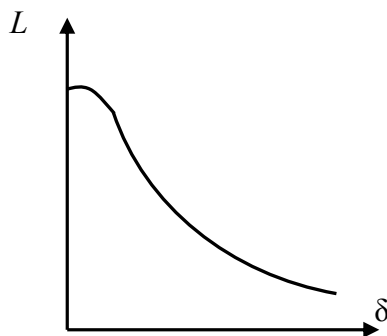


Рис. 2.13. Характеристика индуктивного датчика

Отличие характеристики от идеальной гиперболы объясняется влиянием  $Z_c$ , которое не учитывалось при выводе формулы.

Если на катушку датчика подать переменное напряжение (рис. 2.14,а), то ток в цепи определится по закону Ома:

$$I = \frac{U_{\text{пит}}}{\sqrt{R_0^2 + (\omega L)^2}},$$

где  $U_{\text{пит}}$  – величина питающего напряжения,  $R_0$  – активное сопротивление обмотки (сопротивление меди),  $\omega$  – частота питающего напряжения.

Характеристика с выходом по току приведена на рис. 2.14,б.

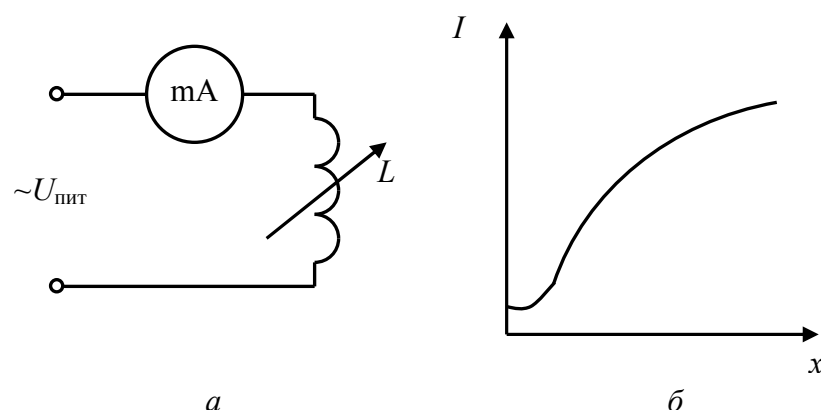


Рис. 2.14. Схема включения и характеристика индуктивного датчика с выходом по току

Достоинствами индуктивных датчиков являются простота и прочность конструкции, надежность в работе.

Недостатки рассмотренного датчика: предел преобразования – несколько миллиметров, наличие температурной погрешности, влияние электромагнитной силы, притягивающей якорь к сердечнику.

Названные недостатки отсутствуют у дифференциального индуктивного датчика, состоящего из двух одинаковых катушек с сердечниками, имеющими общий якорь. Катушки датчика включены по дифференциальной схеме (рис. 2.15), и через них протекают токи  $I_1$  и  $I_2$ . Выходной ток, измеряемый миллиамперметром, равен разности токов катушек:  $I_{\text{вых}} = I_1 - I_2$ .

Когда якорь располагается симметрично,  $\delta_1 = \delta_2$ , индуктивности катушек равны:  $L_1 = L_2$ , токи равны между собой:  $I_1 = I_2$ , и  $I_{\text{вых}} = 0$ . При перемещении якоря вправо зазор  $\delta_1$  увеличивается, индуктивность  $L_1$  уменьшается, ток  $I_1$  возрастает. С другой стороны зазор  $\delta_2$  уменьшается, индуктивность  $L_2$  возрастает, ток  $I_2$  уменьшается. Характеристики дифференциального индуктивного датчика приведены на рис. 2.16.

Температурная погрешность отсутствует, так как при изменении температуры окружающей среды активные сопротивления обмоток, а со-

ответственно, и токи  $I_1$  и  $I_2$  изменяются одинаково, при этом разность токов остается неизменной.

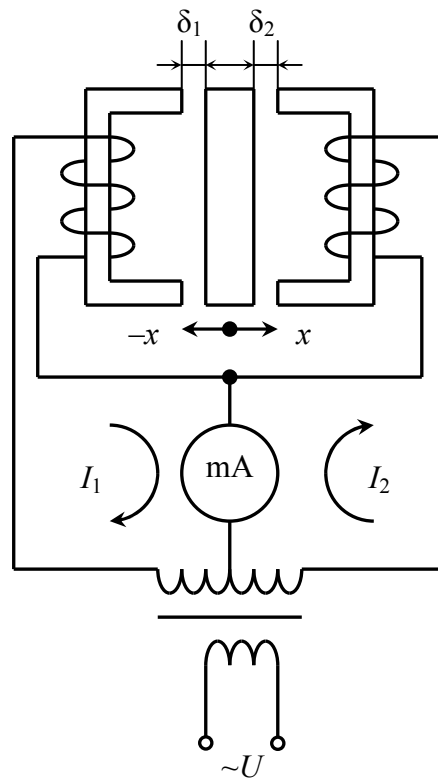


Рис. 2.15. Дифференциальный индуктивный датчик, включенный в дифференциальную схему

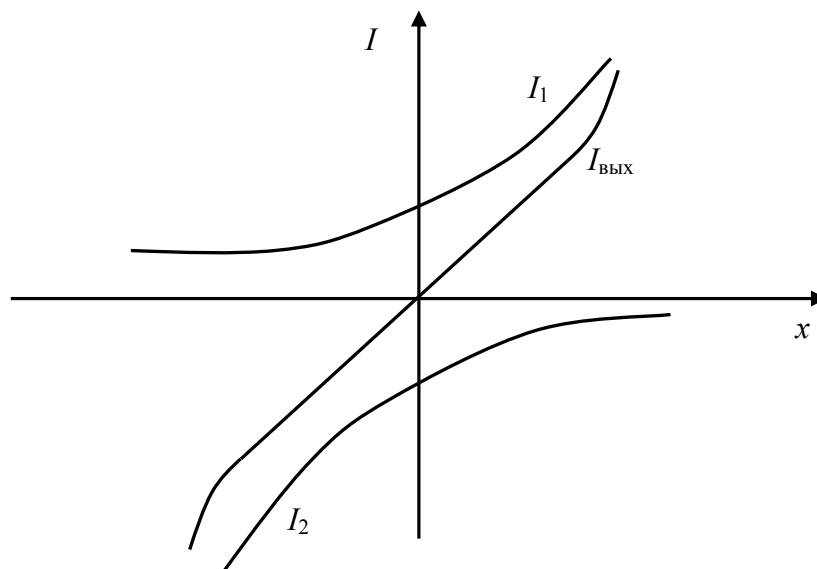


Рис. 2.16. Характеристики дифференциального индуктивного датчика

Изменение знака тока  $I_{\text{вых}}$  (см. рис. 2.16) для переменного тока выражается в сдвиге на  $180^\circ$  фазы выходного тока.

Широкое распространение получила соленоидная конструкция дифференциального индуктивного датчика (рис. 2.17).



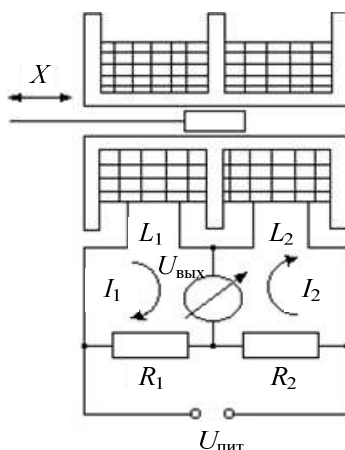


Рис. 2.17. Дифференциальный индуктивный датчик, включенный в мост

Датчик имеет две одинаковые цилиндрические катушки и общий якорь, изготовленный из ферромагнитного материала. В исходном положении якорь располагается симметрично относительно катушек, и их индуктивности равны. Смещение якоря вызывает увеличение индуктивности той катушки, в которую он вдвигается, и уменьшение индуктивности катушки, из которой он выходит. Обмотки дифференциального индуктивного датчика могут включаться в соседние плечи моста (см. рис. 2.17).

Достоинства дифференциальных индуктивных датчиков заключаются в расширении диапазона измеряемых перемещений до десятков миллиметров, в компенсации температурной погрешности с использованием дифференциальной или мостовой схемы, в уменьшении электромагнитной силы, действующей на якорь.

#### 2.1.4. Трансформаторные датчики

Принцип действия трансформаторного датчика основан на изменении взаимоиндуктивной связи между двумя обмотками. Конструкция простейшего трансформаторного датчика изображена на рис. 2.18,а.

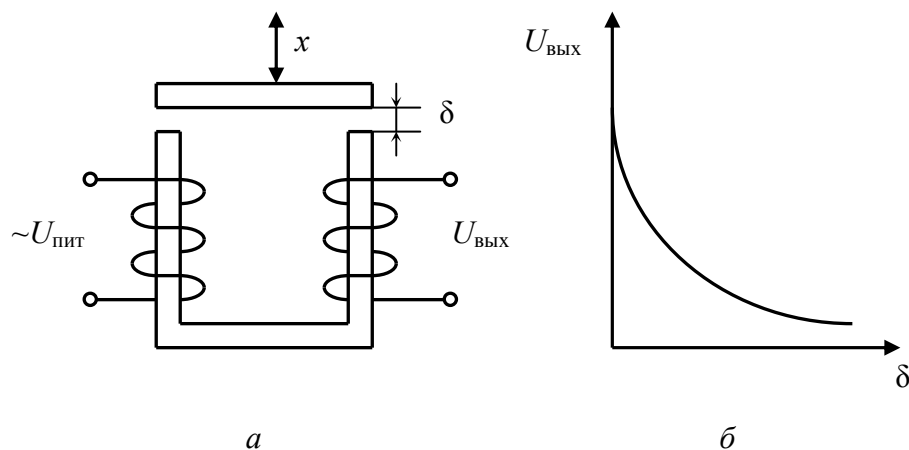


Рис. 2.18. Конструкция (а) и характеристика (б) трансформаторного датчика

На сердечнике расположены две обмотки. На первичную обмотку подается переменное напряжение питания, а со вторичной обмотки снимается выходное напряжение.

Выходное напряжение определяется величиной взаимоиндуктивности, зависящей от ширины зазора  $\delta$ . На рис. 2.18,б приведена характеристика датчика. При  $\delta = 0$  выходное напряжение имеет максимальное значение. С увеличением  $\delta$  магнитная связь между катушками уменьшается, что приводит к снижению выходного напряжения.

Дифференциальный трансформаторный датчик содержит две первичные и две вторичные обмотки с общим сердечником-якорем. Схема такого датчика показана на рис. 2.19,а. Первичные обмотки соединены последовательно согласно и запитаны переменным напряжением. Вторичные обмотки соединены последовательно встречно, поэтому выходное напряжение определяется выражением  $U_{\text{вых}} = U_2' - U_2''$ . Соответствующие характеристики приведены на рис. 2.19,б.

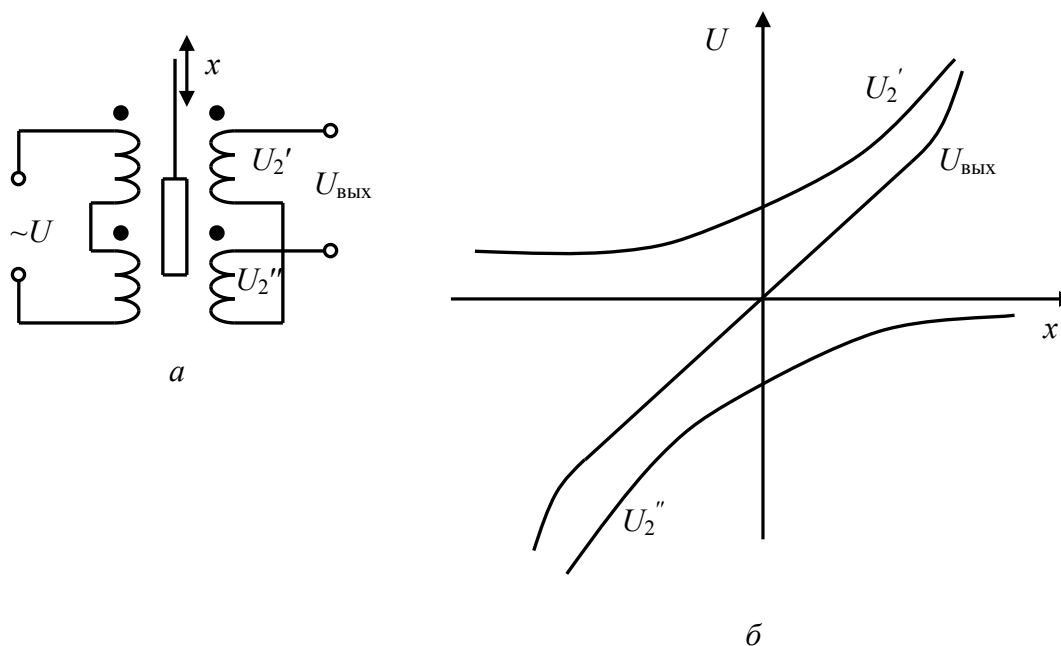


Рис. 2.19. Схема включения (а) и характеристики (б) дифференциального трансформаторного датчика

Достоинствами трансформаторных датчиков являются высокая мощность выходного сигнала, простота конструкции, высокая надежность.

Трансформаторные датчики широко применяются в качестве преобразователей перемещения в манометрах, расходомерах, уровнемерах и других приборах.

### 2.1.5. Емкостные датчики

Принцип действия емкостных датчиков основан на изменении емкости конденсатора под действием преобразуемой входной величины. Про-

стейший конденсатор представляет собой две металлические пластины, разделенные диэлектриком (рис. 2.20).

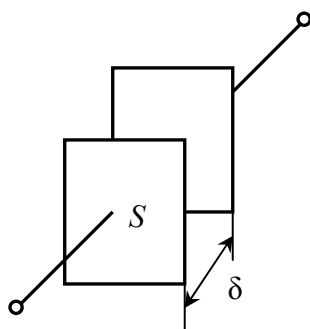


Рис. 2.20. Конструкция конденсатора

Емкость конденсатора

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{\delta},$$

где  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума,  $\varepsilon_r$  – относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика, находящегося между пластинами,  $S$  – площадь перекрытия пластин,  $\delta$  – расстояние между пластинами.

Из приведенного соотношения видно, что на емкость конденсатора можно влиять, изменяя площадь перекрытия пластин  $S$ , расстояние между пластинами  $\delta$  и величину относительной диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_r$ .

В емкостных измерительных преобразователях с изменяемой площадью перекрытия пластин (рис. 2.21,а) одна из пластин неподвижна, а вторая перемещается в параллельной плоскости, причем зазор между пластинами остается постоянным.

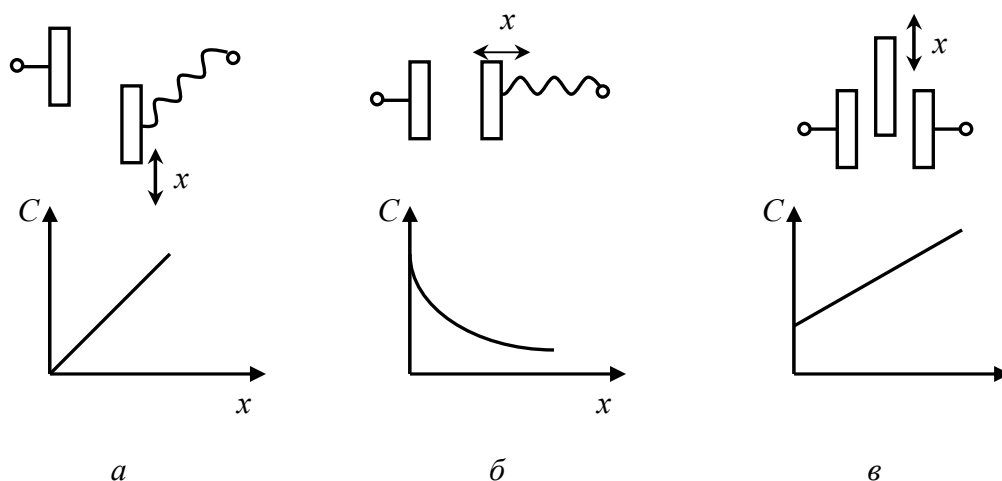


Рис. 2.21. Конструкции и характеристики емкостных датчиков с различными изменяемыми параметрами:

а – с изменением площади перекрытия пластин;

б – с изменением расстояния между пластинами;

в – с изменением диэлектрической проницаемости диэлектрика в зазоре

Емкостной преобразователь перемещения с изменяемой шириной воздушного зазора (рис. 2.21,б) отличается тем, что направление перемещения подвижной пластины перпендикулярно плоскости неподвижной. Характеристика имеет вид гиперболы.

Входной величиной емкостного преобразователя с изменением диэлектрической проницаемости (рис. 2.21,в) является перемещение диэлектрической пластины в зазоре конденсатора. Относительная диэлектрическая проницаемость воздуха  $\epsilon_r = 1$ . По мере замещения воздуха в зазоре другим диэлектриком, относительная диэлектрическая проницаемость которого больше единицы, емкость конденсатора увеличивается. Емкостный преобразователь с изменением  $\epsilon_r$  может быть использован для измерения уровня диэлектрической жидкости. Обкладки конденсатора выполняются в виде пластин или концентрических цилиндров. При повышении уровня жидкости заполняется зазор между обкладками, что приводит к увеличению емкости конденсатора.

Емкостные преобразователи включаются в мост переменного тока. Емкость конденсатора преобразователя весьма мала, поэтому схема питается напряжением повышенной и высокой частоты (от 1 кГц до нескольких мегагерц).

Емкостные датчики используют для измерения угловых и линейных перемещений, линейных размеров, уровня, влажности и др. Достоинства емкостных преобразователей: простота конструкции, малые размеры и масса, высокая чувствительность. Недостатки состоят в низком уровне мощности выходного сигнала и зависимости от параметров окружающей среды.

### 2.1.6. Пьезоэлектрические датчики

В пьезоэлектрических измерительных преобразователях используется пьезоэлектрический эффект, заключающийся в появлении электрических зарядов на поверхности некоторых диэлектриков при приложении к ним механической нагрузки. Пьезоэлектрическими свойствами обладают такие материалы, как кварц, турмалин, титанат бария, цирконат свинца и др.

Пьезоэлектрические преобразователи используют для измерения силы, давления, ускорения. Пьезоэлемент в преобразователе может работать на изгиб или сжатие. Конструкция преобразователя силы, в котором пьезоэлемент испытывает деформацию изгиба, приведена на рис. 2.22,а.

На противоположные грани пластины, изготовленной из пьезоматериала, нанесены пленочные металлические электроды, с которых снимается электрический сигнал, пропорциональный усилию  $F$ .

Пьезоэлектрический датчик давления с пьезоэлементом, работающим на сжатие, изображен на рис. 2.22,б. Для повышения чувствительности два пьезоэлемента соединены параллельно.

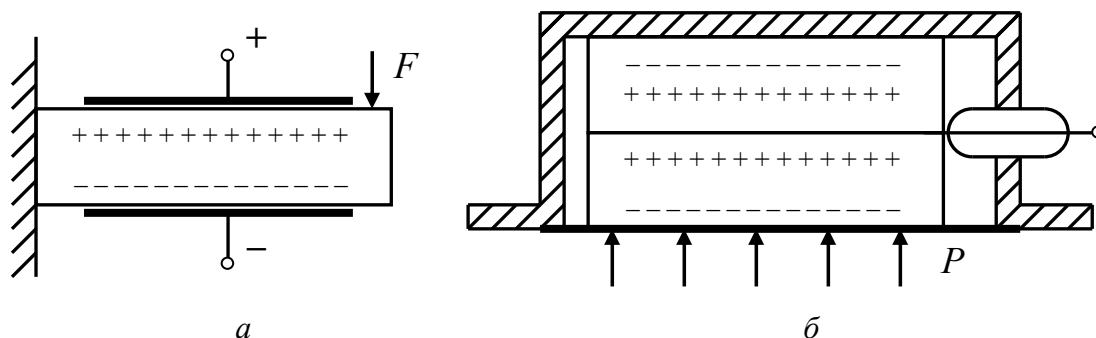


Рис. 2.22. Пьезоэлектрические преобразователи: *a* – силы; *б* – давления

Пьезоэлектрические преобразователи могут использоваться для измерения только быстроменяющихся величин, например вибрации. Достоинствами пьезоэлектрических датчиков являются простота конструкции, малые размеры и высокая надежность.

### 2.1.7. Индукционные датчики

Принцип действия индукционных преобразователей основан на явлении электромагнитной индукции. При перемещении катушки с проводом в магнитном поле или при изменении магнитного потока, пронизывающего неподвижную катушку, в проводнике наводится ЭДС, пропорциональная скорости изменения потока,

$$E = -W \frac{d\Phi}{dt},$$

где  $W$  – число витков катушки,  $\Phi$  – магнитный поток.

Конструкция индукционного датчика перемещения показана на рис. 2.23.

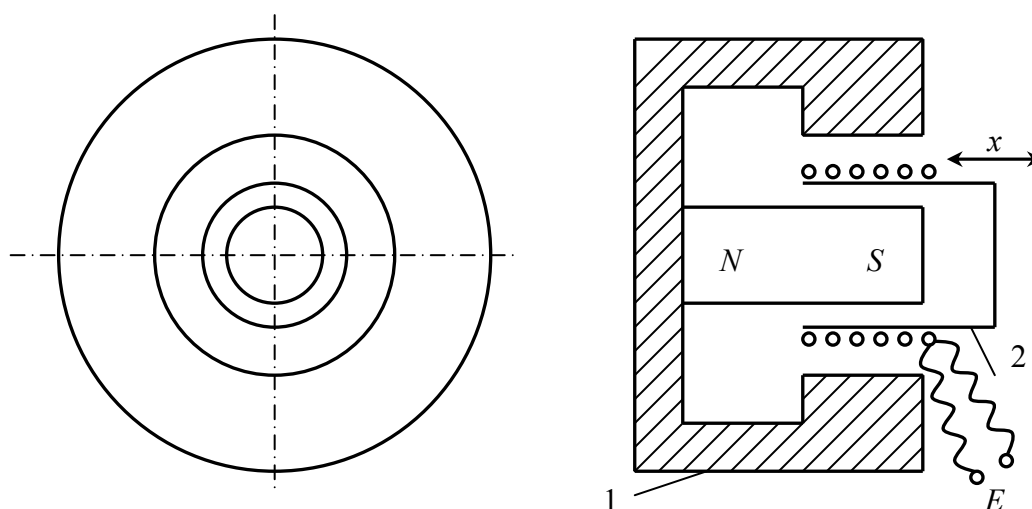


Рис. 2.23. Конструкция индукционного датчика

Датчик состоит из магнитной системы *1* с постоянным магнитом. В кольцевом зазоре магнитной системы создается магнитное поле, в котором находится катушка, намотанная на трубчатый каркас *2*.

При перемещении катушки вдоль оси в ней наводится ЭДС. Подобный датчик может использоваться для преобразования динамических перемещений, например, для измерения амплитуды и частоты вибрации. Если катушку соединить с мембраной, воспринимающей звуковые колебания, получится электродинамический микрофон, преобразующий звуковые колебания в электрический сигнал.

Другим представителем индукционных датчиков является индукционный датчик частоты вращения (рис. 2.24), состоящий из катушки с сердечником в виде постоянного магнита *1* и вращающегося стального диска *2* с выступом.

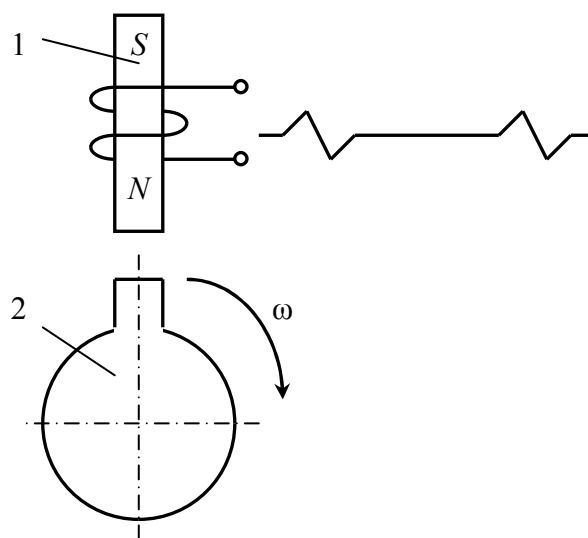


Рис. 2.24. Индукционный датчик частоты вращения

Всякий раз, когда выступ проходит вблизи катушки, изменяется величина магнитного сопротивления и соответственно изменяется магнитный поток, пронизывающий витки катушки. В катушке наводится ЭДС в виде импульсов, частота которых равна частоте вращения.

### Тахогенераторы

Тахогенераторы представляют собой электрические микромашины. Входной величиной тахогенератора является частота вращения вала. Выходной величиной является напряжение, информативными параметрами которого могут быть амплитуда или частота.

Конструкция синхронного тахогенератора переменного тока приведена на рис. 2.25.

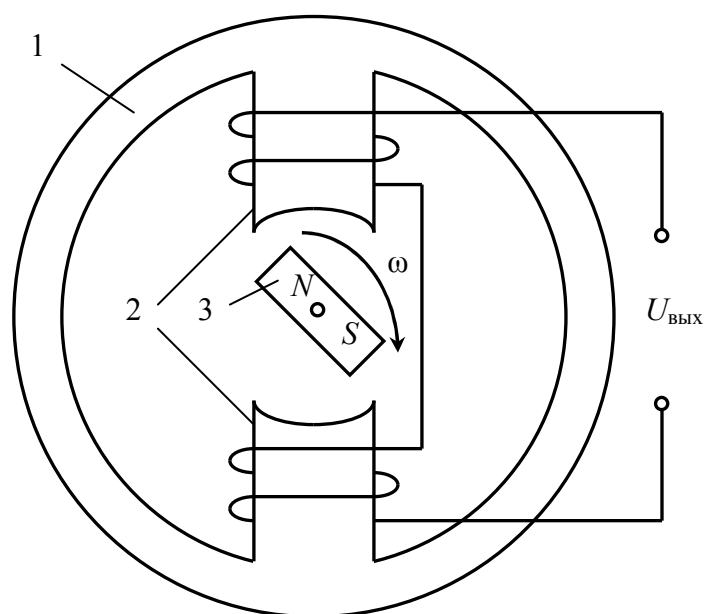


Рис. 2.25. Синхронный тахогенератор переменного тока

Генератор состоит из статора *1* с полюсами *2*, на которых размещена обмотка, и ротора *3*, выполненного в виде постоянного магнита.

При вращении ротора изменяются величина и направление магнитного потока, пересекающего витки обмотки, и в ней наводится ЭДС, амплитуда и частота которой зависят от частоты вращения ротора.

В тахогенераторе постоянного тока обмотка располагается на роторе, а для преобразования переменного напряжения в постоянное используется коллектор с щетками.

Достоинствами индукционных преобразователей являются отсутствие источника питания и достаточно высокий уровень выходного сигнала.

### 2.1.8. Частотные датчики

Информативным параметром выходного сигнала частотных датчиков является частота электрических колебаний или импульсов. Рассмотренные выше индукционные датчики частоты вращения и тахогенераторы переменного тока могут быть отнесены к частотным датчикам.

Получили распространение струнные частотные датчики, принцип действия которых основан на зависимости частоты собственных колебаний струны от ее натяжения. На рис. 2.26 представлена схема струнного датчика силы.

Сила *F* посредством рычага изменяет натяжение струны *1*, изготовленной из ферромагнитного материала (стали). В непосредственной близости от струны расположены адаптер *2* и возбудитель колебаний *3*, выполненные в виде катушек с сердечниками из постоянных магнитов. колеба-

ния струны вызывают изменение магнитного сопротивления и появление в обмотке адаптера ЭДС. Сигнал с выхода адаптера усиливается усилителем  $У$  и подается в обмотку возбуждателя. Таким образом поддерживаются незатухающие колебания струны. Частота сигнала на выходе усилителя определяется натяжением струны и в конечном счете зависит от силы  $F$ .

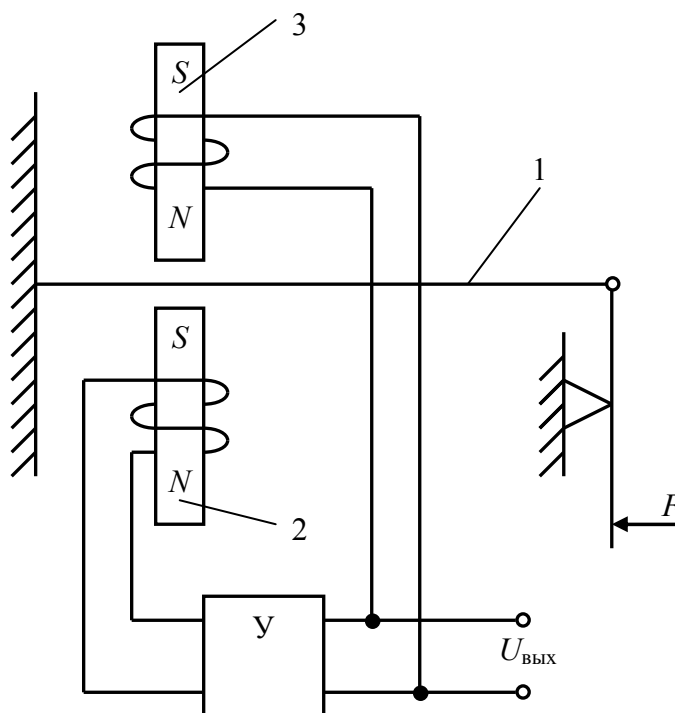


Рис. 2.26. Струнный датчик силы

Достоинства частотных датчиков заключаются в высокой помехоустойчивости и простоте преобразования выходного сигнала в цифровой код.

### 2.1.9. Цифровые датчики

Выходным сигналом цифровых датчиков является код, представляющий комбинацию уровней электрического напряжения на выходах датчика. Для кодирования выходных сигналов чаще всего используется двоичная система счисления. На рис. 2.27 представлен двоичный трехразрядный цифровой датчик линейного перемещения с кодирующей маской. Кодирующая маска  $1$  выполнена в виде пластины с прозрачными и непрозрачными участками.

Маска имеет 3 столбца по числу разрядов двоичного кода и 8 строк по числу кодовых комбинаций. Ноль кода соответствует непрозрачный участок, а единице – прозрачный. С одной стороны маски в каждом разряде расположены источники света (лампочки)  $2$ , а с противоположной стороны – фотоприемники (фотодиоды)  $3$ .



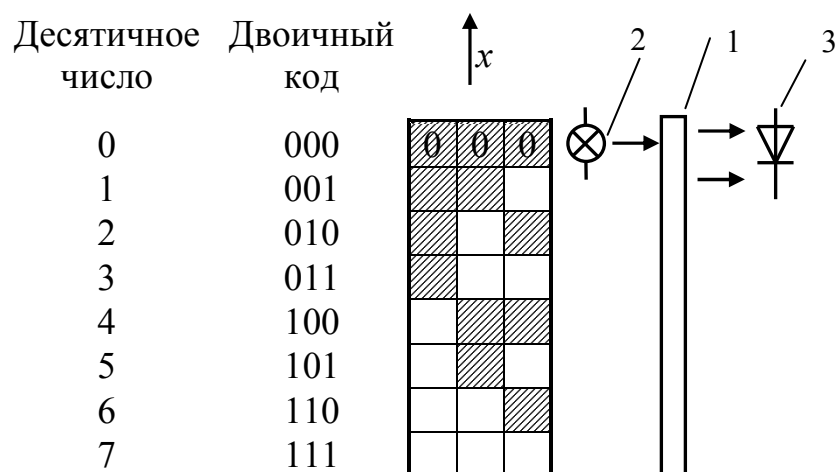


Рис. 2.27. Цифровой датчик перемещения с кодирующей маской

Если между источником и приемником света расположен прозрачный участок маски, то в цепи фотодиода протекает ток, это означает наличие единицы кода в данном разряде. В противном случае ток не протекает, следовательно, в этом разряде кода присутствует ноль.

Входной величиной датчика является перемещение  $X$  кодирующей маски. Выходной код считывается с фотодиодов.

Характеристика датчика приведена на рис. 2.28.

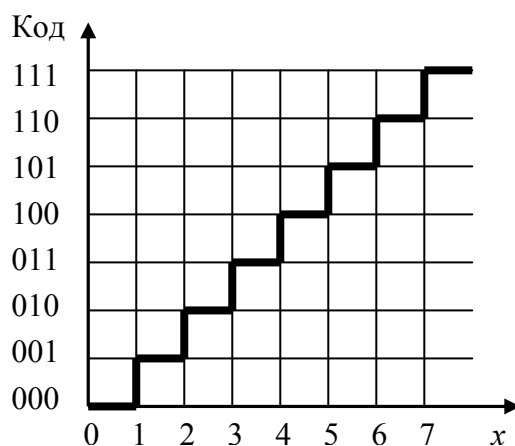


Рис. 2.28. Характеристика цифрового датчика

Основной погрешностью датчика является погрешность дискретности, выражающаяся в ступенчатости характеристики. Размер ступени, характеризующий величину погрешности, определяется числом кодовых комбинаций  $N = 2^n$ , где  $N$  – максимальное число кодовых комбинаций,  $n$  – разрядность кода. В рассматриваемом примере  $N = 2^3 = 8$ , и погрешность дискретизации

$$\gamma = \frac{1}{8} \cdot 100 = 12,5 \, \%.$$

Для повышения точности датчика следует увеличивать число разрядов кода. Так, при  $n = 10$   $N = 1024$  и погрешность  $\gamma \approx 0,1$  %. Выпускаются цифровые датчики с числом разрядов  $n = 14$ .

## 2.2. Реле

Реле называется устройство, в котором при достижении входной величиной  $x$  определенного значения выходная величина  $y$  изменяется скачком. Характеристика реле приведена на рис. 2.29.

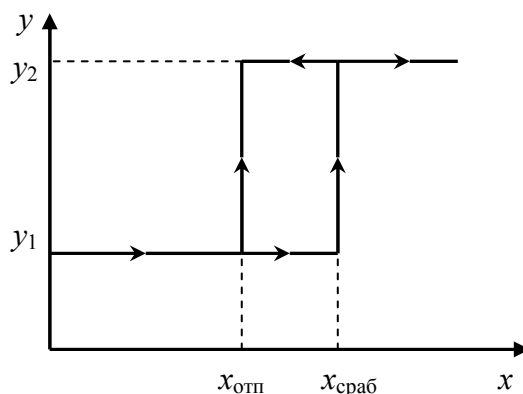


Рис. 2.29. Релейная характеристика

При возрастании входной величины от 0 до  $x < x_{\text{сраб}}$  выходная величина остается неизменной. При  $x = x_{\text{сраб}}$  происходит срабатывание реле, и выходная величина изменяется скачком от  $y_1$  до  $y_2$ , оставаясь далее постоянной. При уменьшении  $x$  обратный скачок (отпускание реле) происходит при  $x = x_{\text{отп}}$ . Выходная величина изменяется от  $y_2$  до  $y_1$  и сохраняет значение при уменьшении  $x$  до нуля. Отношение  $x_{\text{отп}}/x_{\text{сраб}}$  называется коэффициентом возврата реле.

В зависимости от воспринимаемой физической величины реле подразделяют на электрические, тепловые, механические, оптические и др. Электрические реле бывают электромагнитные, магнитоэлектрические, индукционные и т.д. Наибольшее распространение получили электромагнитные реле, представляющие собой набор электрических контактов, коммутируемых при помощи электромагнита. Электромагнитные реле бывают постоянного и переменного тока, нейтральные и поляризованные.

### 2.2.1. Нейтральное электромагнитное реле постоянного тока

Нейтральное реле одинаково реагирует на постоянный ток независимо от его направления. Конструкция реле приведена на рис. 2.30.

Реле состоит из сердечника 1 и якоря (клапана) 2, изготовленных из стали, катушки 3, намотанной изолированным медным проводом, возвратной пружины 4. Перечисленные элементы образуют электромагнит. Кроме того, в состав реле входят подвижная контакт-деталь 5 в виде упругой ме-

таллической полоски с шариком на конце, закрепленная на клапане при помощи изолятора 6, и неподвижные контакт-детали 7 и 8. Контакт-детали 6 и 7 образуют размыкающий контакт, а контакт-детали 6 и 8 – замыкающий.

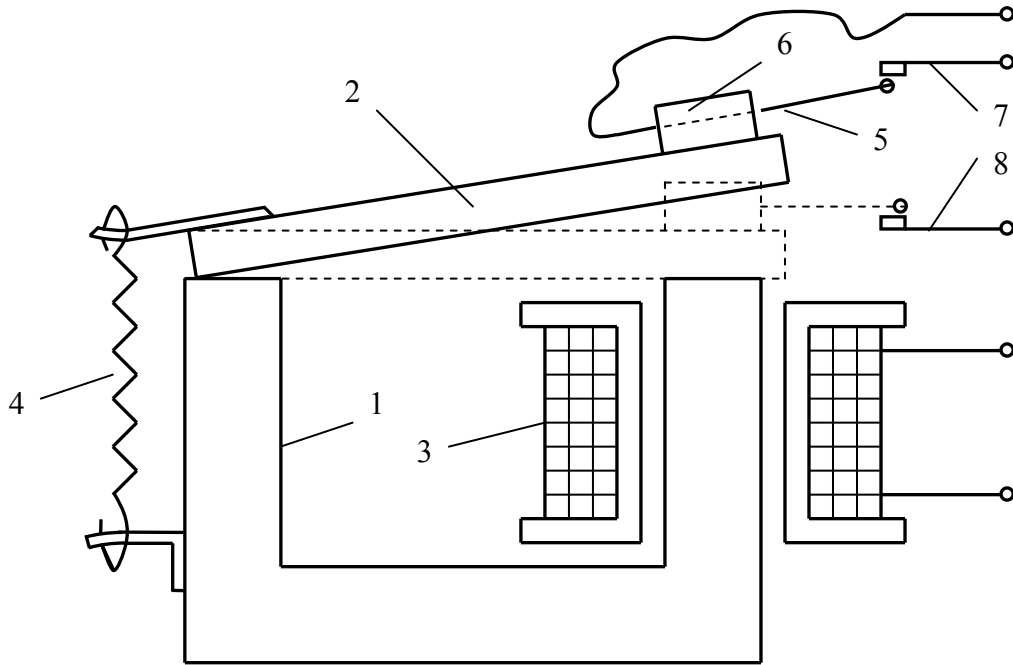


Рис. 2.30. Нейтральное электромагнитное реле постоянного тока:

1 – сердечник; 2 – якорь (клапан); 3 – катушка; 4 – пружина;  
5 – подвижный контакт; 6 – изолятор; 7, 8 – неподвижные контакты

В исходном состоянии (при отсутствии тока в катушке) пружина удерживает клапан в верхнем положении, при этом подвижная деталь 5 прижата к неподвижной детали 7, т.е. размыкающий контакт замкнут.

Пропускание тока через катушку вызывает появление электромагнитной силы, притягивающей клапан к сердечнику. Когда ток в катушке достигнет величины тока срабатывания, электромагнитная сила превысит силу, создаваемую возвратной пружиной, и якорь притянется к сердечнику – реле сработает. При этом размыкающий контакт разомкнется, а замыкающий – замкнется (контакт-деталь 5 прижмется к контакт-детали 8). Три контакт-детали вместе образуют переключающий контакт, при срабатывании реле происходит его переключение.

С отключением тока, протекающего через катушку, притяжение электромагнитной силой прекращается, и клапан под действием возвратной пружины возвращается в исходное состояние. Вместе с ним в исходное состояние возвращаются контакты – происходит отпускание реле.

Характеристика нейтрального реле изображена на рис. 2.31.

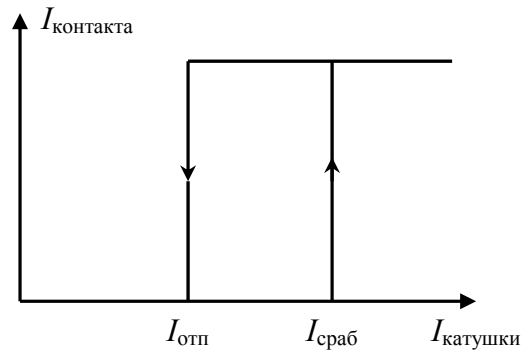


Рис. 2.31. Характеристика нейтрального электромагнитного реле

По горизонтальной оси откладывается ток в катушке, а по вертикальной – возможный ток через замыкающий контакт, если бы он был включен последовательно в цепь, составленную из источника питания и нагрузки.

### 2.2.2. Поляризованное электромагнитное реле

Поляризованное реле отличается тем, что оно по-разному реагирует на ток различной полярности. В магнитной цепи сердечника *1* (рис. 2.32) имеется постоянный магнит, создающий поляризующий магнитный поток и соответствующую силу притяжения. Под действием этой силы якорь *2* может быть притянут либо к левому, либо к правому полюсу сердечника, т.е. поляризованное реле имеет два устойчивых исходных состояния.

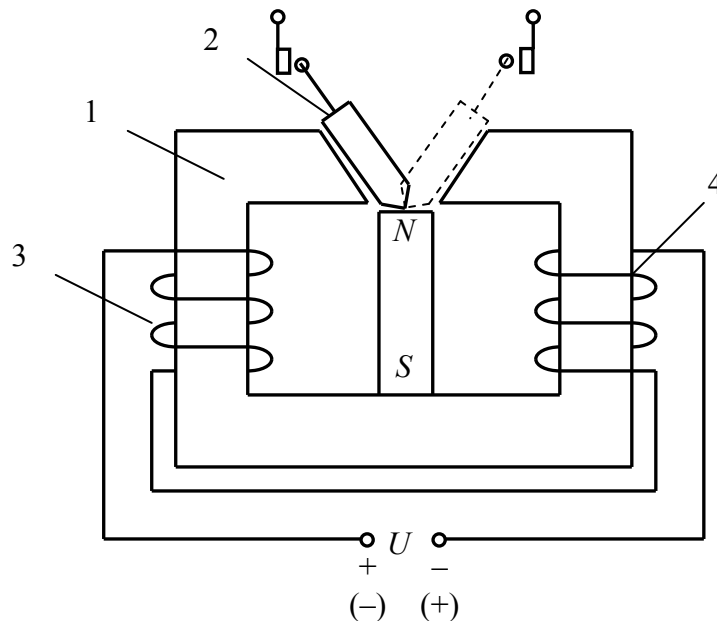


Рис. 2.32. Поляризованное электромагнитное реле:  
*1* – сердечник, *2* – якорь, *3*, *4* – катушки

Две последовательно включенные катушки 3 и 4 создают рабочий магнитный поток и электромагнитную силу, которая в одной половине сердечника (например, в левой) складывается с силой поляризующего магнитного потока, а в другой – вычитается. Пусть под действием суммарной силы якорь находится в левом положении, замкнут левый контакт. При изменении полярности тока в катушках направление действия суммарной силы изменится, и клапан переместится направо, замкнется правый контакт. Следовательно, для переключения контактов необходимо всякий раз изменять направление тока, протекающего через катушки реле.

### 2.2.3. Электромагнитное реле переменного тока

Если через катушку реле постоянного тока пропустить переменный ток, электромагнитная сила будет изменяться с удвоенной частотой от максимального значения до нуля. Когда сила притяжения больше противодействующей силы пружины, клапан реле притягивается, когда меньше – отпускает. Таким образом, клапан реле будет вибрировать, что не совместимо с нормальной работой реле. Чтобы избежать вибрации клапана, в конструкции реле переменного тока используют сердечник с расщепленным полюсом (рис. 2.33).

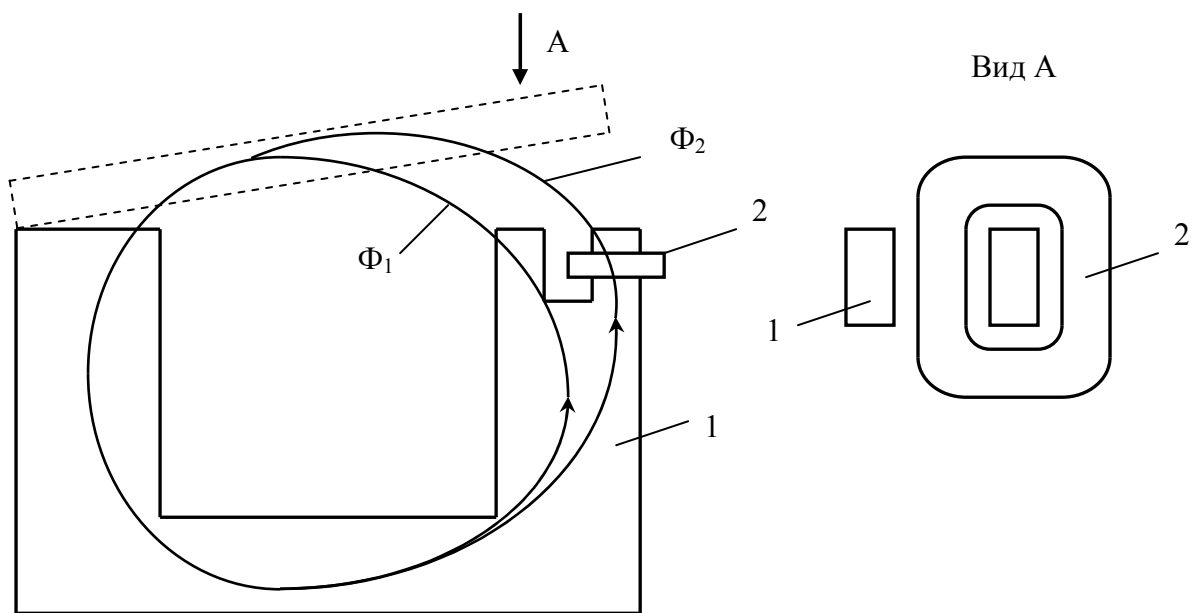


Рис. 2.33. Сердечник реле переменного тока:  
1 – сердечник; 2 – короткозамкнутый виток

Полюс сердечника раздваивается, и часть его охватывается медной шайбой, образующей короткозамкнутый виток. Магнитный поток разделяется на потоки  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ . Под действием потока  $\Phi_2$  в короткозамкнутом витке наводится ЭДС, и возникает ток. В результате взаимодействия с током в

витке магнитный поток  $\Phi_2$  оказывается сдвинутым по фазе относительно потока  $\Phi_1$ . Соответственно будут сдвинуты по фазе и силы, создаваемые этими потоками. Результирующая сила всегда будет больше усилия пружины, и клапан не будет вибрировать.

#### 2.2.4. Герконовое реле

Герконом (герметизированным контактом) называется прибор, состоящий из двух упругих пластин, выполненных из ферромагнитного материала (сплава железа с никелем) и помещенных в стеклянную трубку, заполненную инертным газом. Под действием магнитного поля пластины намагничиваются и притягиваются одна к другой, замыкая контакт. При устранении магнитного поля контакт размыкается за счет упругости пластин. Герконовое реле (рис. 2.34) состоит из геркона 1, помещенного внутрь катушки 2. Герконовые реле отличаются высокой надежностью и повышенным быстродействием.

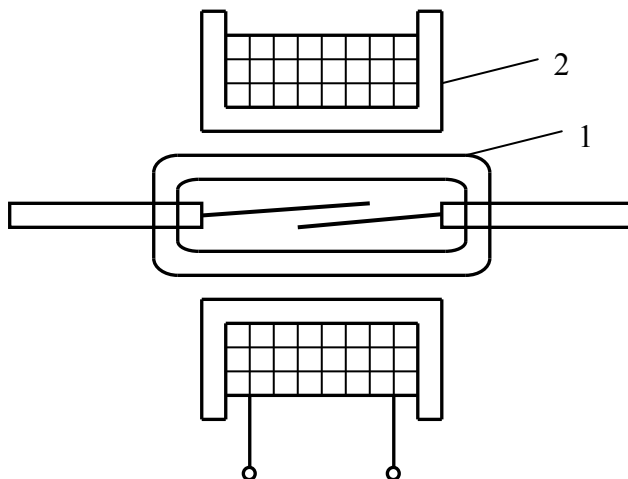


Рис. 2.34. Герконовое реле:  
1 – геркон; 2 – катушка

#### 2.2.5. Биметаллическое тепловое реле

Основой теплового реле (рис. 2.35) является биметаллическая пластина 1, состоящая из двух слоев металлов с разными коэффициентами теплового расширения. На пластине размещен нагреватель в виде обмотки из высокоомного провода 2, по которому проходит электрический ток. Выступ пластины удерживает контакты 3 и 4 в замкнутом состоянии. При прохождении через обмотку нагревателя достаточно большого тока биметаллическая пластина, нагреваясь, изгибается и освобождает контакт 3, цепь разрывается. После остывания и выпрямления пластины реле может быть возвращено в исходное состояние нажатием кнопки 5.

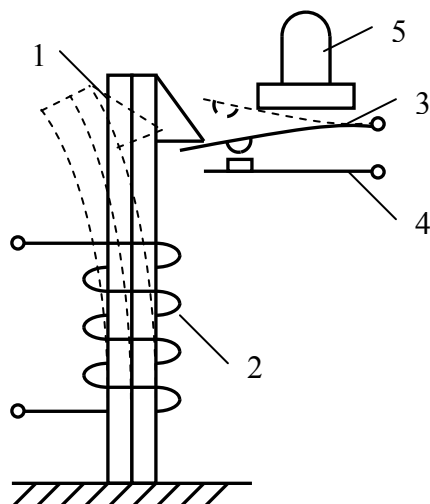


Рис. 2.35. Биметаллическое тепловое реле:  
1 – биметаллическая пластина; 2 – нагреватель; 3, 4 – контакты; 5 – кнопка

## 2.2.6. Обозначение реле на схемах

Приняты следующие обозначения элементов электромагнитных реле на схемах (рис. 2.36). Полный набор обозначений приведен в приложении 1.

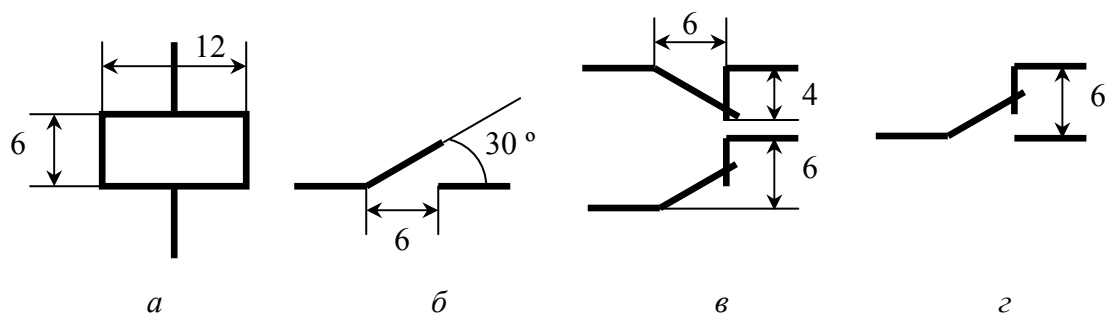


Рис. 2.36. Обозначения элементов реле на схемах:  
а – катушка реле; б – замыкающий контакт; в – варианты обозначения размыкающего контакта; г – переключающий контакт

На схеме контакты реле изображаются в исходном состоянии, когда катушка реле обесточена. Реле, состоящее из катушки и группы контактов, на схеме может быть изображено совмещенным или разнесенным способом.

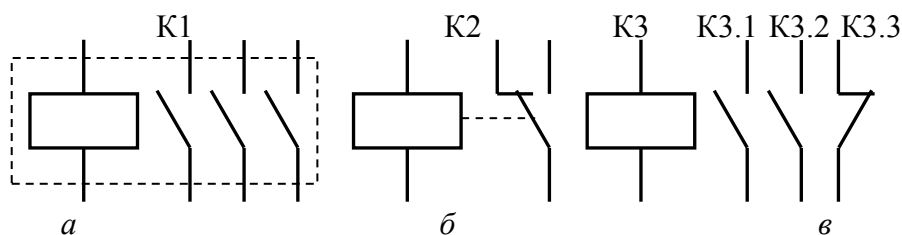


Рис. 2.37. Изображение реле на схеме:  
а – совмещенное изображение; б – изображение с указанием механической связи;  
в – разнесенное изображение

Варианты совмещенного изображения (рис. 2.37,а,б) применяют, если схема состоит из небольшого числа реле. Если реле много, то изображение электрических связей получается слишком громоздким и трудночитаемым. При разнесенном изображении (рис. 2.37,в) контакты реле изображаются в той части схемы, где они применяются, это существенно упрощает конфигурацию связей на схеме. Принадлежность контактов определенному реле устанавливается при помощи буквенно-цифровых обозначений. Так, контакты реле К3 обозначаются последовательно К3.1, К3.2, К3.3 и т.д.

Буквенно-цифровые обозначения наносятся сверху или справа от изображения элемента. Буквенные обозначения, принятые в электрических схемах, приведены в приложении 2.

### 2.2.7. Основные релейно-контактные схемы

Сложные релейно-контактные схемы могут быть составлены из элементарных схем, часть из которых приведена на рис. 2.38. Как правило, схему изображают в виде электрических цепей между двумя вертикальными линиями, к которым подводится напряжение питания.

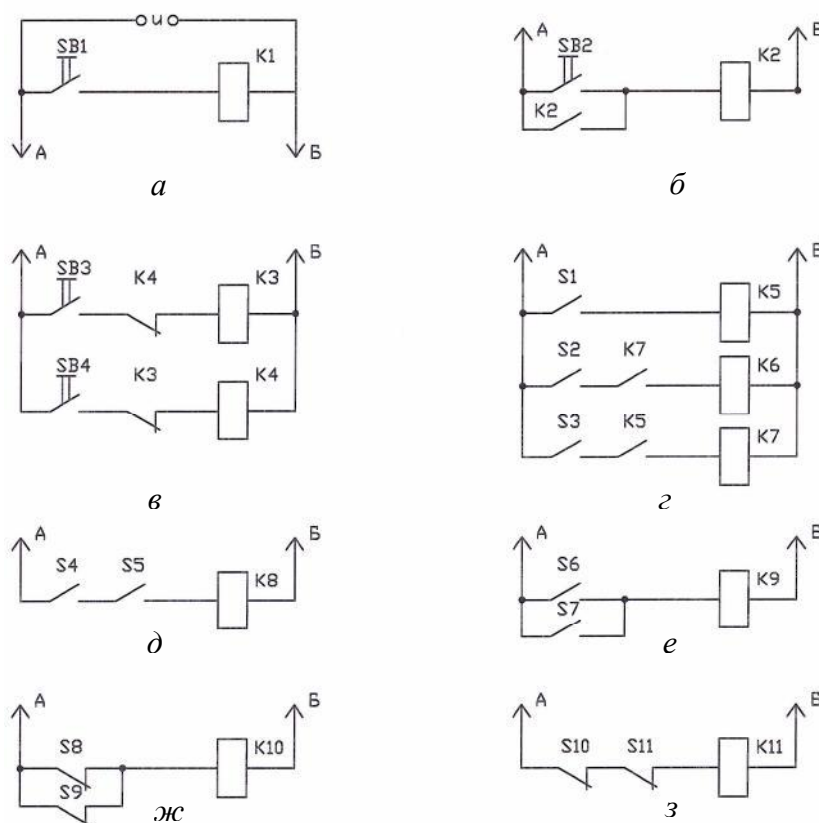


Рис. 2.38. Основные релейно-контактные схемы:

- а – схема повторителя; б – схема самоблокировки; в – схема взаимоблокировки;  
 г – схема блокировки последовательности срабатывания; д – схема, реализующая  
 логическую функцию «И»; е – схема, реализующая логическую  
 функцию «ИЛИ»; ж – схема, реализующая логическую функцию «И-НЕ»;  
 з – схема, реализующая логическую функцию «ИЛИ-НЕ»



При необходимости изображение линий электрической связи может быть разорвано. Место разрыва линии обозначается стрелкой и буквой.

Схема *повторителя* (см. рис. 2.38,а) работает следующим образом. При замыкании контакта кнопки SB1 через катушку реле K1 протекает ток, и реле срабатывает. При размыкании контакта SB1 катушка реле обесточивается, и оно отпускает, т.е. реле «повторяет» состояние кнопки.

Схема *самоблокировки* показана на рис. 2.38,б. При нажатии кнопки SB2 замыкается ее контакт, реле K2 срабатывает и своим контактом шунтирует контакт кнопки. При отпускании кнопки реле не отпускает, поскольку ток катушки проходит через контакт K2. Реле заблокировало себя во включенном состоянии, «запомнив» кратковременное нажатие кнопки.

Схема *взаимоблокировки* (см. рис. 2.38,в) исключает возможность одновременного срабатывания двух реле. При нажатии кнопки SB3 сработает реле K3 и разомкнет свой контакт в цепи катушки K4. Если после этого нажать SB4, то реле K4 не сработает, поскольку цепь катушки будет разорвана. Если первой нажать кнопку SB4, то K4 сработает и заблокирует реле K3.

Схема *блокировки последовательности срабатывания* (см. рис. 2.38,г) обеспечивает включение реле в строго определенной последовательности. Ток реле K7 не может сработать до того, как сработает реле K5, поскольку в цепи катушки K7 стоит разомкнутый контакт реле K5. А реле K6 может сработать только после срабатывания реле K7.

Схема, показанная на рис. 2.38,д, реализует *логическую функцию «И»*. Реле K8 сработает, если замкнутся и контакт S4, и контакт S5.

Схема рис. 2.38,е обеспечивает срабатывание реле K9 при замыкании одного из контактов S6 или S7. Таким образом реализуется *логическая функция «ИЛИ»*.

Реле K10 (см. рис. 2.38,ж) может быть отключено при размыкании контакта S8 или S9, т.е. реализуется *логическая функция «ИЛИ-НЕ»*.

В схеме рис. 2.38,з реализована *логическая функция «И-НЕ»*, так как реле K11 может быть отключено одновременным размыканием контактов S10 и S11.

## 2.2.8. Реле времени

Время от момента подачи тока в катушку реле до момента окончания коммутации контактов называется временем срабатывания. Время от момента прекращения тока до момента окончания коммутации контактов называется временем отпускания. У реле небольших габаритов, предназначенных для коммутации малых токов, время срабатывания и время отпускания находятся в пределах 10 ... 50 мс. На практике часто требуется иметь большие задержки при срабатывании и отпускании, тогда применяют реле времени.

Увеличение задержек реле можно получить схемными и конструктивными способами или путем использования механических замедлителей. Схема реле времени приведена на рис. 2.39,а.

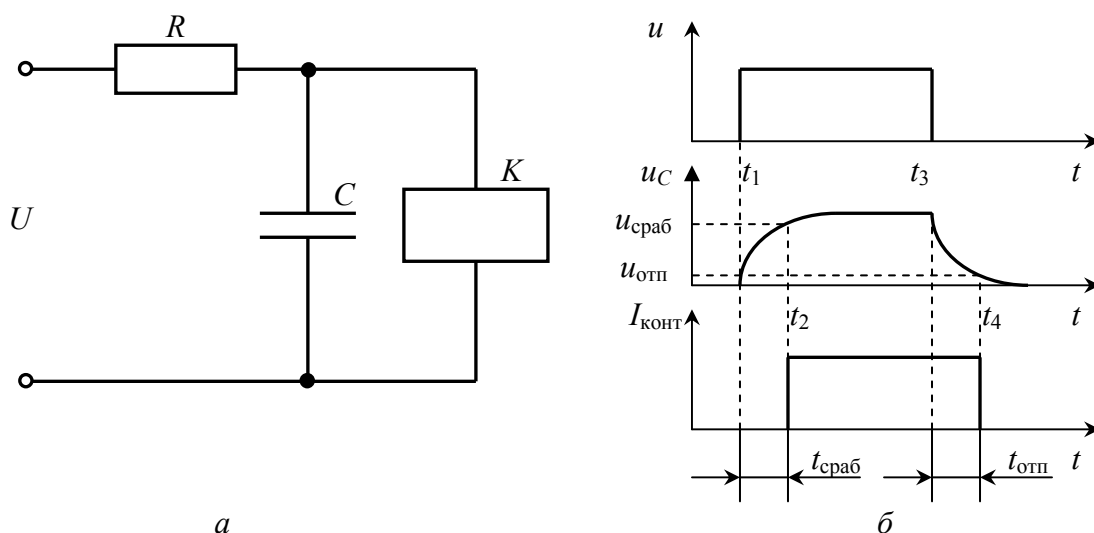


Рис. 2.39. Схемный способ реализации реле времени:  
а – схема; б – временные диаграммы

После подачи напряжения в момент времени  $t_1$  (см. рис. 2.39,б) напряжение на конденсаторе и на катушке реле растёт по экспоненте по мере зарядки конденсатора. Реле срабатывает, когда напряжение на катушке достигнет величины напряжения срабатывания (момент  $t_2$ ). Интервал от  $t_1$  до  $t_2$  – время срабатывания реле.

После снятия напряжения в момент времени  $t_3$  конденсатор постепенно разряжается, напряжение на конденсаторе и на катушке снижается. В момент  $t_4$ , когда напряжение снизится до величины напряжения отпускания, реле отпустит. Интервал от  $t_3$  до  $t_4$  является временем отпускания. Задержки срабатывания и отпускания определяются величиной постоянной времени  $T = R \cdot C$  и могут достигать до нескольких секунд.

Конструктивные способы получения задержек основаны на использовании пневматических, гидравлических или электромагнитных замедлителей. Пневматический замедлитель представляет собой цилиндр с поршнем, в котором имеется небольшое отверстие. Поршень связан с клапаном реле. При движении поршня воздух медленно перетекает через отверстие, замедляя движение поршня и клапана. Величина задержки достигает десятков секунд.

Большие задержки могут быть получены при использовании механических часовых или электромашинных замедлителей. При этом электромагнит реле запускает часовой механизм или включает электродвигатель, которые через редуктор воздействуют на контакты. Время задержки может измеряться минутами и даже часами. Один электродвигатель может управлять несколькими группами контактов при помощи нескольких профили-

рованных кулачков, каждый из которых устанавливается на собственное время задержки. Такое реле называют программным.

Условные обозначения катушки реле времени приведены на рис. 2.40.

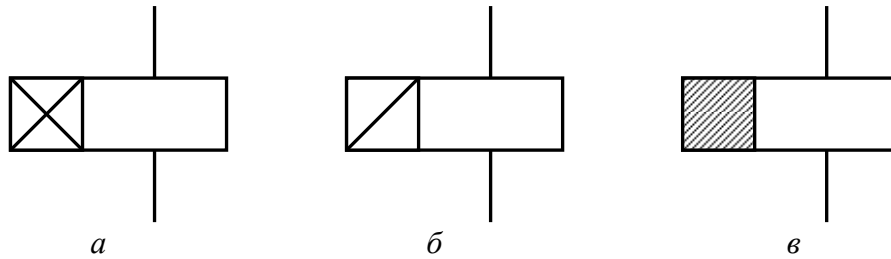


Рис. 2.40. Условные графические обозначения катушки реле времени:  
*а* – с задержкой при срабатывании; *б* – с задержкой при отпускании;  
*в* – с задержкой при срабатывании и отпускании

Обозначение замыкающих контактов реле времени показано на рис. 2.41.

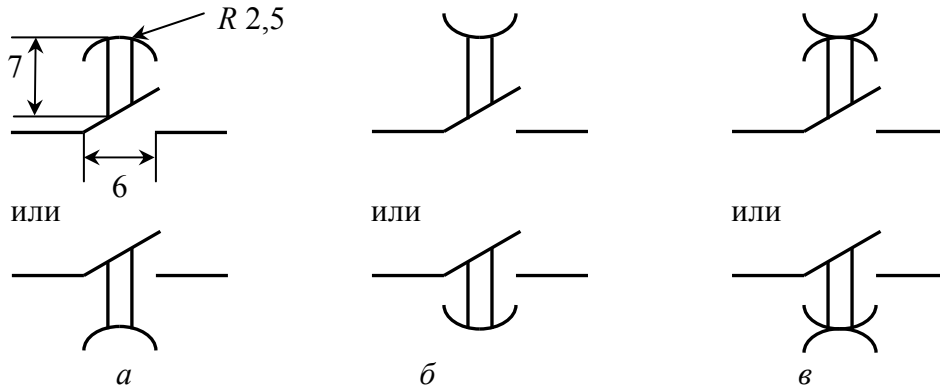


Рис. 2.41. Условные графические обозначения замыкающих контактов реле времени:  
*а* – с задержкой при срабатывании; *б* – с задержкой при отпускании;  
*в* – с задержкой при срабатывании и отпускании

Условные обозначения размыкающих контактов реле времени представлены на рис. 2.42.

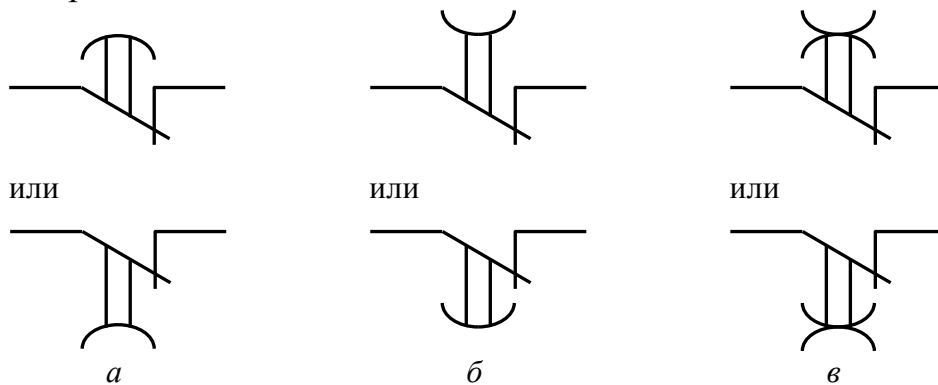


Рис. 2.42. Условные графические обозначения размыкающих контактов реле времени:  
*а* – с задержкой при срабатывании; *б* – с задержкой при отпускании;  
*в* – с задержкой при срабатывании и отпускании

По тому же принципу строятся обозначения переключающих контактов. Мнемоническое правило изображения контактов: «зонтик» на обозначении контакта препятствует перемещению подвижного элемента контакта, замедляя его замыкание или размыкание.

## 2.3. Усилители

Для повышения мощности сигналов до величины, необходимой для работы исполнительных механизмов, применяют усилители. Принцип действия всякого усилителя состоит в том, чтобы при помощи входного сигнала малой мощности управлять потоком энергии от источника питания, в результате чего на нагрузке выделяется выходной сигнал большой мощности.

По виду энергии усилители подразделяются на электрические, гидравлические и пневматические.

### 2.3.1. Электрические усилители

Наибольшее распространение получили электромеханические, магнитные и полупроводниковые усилители. Основным параметром усилителя является коэффициент усиления. Различают следующие коэффициенты усиления: по напряжению  $K_U = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ , по току  $K_I = I_{\text{вых}}/I_{\text{вх}}$  и по мощности  $K_P = P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}$ .

### Электромеханические усилители

К электромеханическим усилителям относятся электромагнитные реле, рассмотренные в предыдущем разделе. Мощность, потребляемая катушкой реле, может быть в сотни раз меньше мощности нагрузки, коммутируемой его контактами.

### Магнитные усилители

Принцип действия магнитного усилителя (МУ) основан на изменении индуктивного сопротивления рабочей обмотки при подмагничивании сердечника МУ постоянным током. Схема простейшего дроссельного МУ показана на рис. 2.43.

Усилитель содержит ферромагнитный сердечник 1, на котором размещены рабочая обмотка 2 и обмотка управления 3. Рабочая обмотка включена последовательно с источником питания и резистором нагрузки  $R_n$ . Ток в цепи определяется выражением

$$I_n = \frac{U_{\text{п}}}{\sqrt{(R_p + R_n)^2 + X_p^2}},$$

где  $R_H$  – сопротивление нагрузки,  $R_p$  – активное сопротивление рабочей обмотки,  $X_p$  – реактивное сопротивление рабочей обмотки.

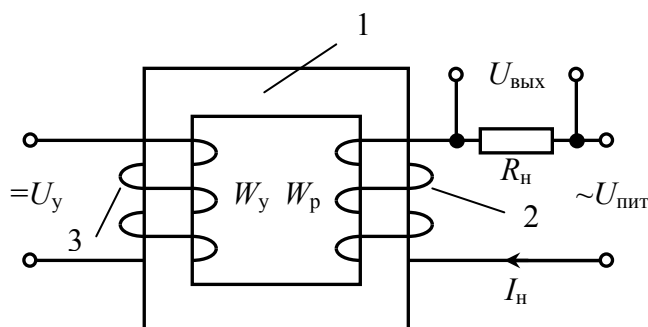


Рис. 2.43. Схема дроссельного МУ

В свою очередь  $X_p = \omega L_p$ , где  $L_p$  – индуктивность рабочей обмотки,  $\omega$  – частота напряжения питания. Индуктивность рабочей обмотки определяется по формуле

$$L_p = \mu_d \frac{S_c}{l_c} \cdot W_p^2,$$

где  $S_c$  – площадь поперечного сечения сердечника,  $l_c$  – длина сердечника,  $W_p$  – число витков рабочей обмотки,  $\mu_d$  – динамическая магнитная проницаемость материала сердечника. В последней формуле все величины кроме  $\mu_d$  постоянны. Магнитная проницаемость  $\mu_d$  зависит от напряженности магнитного поля в сердечнике, и ее величину можно изменять путем изменения тока  $I_y$  в обмотке управления, который называется также током подмагничивания. С увеличением тока подмагничивания уменьшается  $\mu_d$ , уменьшаются  $L_p$  и  $X_p$ , а ток нагрузки возрастает.

Характеристика МУ представлена на рис. 2.44.

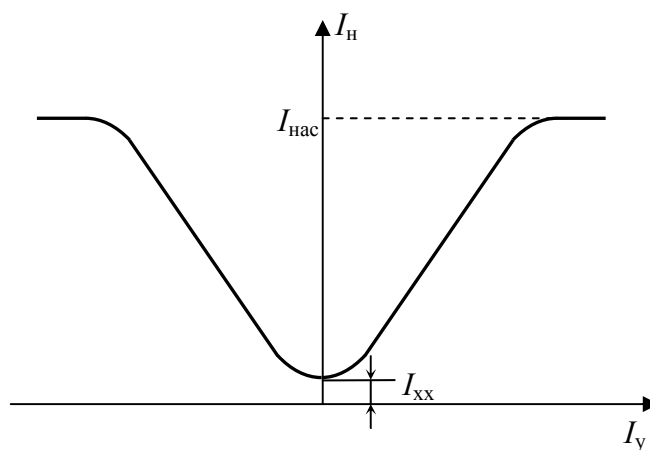


Рис. 2.44. Характеристика МУ

Величина тока холостого хода  $I_{xx}$  определяется максимальным индуктивным сопротивлением рабочей обмотки при отсутствии подмагничивания. Ток насыщения  $I_{нас}$  зависит от активного сопротивления нагрузки,

так как при сильном подмагничивании возникает насыщение материала сердечника, и индуктивное сопротивление рабочей обмотки уменьшается почти до нуля.

Дроссельный МУ не нашел практического применения, так как под действием переменного напряжения питания в обмотке управления наводится переменное напряжение, которое искажает входной сигнал.

Указанный недостаток отсутствует у МУ, выполненного на двух сердечниках (рис. 2.45,а).

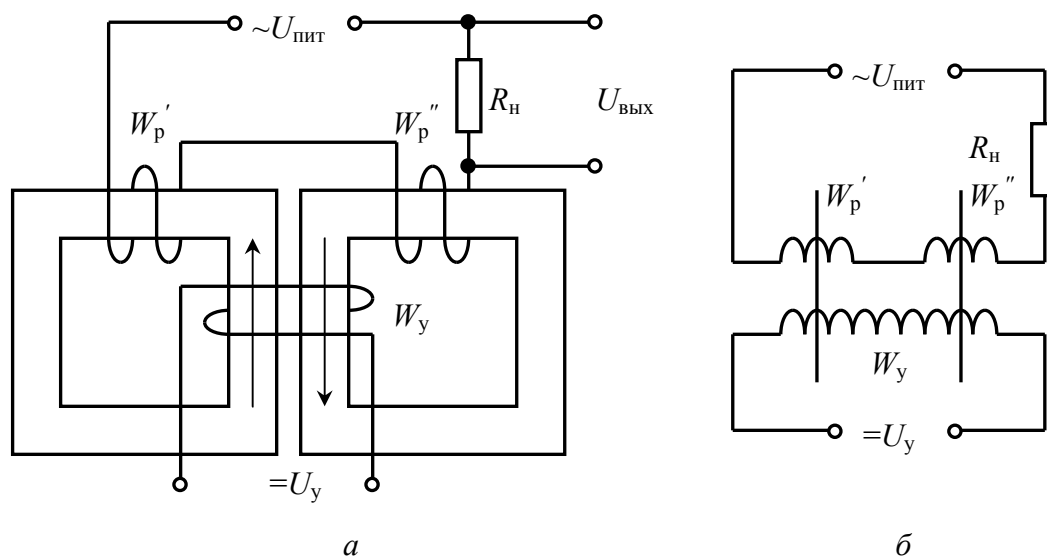


Рис. 2.45. МУ на двух сердечниках:

а – схема МУ; б – схема с использованием условных обозначений

На каждом из сердечников размещено по половине рабочей обмотки, а обмотка управления охватывает оба сердечника. Магнитные потоки, создаваемые в сердечниках половинами рабочей обмотки, равны и противоположны, поэтому ЭДС, наводимые этими потоками в обмотке управления, взаимно компенсируются. Условное обозначение МУ на схемах представлено на рис. 2.45,б. Достоинствами МУ являются: высокий коэффициент усиления по мощности, отсутствие гальванической связи между входной и выходной цепями, высокая надежность, высокая перегрузочная способность. Недостатками являются большие габариты и масса при большой выходной мощности.

## Транзисторные усилители

Элементной базой усилителей являются полупроводниковые приборы – транзисторы. Транзисторные усилители применяются для усиления электрических сигналов по напряжению и по мощности. Схемы усилителей напряжения приведены на рис. 2.46.

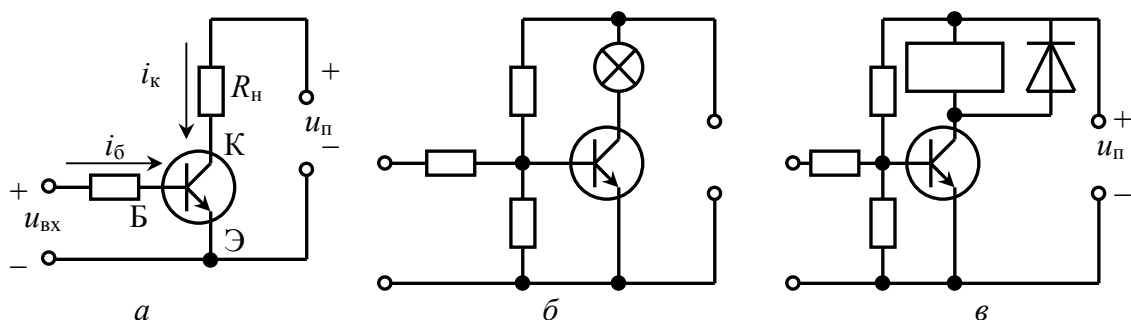


Рис. 2.46. Транзисторные усилители:  
 а – схема каскада усилителя; б – схема усилителя индикации;  
 в – схема управления реле

Биполярный транзистор имеет три электрода: эмиттер, коллектор и базу. Входной сигнал подается на базу транзистора, а при помощи эмиттера и коллектора транзистор включается в цепь, состоящую из источника питания и резистора нагрузки (см. рис. 2.46,а). Ток коллектора связан с током базы согласно выражению  $i_k = \beta i_b + I_{ко}$ , где  $\beta$  – коэффициент усиления по току (величина  $\beta$  может достигать нескольких тысяч),  $I_{ко}$  – обратный ток коллектора, величина которого очень мала.

Схема усилителя индикации с лампой накаливания в качестве нагрузки показана на рис. 2.46,б. На рис. 2.46,в приведена схема усилителя для управления электромагнитным реле. При подаче в базу управляющего сигнала положительной полярности транзистор открывается, реле срабатывает.

Достоинства транзисторных усилителей: высокий коэффициент усиления, высокий КПД, малые масса и габариты, высокая надежность.

### Тиристорные усилители

Тиристор представляет собой управляемый выпрямительный элемент, имеющий анод, катод и управляющий электрод. Тиристор включается в цепь переменного тока последовательно с нагрузкой (рис. 2.47,а).

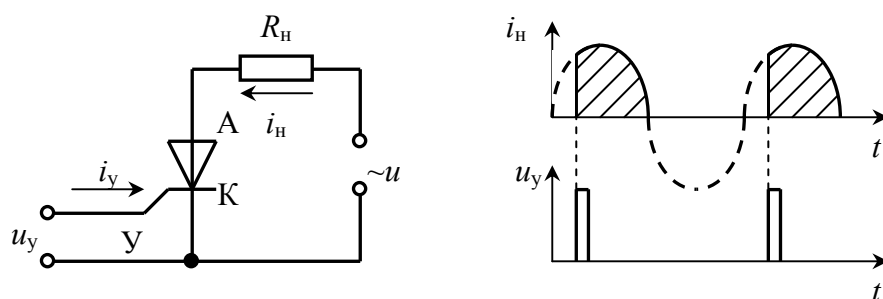


Рис. 2.47. Тиристорный усилитель:  
 а – схема включения тиристора; б – фазоимпульсное управление

При отсутствии сигнала на управляющем электроде тиристор закрыт, т.е. не пропускает ток по цепи анод–катод. При подаче импульса тока в цепь управляющего электрода тиристор открывается и пропускает ток в течение положительного полупериода переменного напряжения (рис. 2.47,б).

С уменьшением тока до нуля при смене полярности напряжения тиристор закрывается. Изменяя фазу подачи управляющего импульса, можно управлять величиной выпрямленного напряжения. Тиристорные усилители-выпрямители применяются в схемах управления электродвигателями постоянного тока.

### 2.3.2. Гидравлические усилители

Гидравлический усилитель преобразует малое усилие перемещения управляющего элемента в мощное перемещение исполнительного механизма. Входное перемещение может задаваться рычагом ручного управления, механическим датчиком или электромеханическим преобразователем. Различают дроссельные и струйные гидравлические усилители

#### Золотниковые гидравлические усилители

Наибольшее распространение получили золотниковые дроссельные усилители (рис. 2.48).

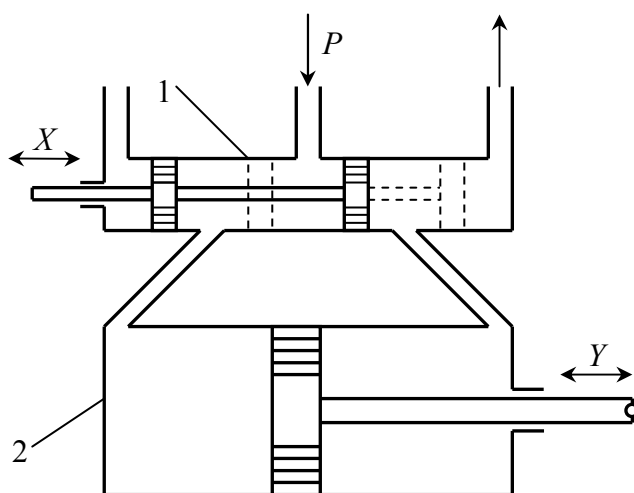


Рис. 2.48. Гидравлический золотниковый усилитель:  
1 – золотник; 2 – силовой гидроцилиндр

Роль дросселя (устройства, изменяющего площадь отверстия, через которое проходит жидкость) играет золотник 1. Золотник состоит из цилиндра с боковыми отверстиями, перекрываемыми сдвоенным поршнем. В верхнее центральное отверстие поступает рабочая жидкость (масло) под давлением от гидронасоса. Нижние отверстия соединены с противополож-



ными полостями силового гидроцилиндра 2. Входной величиной усилителя является перемещение плунжера золотника  $X$ . Золотник переключает направление потока рабочей жидкости. На рисунке золотник изображен в крайнем левом положении. При этом рабочая жидкость под давлением поступает в левую полость силового гидроцилиндра, и его поршень перемещается вправо. Жидкость из правой полости свободно сливается в гидросистему. Если золотник переставить в правое положение (изображено пунктиром), то жидкость будет поступать в правую полость гидроцилиндра, а поршень пойдет влево. В среднем положении золотник перекрывает оба нижних отверстия, и поршень гидроцилиндра фиксируется в любом промежуточном положении.

Выходной величиной усилителя является перемещение штока гидроцилиндра  $Y$ . Усилие перемещения плунжера золотника незначительно, тогда как выходное усилие, создаваемое штоком гидроцилиндра, может быть очень большим. Следует отметить, что гидроцилиндр является исполнительным механизмом.

### Струйный гидравлический усилитель

В струйном усилителе (рис. 2.49) управляющим элементом является подвижная струйная трубка 1, расположенная напротив приемных отверстий, соединенных с рабочими полостями гидроцилиндра 2.

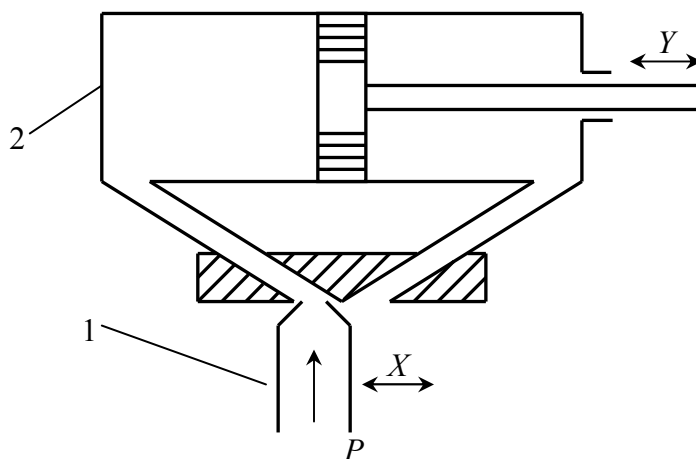


Рис. 2.49. Струйный гидравлический усилитель

Кинетическая энергия струи рабочей жидкости, вытекающей под давлением из струйной трубки, преобразуется в статическое давление жидкости в рабочих полостях цилиндра. При симметричном положении струйной трубки относительно приемных отверстий и отсутствии нагрузки на поршень давление в рабочих полостях цилиндра будет одинаковым и поршень будет неподвижен. При смещении струйной трубки влево давление в левой полости возрастет, а в правой уменьшится. Поршень сместится

вправо. При смещении трубки вправо поршень переместится влево. Достоинством струйного усилителя является высокая чувствительность к управляющему перемещению струйной трубки. Недостаток выражается в низком КПД вследствие постоянного расхода рабочей жидкости.

### 2.3.3. Пневматические усилители

Наибольшее распространение получили дроссельные пневматические усилители «сопло–заслонка» (рис. 2.50).

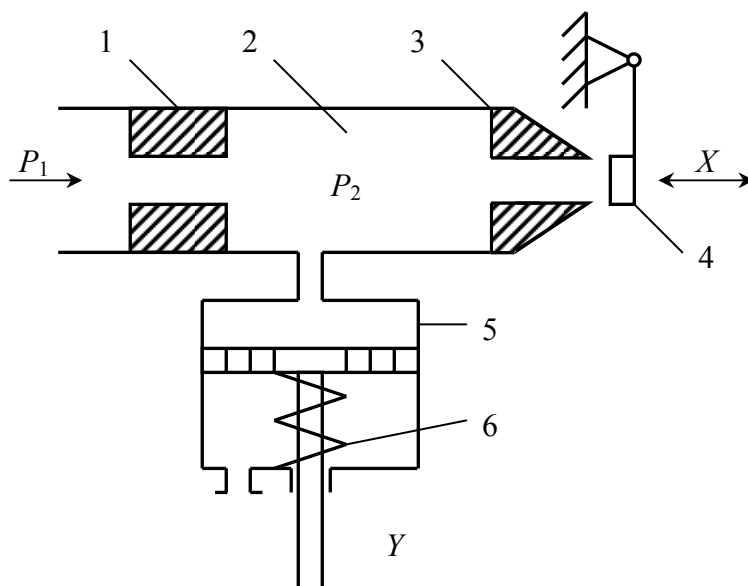


Рис. 2.50. Пневматический усилитель «сопло–заслонка»

Усилитель состоит из дросселя 1, междроссельной камеры 2, дроссельного сопла 3, заслонки 4, исполнительного пневмоцилиндра 5, пружины 6. Сжатый воздух с давлением  $P_1$  через дроссель 1 поступает в междроссельную камеру. С другой стороны камера через сопло 3, перекрываемое заслонкой 4, сообщается с атмосферой. Величина давления  $P_2$  в камере зависит от степени открытия сопла. Междроссельная камера сообщается с рабочей полостью пневмоцилиндра. Под действием давления  $P_2$  происходит перемещение поршня.

Если сопло полностью перекрыто заслонкой,  $P_2 = P_1$ , и поршень движется вниз, сжимая пружину 6. При достаточно далеко отведенной заслонке давление  $P_2$  близко к атмосферному, и поршень возвращается вверх под действием пружины. Входной величиной является перемещение заслонки  $X$ , а выходной – перемещение поршня  $Y$ . Усилие, необходимое для перемещения заслонки, во много раз меньше, чем усилие, развиваемое пневмоцилиндром, следовательно, имеет место эффект усиления.

## 2.4. Исполнительные механизмы

Исполнительные механизмы (ИМ) предназначены для воздействий на регулирующие органы в соответствии с выходным сигналом регулятора.

В зависимости от вида энергии, используемой для создания перестановочного усилия, исполнительные механизмы подразделяются на гидравлические, пневматические и электрические.

### Гидравлические ИМ

Гидравлические ИМ состоят из цилиндра с поршнем и управляющего устройства. Сила, развиваемая штоком гидроцилиндра, определяется по формуле

$$F = \Delta p \cdot \Delta f,$$

где  $\Delta p$  – перепад давлений в полостях гидроцилиндра с разных сторон поршня,  $\Delta p = p_1 - p_0$ ,  $\Delta f$  – эффективная площадь поршня, равная разности площади  $f_1$  в полости давления  $p_1$  и  $f_0$  в полости давления  $p_0$ ,  $\Delta f = f_1 - f_0$ .

В качестве управляющих устройств, изменяющих давления в полостях цилиндра, используются электромагнитные клапаны, дроссельные или струйные устройства.

Основное преимущество гидравлических ИМ – большие перестановочные усилия, недостаток – необходимость создания специальной гидравлической системы питания.

### Пневматические ИМ

Пневматические ИМ в зависимости от вида чувствительного элемента, воспринимающего энергию сжатого воздуха и преобразующего ее в перестановочное усилие на выходном элементе, подразделяют на поршневые, мембранные, сильфонные и лопастные.

Наибольшее распространение получили мембранные ИМ (рис. 2.51).

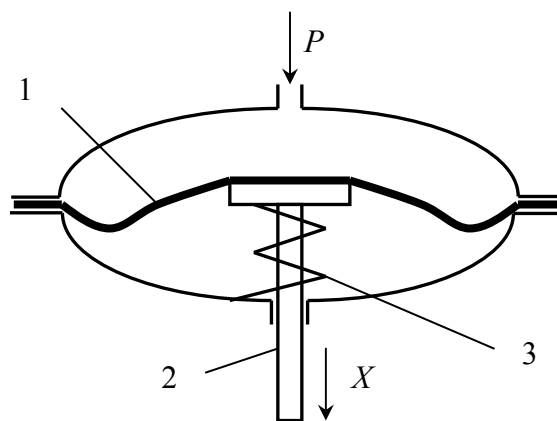


Рис. 2.51. Пневматический мембранный ИМ

Гибкая мембрана 1 под действием давления  $P$  прогибается и перемещает шток 2. После снятия давления мембрана и шток возвращаются в исходное положение пружиной 3. Для управления подачей воздуха могут использоваться дроссельные или струйные устройства, но чаще применяются электромагнитные клапаны.

Преимущества пневматических ИМ – простота конструкции, низкая стоимость, пожаро- и взрывобезопасность. Недостатки – ограниченность расстояния между исполнительным механизмом и регулирующим устройством, а также необходимость наличия системы снабжения сжатым воздухом.

### Электрические ИМ

В электрических ИМ используются электромагниты или электродвигатели. В вентилях и клапанах с электромагнитным приводом при протекании тока через обмотку электромагнита его якорь втягивается и открывает доступ жидкости или газу сразу на полный проход, т.е. эти устройства являются двухпозиционными. В простом электромагнитном ИМ ток через катушку электромагнита должен протекать все время, пока клапан открыт. Это приводит к увеличенному потреблению электроэнергии и перегреву катушки.

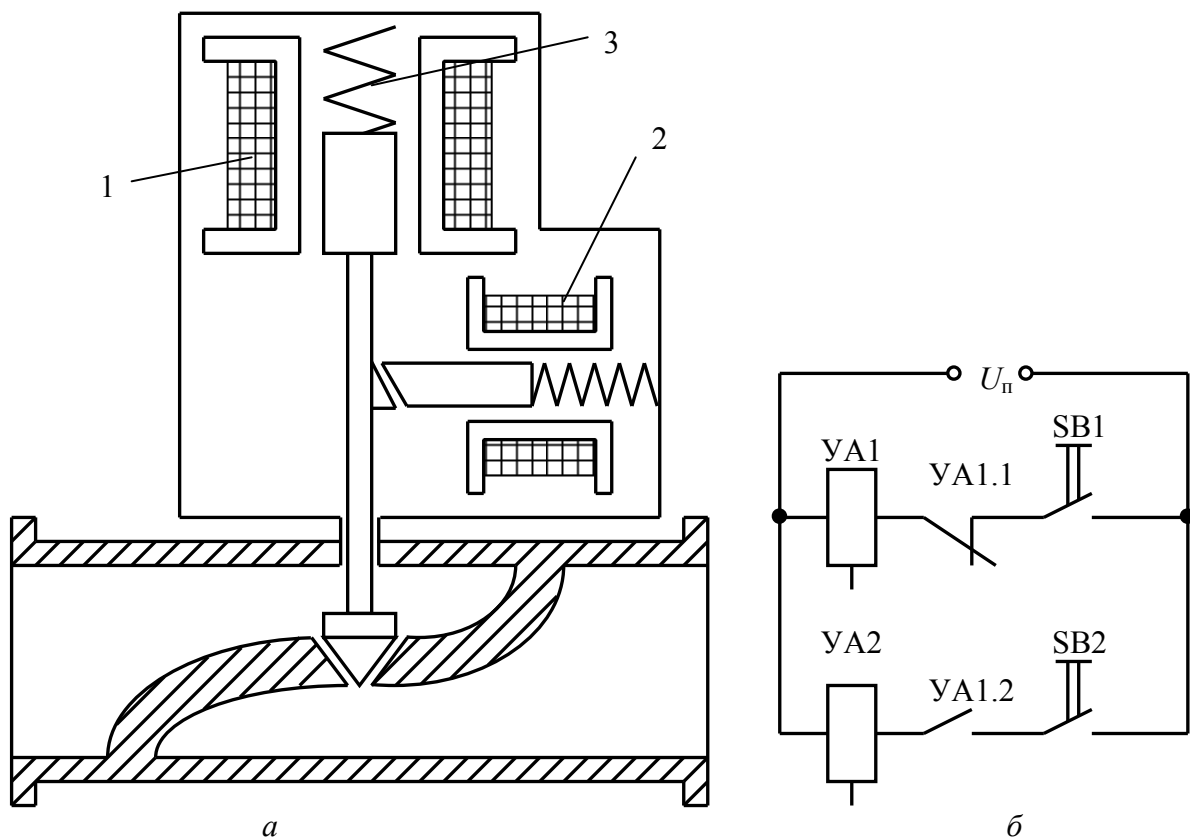


Рис. 2.52. Электромагнитный клапан с защелкой:  
а – устройство клапана; б – схема управления

Электромагнитный ИМ с защелкой (рис. 2.52,*а*) имеет два электромагнита. Основной электромагнит *I*, втягивая якорь, открывает клапан. При этом защелкивается механическая защелка, и якорь удерживается в верхнем положении даже при отключении электромагнита. Электромагнит 2 предназначен для выдергивания защелки при необходимости закрыть клапан. Неудерживаемый защелкой якорь перемещается вниз под действием пружины 3 и закрывает клапан.

Схема управления электромагнитами приведена на рис. 2.52,*б*. Основной электромагнит УА1 снабжен двумя контактами. УА2 – электромагнит защелки. Кнопка SB1 предназначена для открывания клапана, а SB2 – для закрывания.

При нажатии кнопки SB1 (открыть) срабатывает электромагнит УА1 и контактом УА1.1 разрывает цепь питания своей катушки. Однако отпущения не происходит, так как якорь электромагнита удерживается защелкой. Контакт УА1.2, замыкаясь, подготавливает цепь катушки электромагнита защелки. При нажатии кнопки SB2 (закрыть) срабатывает электромагнит УА2, выдергивает защелку, и клапан закрывается. Контакт УА1.2 размыкается и обесточивает катушку УА2.

Электрические ИМ с электродвигателем предназначены для перемещения органов запорно-регулирующей трубопроводной арматуры поворотного принципа действия (шаровые и пробковые краны, поворотные дисковые затворы, заслонки).

Основными узлами ИМ являются: электродвигатель, редуктор, ручной привод, блок сигнализации положения. В механизмах используются синхронные и асинхронные двигатели переменного тока. Понижение частоты вращения и увеличение крутящего момента осуществляются при помощи комбинированных червячно-зубчатых передач. Ручное управление производится при помощи ручного привода. Воздействие на штурвал нажатием вдоль оси вала при остановленном двигателе приводит к зацеплению ручного привода с валом электродвигателя и передаче крутящего момента на выходной вал.

ИМ с электродвигателем бывают однооборотные и многооборотные, позиционные и пропорциональные. Схема двухпозиционного ИМ с двухфазным конденсаторным электродвигателем приведена на рис. 2.53,*а*.

Переключатель SA задает направление вращения ротора электродвигателя, подключая конденсатор *C* либо к одной, либо к другой обмотке электродвигателя. Если переключателем SA замкнуть цепь, содержащую SQ1, то электродвигатель включается и перемещает выходной орган ИМ до тех пор, пока он не достигнет крайнего положения и не переключит концевой выключатель SQ1. При этом контакт SQ1 разомкнется, двигатель отключится. Чтобы перевести выходной орган ИМ в другое крайнее положение, необходимо переключить SA. Двигатель реверсируется и будет работать до размыкания контакта концевой выключателя SQ2.

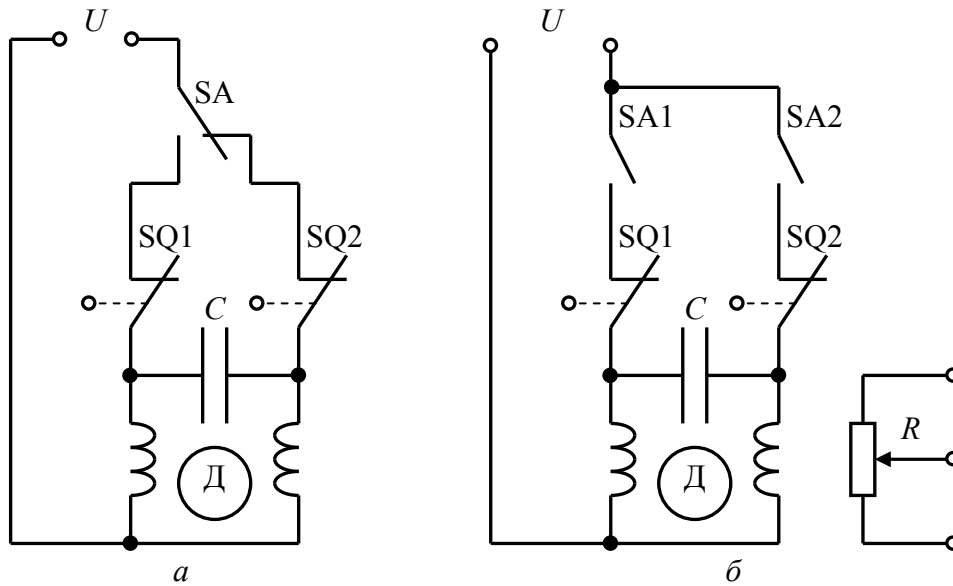


Рис. 2.53. Схемы ИМ с двухфазными электродвигателями:  
*а* – схема двухпозиционного ИМ; *б* – схема пропорционального ИМ

Схема пропорционального ИМ представлена на рис. 2.53,б. Замыкание контакта SA1 вызывает перемещение выходного органа ИМ в прямом направлении, а замыкание SA2 – в обратном. Разомкнув контакт, можно остановить ИМ в любом промежуточном положении выходного органа. Потенциометр *R* используется в качестве датчика положения. Концевые выключатели SQ1 и SQ2 отключают электродвигатель в крайних положениях, защищая ИМ от поломки.

Схема ИМ с трехфазным электродвигателем представлена на рис. 2.54.

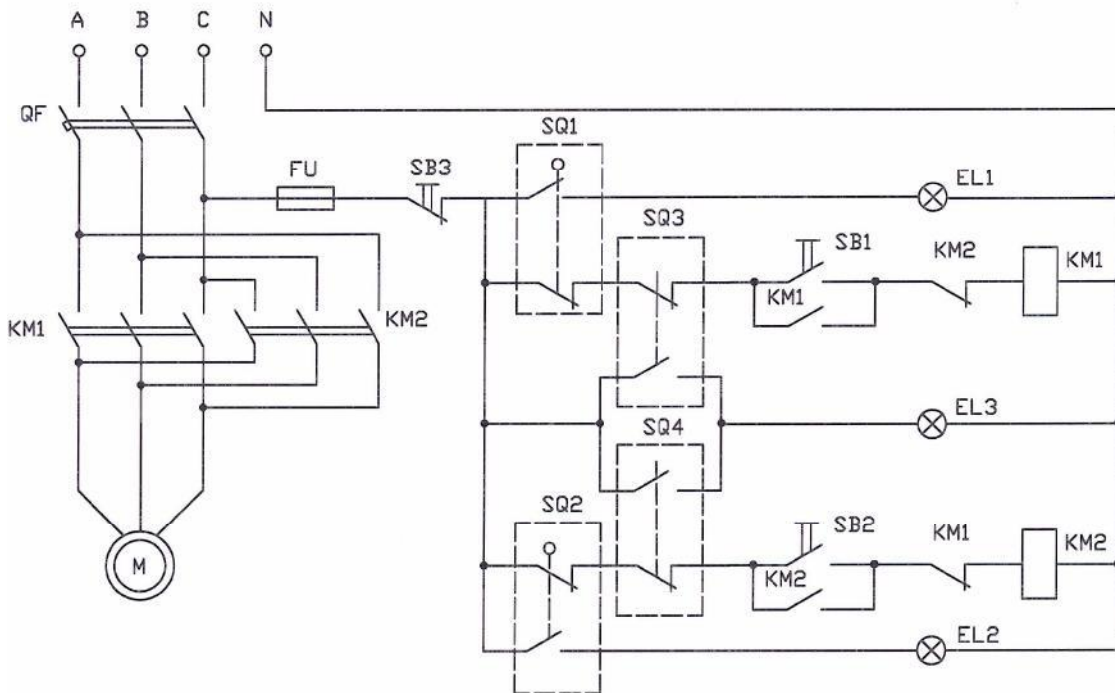


Рис. 2.54. Схема ИМ с трехфазным электродвигателем

Такой ИМ может использоваться, например, для управления задвижкой. Схема содержит контактор КМ1, включающий механизм на открывание задвижки, с кнопкой SB1 «открыть» и контактор КМ2 с кнопкой SB2 «заккрыть». Концевой выключатель SQ1 срабатывает в крайнем положении «заккрыто». На схеме концевые выключатели изображены в среднем положении задвижки, ни один из них не сработал.

При нажатии кнопки SB1 сработает КМ1 и включит электродвигатель на открывание задвижки. В крайнем открытом положении сработает SQ1 и своим размыкающим контактом отключит КМ1 и, соответственно, электродвигатель, а замыкающим контактом включит лампочку сигнализации EL1 «открыто».

Если после этого нажать кнопку SB2, то сработает КМ2 и включит электродвигатель на закрывание задвижки. Когда задвижка закроется, сработает SQ2, отключит КМ2 и включит сигнализацию «заккрыто» (EL2).

ИМ оборудован муфтой предельного крутящего момента. В случае превышения момента на валу, например, при заклинивании задвижки в процессе открывания, сработает выключатель SQ3 и отключит электродвигатель, отключив контактор КМ1. При заклинивании механизма в процессе закрывания сработает SQ4 и отключит КМ2 и электродвигатель. Оба выключателя при срабатывании включают лампу индикации EL3 «авария». Кнопкой SB3 можно остановить электродвигатель в промежуточном положении задвижки.

## 2.5. Регулирующие органы

Устройство, позволяющее изменять расход вещества, подающегося на объект, называется регулирующим органом (РО). Параметрами РО являются диапазон регулирования и рабочая расходная характеристика. Диапазон регулирования определяется отношением максимального расхода  $F_{\max}$  к минимальному  $F_{\min}$ , соответствующим перемещению РО из одного крайнего положения в другое,

$$R = \frac{F_{\max}}{F_{\min}}.$$

Зависимость расхода  $F$  от положения РО  $\eta$  называется расходной характеристикой:  $F = f(\eta)$ . РО подразделяются на питатели и элементы запорной арматуры.

В *ленточном питателе с объемным регулированием расхода* материал на транспортерную ленту поступает из бункера через воронку в его нижней части. На фронтальной грани воронки располагается заслонка. При перемещении заслонки в вертикальном направлении изменяется ширина щели между лентой и заслонкой, соответственно, изменяется производительность питателя.

В ленточных питателях с изменяемой скоростью движения транспортной ленты изменение производительности достигается путем изменения частоты вращения электродвигателя, приводящего в движение ленту.

*Вибрационные питатели* предназначены для подачи сыпучего материала из бункера, под которым расположен наклонный лоток, связанный с вибратором. Материал под действием вибрации соскальзывает с лотка, причем расход материала в единицу времени определяется амплитудой вибрации.

*Шнековые питатели* применяют для мелкодисперсных материалов. Материал подается при помощи вращающегося шнека, изменяя частоту вращения которого можно изменять производительность питателя.

Элементы запорной арматуры относятся к РО дроссельного типа. Они изменяют расход вещества за счет изменения скорости и площади поперечного сечения потока жидкости или газа при прохождении через дроселирующее устройство с изменяемым гидравлическим сопротивлением. Получили распространение следующие разновидности запорной арматуры.

*Вентиль* – запорная арматура для труб небольшого диаметра (до 200 мм). Открывание и закрывание вентиля осуществляются вращением шпинделя.

*Кран* – трубопроводный вентиль с ограниченным (около 180°) углом поворота шпинделя. Существуют пробочные и шаровые краны.

*Клапан* – элемент запорной арматуры с прямоходовым перемещением плунжера, отличается повышенной сложностью конструкции и линейной расходной характеристикой.

*Задвижка* – запорная арматура для труб большого диаметра. По форме затвора они подразделяются на параллельные и клиновые. Управление задвижкой осуществляется вращением шпинделя. Задвижки имеют нелинейную расходную характеристику.

*Заслонка* (поворотный затвор) применяется для регулирования расхода газа при малых давлениях. Поворотные заслонки бывают круглой или прямоугольной формы.

*Шибер* – (щитовой затвор) используется для регулирования расхода жидкости в открытых каналах.

### Контрольные вопросы

1. Приведите классификацию датчиков.
2. Перечислите основные параметры датчиков.
3. Как включаются реостатные датчики?
4. Какие погрешности характерны для реостатных датчиков?
5. Для чего применяются тензодатчики?
6. Как наклеивают тензодатчики на балку?
7. Что такое мостовая схема и для чего она применяется?



8. Как осуществляется компенсация температурной погрешности тензодатчиков?
9. Для чего можно использовать индуктивные датчики?
10. Как устроен дифференциальный индуктивный датчик?
11. В чем заключаются преимущества дифференциального индуктивного датчика?
12. Как работает трансформаторный датчик?
13. Как включаются обмотки дифференциального индуктивного датчика?
14. Какие существуют разновидности емкостных датчиков?
15. Для каких измерений используются пьезоэлектрические датчики?
16. Какое физическое явление используется в индукционных датчиках?
17. Как устроен и как работает индукционный датчик частоты вращения?
18. Как устроен и как работает тахогенератор переменного тока?
19. Как колебания струны преобразуются в электрический сигнал?
20. Чем определяется точность цифровых датчиков?
21. Из каких элементов состоит электромагнитное реле?
22. В чем состоит отличие поляризованного реле от нейтрального?
23. Как устраняется дребезг клапана в реле переменного тока?
24. Что является входной величиной биметаллического реле?
25. В чем состоят особенности совмещенного и разнесенного способов изображения реле на схемах?
26. Для чего применяется схема самоблокировки?
27. Для чего применяется схема взаимоблокировки?
28. В чем заключается схемный способ реализации реле времени?
29. Как обозначаются реле времени на схемах?
30. Из каких элементов строятся электрические усилители?
31. Чем объясняется эффект усиления гидравлического усилителя?
32. Как работает усилитель типа «сопло–заслонка»?
33. Каково назначение исполнительных механизмов?
34. Для чего в электромагнитном ИМ нужна защелка?
35. Чем пропорциональный ИМ отличается от позиционного?
36. Каково назначение концевых выключателей в ИМ?
37. Перечислите разновидности питателей.
38. Перечислите разновидности запорной арматуры.

### **3. ПОСТРОЕНИЕ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Единая система конструкторской документации (ЕСКД) устанавливает четыре вида схем: электрические, гидравлические, пневматические и кинематические. Определены семь типов схем: структурные, функциональные, принципиальные (полные), соединений (монтажные), подключений, общие, расположения.

Структурная схема определяет основные функциональные части устройства, их назначение и взаимосвязи.

Функциональная схема разъясняет определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях установки или в установке в целом.

Принципиальная (полная) схема определяет полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дает детальное представление о принципах работы установки.

Общая схема определяет составные части комплекса и соединение их между собой на месте эксплуатации.

Другие типы схем содержат графические данные, вытекающие из их названия.

#### **3.1. Структурная схема**

На структурной схеме функциональные части системы или устройства изображаются в виде прямоугольников, соединенных линиями связи со стрелками, показывающими направление передачи информации. Примеры структурных схем показаны в разделе 1.

#### **3.2. Функциональная схема автоматизации**

Основным техническим документом, определяющим структуру и характер систем автоматизации технологических процессов, а также оснащение их приборами и средствами автоматизации, является функциональная схема автоматизации.

Функциональная схема автоматизации содержит упрощенное изображение технологической схемы автоматизируемого процесса или агрегата. Технологическая схема состоит из цепи устройств или агрегатов, расположенных в соответствии с технологическим процессом. Оборудование на схеме показывается в виде условных изображений, соединенных между собой линиями технологических связей, которые отражают направление потоков вещества или энергии.



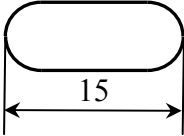
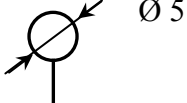
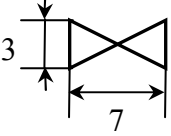

На функциональной схеме изображаются элементы системы автоматического контроля, регулирования, дистанционного управления, сигнализации, защиты и блокировок. Все элементы системы управления показы-

ваются в виде условных изображений и объединяются в единую систему линиями функциональной связи. Нанесенные на условных изображениях буквенные обозначения отражают функции, выполняемые аппаратурой управления. Кроме того, на схеме даются текстовые пояснения, отражающие назначение и характеристики технологических агрегатов, величины контролируемых и регулируемых параметров, условия блокировки и сигнализации.

В настоящее время используется система условных обозначений приборов (ГОСТ 21.404-85). Графические обозначения приборов и средств автоматизации приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Условные обозначения приборов и средств автоматизации  
по ГОСТ 21.404-85

Наименование	Изображение
Прибор, устанавливаемый по месту	
Прибор, устанавливаемый на щите	
Допускаемое обозначение прибора	
Исполнительный механизм	
Регулирующий орган	
Линия функциональной связи	

Большинство средств автоматизации (датчики, вторичные приборы, магнитные пускатели, переключатели, кнопки управления и т.д.) обозначаются окружностью диаметром 10 мм, выполненной основной (толстой)

линией. Элементы, устанавливаемые на щите или пульте управления, в обозначении содержат дополнительно тонкую горизонтальную линию.

Условные обозначения средств автоматизации могут размещаться на изображении технологической установки вблизи соответствующих трубопроводов и агрегатов, либо группироваться в специально выделенных полях «приборы по месту», «приборы на щите» в нижней части схемы.

В верхней части круга, обозначающего прибор, наносятся буквенные обозначения с использованием букв латинского алфавита.

### **Обозначения измеряемых (управляемых) величин**

- A* – резерв;
- B* – резерв;
- C* – резерв;
- D* – плотность;
- E* – электрическая величина (напряжение, ток, мощность и т.д.);
- F* – расход;
- G* – размер, перемещение;
- H* – ручное воздействие;
- I* – резерв;
- J* – резерв;
- K* – время, временная программа;
- L* – уровень;
- M* – влажность;
- N* – резерв (магнитные пускатели и другая аппаратура управления электродвигателями);
- O* – резерв;
- P* – давление;
- Q* – состав, концентрация;
- R* – радиоактивность;
- S* – скорость, частота;
- T* – температура;
- U* – несколько измеряемых величин;
- V* – вязкость;
- W* – масса;
- X* – nereкомендованная резервная буква;
- Y* – резерв;
- Z* – резерв.

### **Дополнительные значения, уточняющие измеряемую величину**

- D* – разность;
- F* – соотношение;
- J* – автоматическое переключение, обегание;
- Q* – интегрирование, суммирование по времени.

## Функциональные признаки приборов

Отображение информации:

*A* – сигнализация;

*I* – показание;

*R* – регистрация.

Формирование выходного сигнала:

*C* – регулирование;

*S* – включение, отключение, переключение, блокировка.

Дополнительные значения:

*H* – верхний предел измеряемой величины;

*L* – нижний предел измеряемой величины;

*E* – чувствительный элемент (первичное преобразование);

*T* – дистанционная передача (бесшкальный прибор с дистанционной передачей сигнала);

*K* – станция управления (прибор, имеющий переключатель для выбора вида управления и устройство для дистанционного управления);

*Y* – преобразование, вычислительная функция.

Дополнительные обозначения, применяемые для построения преобразователей сигналов и вычислительных устройств (наносятся справа от графического обозначения прибора);

*E* – электрический сигнал;

*P* – пневматический сигнал;

*G* – гидравлический сигнал;

*A* – аналоговый сигнал;

*D* – дискретный сигнал.

Функции преобразования сигналов обозначаются соответствующими математическими знаками:  $\Sigma$ ,  $\sqrt{\phantom{x}}$ ,  $\lg$ ,  $dx/dt$ ,  $\max$ ,  $\min$  и др.

Обозначения технологических параметров и функциональных признаков записываются в верхней части круга. Порядок расположения буквенных обозначений (слева направо) должен быть следующим:

- обозначение основной измеряемой величины;
- обозначение, уточняющее (если необходимо) основную измеряемую величину;
- обозначение функционального признака прибора.

Функциональные признаки (если их несколько в одном приборе) также располагаются в определенном порядке: *I*, *R*, *C*, *S*, *A*.

В нижней части круга или под чертой щитового прибора указывается номер позиции.

Связи между технологическим оборудованием и установленными на нем первичными преобразователями (датчиками), а также связи между приборами и средствами автоматизации на схеме обозначают тонкими сплошными линиями. К условным изображениям приборов и средств ав-

томатизации линии связи допускается подводить с любой стороны: сверху, снизу, сбоку и под углом. Линии связи должны проходить по кратчайшему пути и иметь минимальное число изгибов и пересечений. Допускается пересечение линиями связи изображений технологического оборудования и коммуникаций. Пересечение линиями связи условных обозначений приборов и средств автоматизации не допускается. Допускается разрывать линии связи, при этом оба конца разорванной линии нумеруются одинаковыми арабскими числами. В месте соединения линий связи ставится точка. При необходимости указания направления передачи сигнала на линии связи наносятся стрелки.

Примеры условных обозначений приборов и средств автоматизации приведены на рис. 3.1 и в приложении 3.

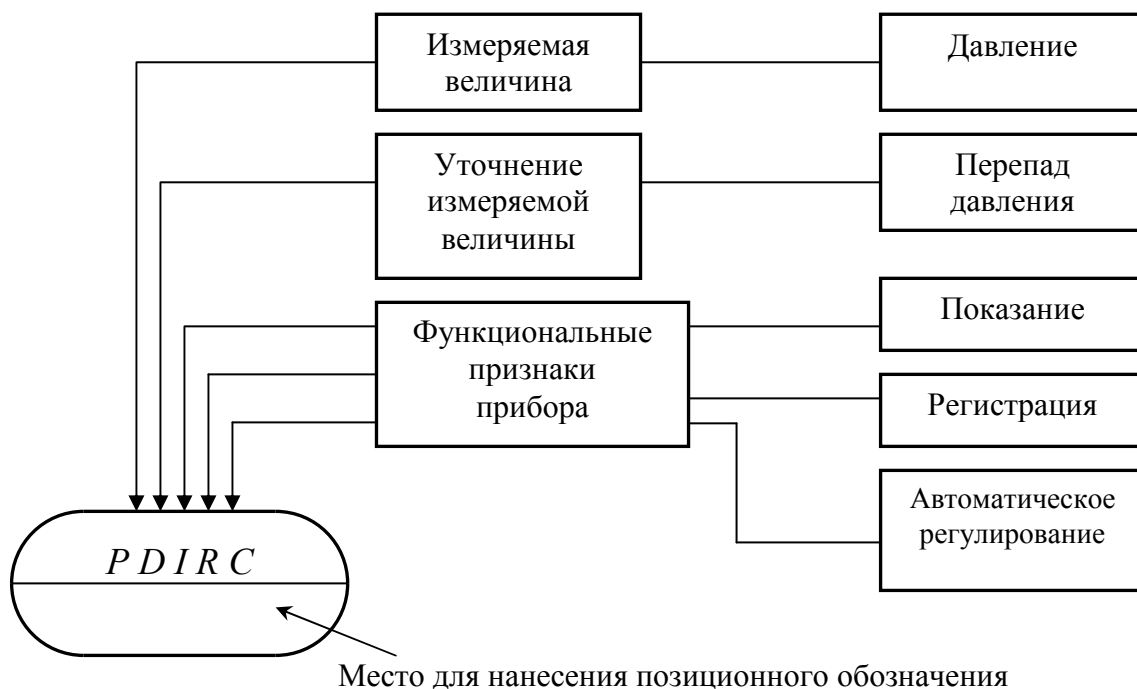
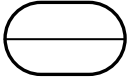

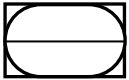



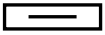





Рис. 3.1. Пример построения условного обозначения прибора для измерения, регистрации и автоматического регулирования перепада давления

На производстве и в технической литературе прошлых лет встречаются функциональные схемы автоматизации, выполненные согласно ГОСТ 3925-59. Соответствующие условные графические обозначения элементов схем автоматизации приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

## Условные графические обозначения элементов схем автоматизации

Элемент схем автоматизации	Изображение	Элемент схем автоматизации	Изображение
<i>Измерительные и регулирующие приборы</i>			
Прибор измерительный, основное изображение		Прибор измерительный, допускаемое изображение	
Прибор регулирующий (сигнализирующий), основное изображение		Прибор регулирующий (сигнализирующий), допускаемое изображение	
Прибор измерительный и регулирующий (сигнализирующий) в одном корпусе, основное изображение		Прибор измерительный и регулирующий (сигнализирующий) в одном корпусе, допускаемое изображение	
<i>Виды передач дистанционного воздействия</i>			
Электрическая передача		Пневматическая передача	
Гидравлическая передача		Механическая передача	
<i>Приемные устройства</i>			
Термопара одинарная		Термометр расширения стеклянный электрический	
Термометр сопротивления одинарный		Термобаллон манометрического термометра	
Сужающее устройство для измерения расхода по перепаду давления (острие изображения направляется против потока)		Расходомер постоянного перепада	

Продолжение табл. 3.2

Элемент схем автоматизации	Изображение	Элемент схем автоматизации	Изображение
Приемное устройство расходомера электромагнитного		Счетчик жидкости, газа	
Приемное устройство поплавковое (уровнемера, плотномер и др.)		Приемное устройство ультразвуковое (расходомера, уровнемера и др.)	
Приемное устройство измерителя потока		Отборное устройство давления, уровня, состава газов и жидкостей	
Приемное устройство емкостное (уровнемера, толщиномер и др.)		Приемное устройство фотометрическое (уровень и др.)	
Приемное устройство влагомера		Приемное устройство для измерения физико-химического состава и качества вещества (содержание, вязкость, запыленность, мутность, концентрация и др.)	
<i>Исполнительные механизмы и регулирующие органы</i>			
Исполнительный механизм поршневой		Исполнительный механизм электромагнитный (соленоидный)	
Исполнительный механизм мембранный		Исполнительный механизм с электродвигателем (а – переменного тока, б – постоянного тока)	а)  б) 
Шибер регулирующий			



Окончание табл. 3.2

Элемент схем автоматизации	Изображение	Элемент схем автоматизации	Изображение
Заслонка регулирующая		Клапан регулирующий проходной	
<i>Дополнительные устройства</i>			
Сосуд разделительный или уравнивательный		Сосуд конденсационный	

Внутри изображения прибора над горизонтальной чертой вписывается буквенное обозначение контролируемой или регулируемой величины:

Температура	$t$	Влажность	$m$
Давление	$P$	Доза радиоактивного излучения	$D$
Расход	$G$	Мутность, цветность	$\Phi$
Уровень	$H$	Концентрация	$C$
Вязкость	$\mu$		

Функциональные признаки прибора вписываются под чертой внутри изображения прибора:

Показывающий	П	Статический	Ст
Самопишущий	С	Астатический	Ас
Интегрирующий	И	Дифференцирующий	Дф
Измеряющий	Им	Позиционный	Пз
Преобразовывающий	Пр	Задающий	Зд
Усиливающий	Ус	Программный	Пр
Следящий	Сл	Дозирующий	Дз
Сигнализирующий	Сг	Изодромный	Из

Пример функциональной схемы автоматизации установки хлорирования воды, выполненной по прошлому и действующему стандартам, приведен на рис. 3.2.

Цепь приборов с позиционным обозначением 1..., содержащая показывающий манометр 1-1 с дистанционной подачей сигнала, расположенный по месту, и вторичный, показывающий и сигнализирующий прибор давления 1-2, размещенный на щите, предназначена для контроля давления воды, поступающей на обработку.

Приборы с позиционным обозначением 2 ... выполняют функции, связанные с дозированием хлора. Хлор из хлоратора А2 подается в эжектор А1, где происходит его смешивание с водой. Подача хлора производится через регулирующий клапан 2-12, управляемый при помощи регулятора 2-9 в функции расхода воды, поступающей на обработку, и с учетом концентрации остаточного хлора в обработанной воде.

Расход воды измеряется датчиком 2-1, преобразователем с дистанционной передачей сигнала 2-2 и интегрирующим, показывающим и регистрирующим расходомером 2-5. Концентрация остаточного хлора контроли-

Вода до  
обработки

Обработанная  
вода

Рис. 3.2. Функциональная схема автоматизации установки хлорирования воды:  
а – по ГОСТ 3925-59; б – по ГОСТ 21.404-85

Сигнал управления на исполнительный механизм 2-12 от регулятора 2-9 подается через ручной переключатель 2-10 и магнитный пускатель 2-11. Можно заметить, что на схеме, выполненной по ГОСТ 21.404-85, отображаются только функциональные признаки приборов без конкретизации конструктивных особенностей, а также не уточняется закон регулирования, реализуемый регулятором.

### 3.3. Принципиальная электрическая схема

Принципиальная схема определяет полный состав элементов и связи между ними и дает детальное представление о принципах работы изделия. На ней изображают все электрические элементы и все электрические связи между ними. Элементы схемы показывают условными графическими обозначениями. Условные графические обозначения элементов электрических схем приведены в приложении 1. Каждый элемент схемы должен иметь буквенно-цифровое обозначение (приложение 2). Все устройства на схеме изображают в исходном (отключенном) состоянии при отсутствии механических или электромагнитных воздействий. В качестве примера принципиальной электрической схемы можно использовать рис. 2.54.

Элементы типа реле, содержащие большое число контактов, могут быть изображены на схеме либо совмещенным, либо разнесенным способами. При совмещенном изображении составные части элементов или устройств изображаются на схеме в непосредственной близости друг к другу, при разнесенном – в разных местах схемы для большей наглядности отдельных цепей.

Схемы рекомендуется выполнять строчным способом: условные графические обозначения устройств и их составных частей, входящих в одну цепь, изображают последовательно друг за другом по прямой, а отдельные цепи – рядом в виде параллельных горизонтальных или вертикальных строк. При этом строки могут нумероваться арабскими цифрами.

### Контрольные вопросы

1. Для чего используются линии связи на структурной схеме?
2. Как изображаются приборы, установленные по месту и на щите?
3. Какие обозначения наносятся в верхней части условного обозначения прибора?
4. Какие обозначения наносятся в нижней части условного обозначения прибора?
5. Приведите обозначение первичного преобразователя расхода.
6. Приведите обозначение расходомера со шкалой.

7. Приведите обозначение интегрирующего расходомера (счетчика) со шкалой.
8. Приведите обозначение термометра сопротивления.
9. Приведите обозначение регулятора температуры, установленного на щите.
10. Приведите обозначение показывающего и регистрирующего манометра.
11. Приведите обозначение дифференциального манометра.
12. Приведите обозначение манометра сигнализирующего.
13. Приведите обозначение кнопки управления.
14. Приведите обозначение ручного переключателя, установленного на щите.
15. Приведите обозначение уровнемера, сигнализирующего достижение верхнего уровня.

## 4. АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

### 4.1. Измерение температуры

*Температура* – физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия системы и являющаяся одним из основных параметров инженерных систем. Для измерения температуры предложены различные температурные шкалы.

В *термодинамической температурной шкале* нижней границей основного температурного интервала служит точка абсолютного нуля (0 К), а в качестве верхней границы принята «тройная точка воды». Этой точке было присвоено числовое значение 273,16 К. Тройной точкой воды называется температура равновесия между тремя фазами воды: твердой (лед), жидкой и газообразной (пар). Единицей термодинамической температуры является Кельвин, равный 1/273,16 части интервала от абсолютного нуля до температуры тройной точки воды.

На практике чаще применяется *международная практическая температурная шкала*. По этой шкале за реперные точки, ограничивающие основной температурный интервал, были приняты точка плавления льда (0 °С) и точка кипения воды (100 °С) при нормальном атмосферном давлении. Единицей температуры является градус Цельсия, равный 1/100 части основного температурного интервала. Между температурой  $T$ , выраженной в Кельвинах, и температурой  $t$ , выраженной в градусах Цельсия, существует соотношение:  $t = T - 273,16$ .

Приборы для измерения температуры называются термометрами. По принципу действия термометры подразделяются на термометры расширения (жидкостные и механические), манометрические, термоэлектрические и термометры сопротивления.

Термометры расширения измеряют температуру по тепловому расширению жидкости (жидкостные) или твердых тел (дилатометрические и биметаллические).

В *жидкостных стеклянных термометрах* в зависимости от величины измеряемой температуры в качестве рабочего вещества применяется ртуть (диапазон измеряемых температур от –35 до +600 °С), спирт (от –80 до +70 °С), керосин (от –66 до +200 °С). Цена деления жидкостных термометров 0,5, 1, 2, 5, 10 °С. Погрешность показаний не превышает одного деления.

*Электроконтактные термометры* представляют собой стеклянные датчики, заполненные ртутью. Они снабжены одним, двумя или тремя контактными устройствами. При изменении температуры происходит замыкание или размыкание контактов.

Принцип действия *дилатометрических термометров* основан на разности линейных удлинений двух деталей, изготовленных из материалов с различными температурными коэффициентами расширения, например, инвара (сплав никеля и железа), коэффициент расширения которого практически равен нулю, и латуни с большим коэффициентом расширения.

Дилатометрический термометр состоит из инварового стержня, латунной трубки и показывающей стрелки (рис. 4.1).

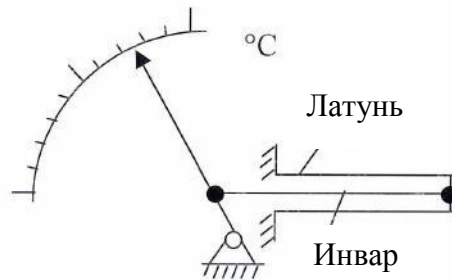


Рис. 4.1. Схема дилатометрического термометра

Один конец инварового стержня соединен с дном латунной трубки, а другой связан со стрелкой. В зависимости от температуры возникает разность удлинения трубки и стержня. При этом свободный конец стержня отклоняет стрелку. В датчиках-реле перемещение стержня вызывает замыкание или размыкание контактов.

*Биметаллический датчик* представляет собой пластину, сваренную из двух металлов с различными температурными коэффициентами расширения, например, стали и инвара. Один конец пластины жестко закреплен, а другой перемещается при изменении температуры за счет изгиба пластины. Перемещение конца пластины приводит в движение показывающую стрелку прибора или перо самописца.

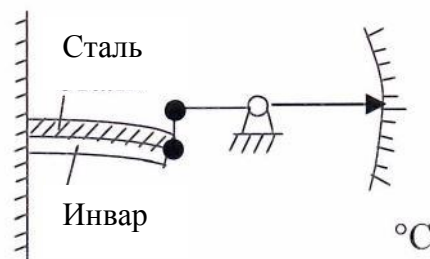


Рис. 4.2. Схема биметаллического термометра

В биметаллических датчиках-реле свободный конец биметаллического чувствительного элемента замыкает или размыкает контакты при изменении контролируемой температуры.

Механические термометры просты по конструкции и надежны в работе. Однако они обладают недостаточной точностью вследствие влияния остаточных деформаций и значительной инерционностью.

Принцип действия *манометрических термометров* основан на зависимости от температуры давления среды, находящейся в замкнутом объеме. Манометрический термометр (рис. 4.3) представляет собой замкнутую систему, в которую входят термобаллон 1, погружаемый в среду, температура которой измеряется, капилляр 2 и сильфон (или манометрическая пружина) 3, связанный со стрелкой 4.

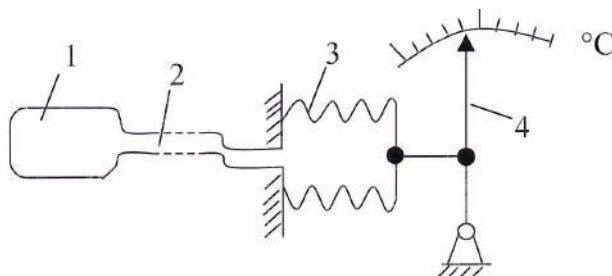


Рис. 4.3. Схема манометрического термометра

В зависимости от вида среды, находящейся в замкнутой системе, манометрические термометры разделяются на жидкостные (рабочее вещество – ртуть, кремнийорганическая или полиметилсилоксановая жидкость), газовые (наполнитель – азот или аргон), конденсационные (или паровые), в которых используются низкокипящие жидкости – фреон, ацетон, этиловый спирт. При увеличении температуры измеряемой среды, в которую погружен термобаллон, повышается давление в замкнутой системе. Это изменение давления по капилляру передается манометрической пружине, один конец которой жестко закреплен, а второй, перемещаясь под действием избыточного давления, поворачивает стрелку.

В газовых и жидкостных манометрических термометрах возможна погрешность, вызываемая изменением объема среды в капилляре и пружине вследствие изменения температуры окружающей среды. Влияние этой погрешности уменьшается снижением отношения объема среды в капилляре и пружине к объему термобаллона.

Принцип действия *термометров сопротивления* основан на свойстве проводников и полупроводников изменять свое электрическое сопротивление при изменении температуры.

Зависимость сопротивления проводника от температуры (рис. 4.4) описывается формулой

$$R_T = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)],$$

где  $R_T$  – сопротивление проводника при температуре  $T$ ,  $R_0$  – сопротивление проводника при температуре  $T_0$ ,  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления (ТКС).

Для изготовления проводниковых термометров сопротивления используют медь и платину. Медные термометры сопротивления типа ТСМ используются для длительного измерения температуры от  $-50$  до  $200$  °С.

Платиновые термометры сопротивления типа ТСП используются для длительного измерения температуры от  $-200$  до  $650$  °С.

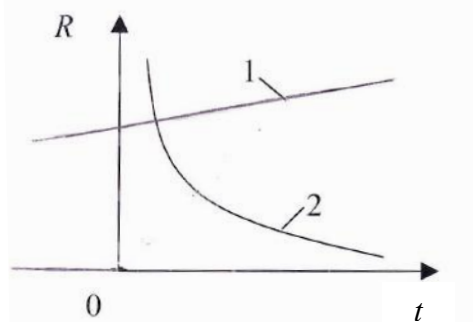


Рис. 4.4. Характеристики:

1 — проводниковых термометров сопротивления;  
2 — полупроводниковых термисторов

Чувствительный элемент проводникового термометра сопротивления представляет собой спираль или обмотку из тонкой проволоки, помещенную в защитный кожух и засыпанную керамическим порошком. Защитный кожух выполнен в виде трубки и снабжен резьбовым штуцером, ограничивающим глубину погружения датчика, и соединительной головки с винтами для подключения к измерительному устройству.

*Полупроводниковые терморезисторы* (термисторы) изготавливают из окислов металлов ( $Mn_2O_3$ ,  $Cu_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ). Они отличаются тем, что имеют меньшие размеры и большую чувствительность при отрицательном ТКС.

Характеристика термистора описывается выражением (см. рис. 4.4):

$$R_T = A e^{B/T},$$

где  $T$  — абсолютная температура,  $A$  — коэффициент, имеющий размерность сопротивления,  $B$  — коэффициент, имеющий размерность температуры.

Термисторы могут иметь форму стержня, диска, шайбы, бусинки и другую. Несмотря на преимущества термисторов по сравнению с проводниковыми термометрами сопротивления (более высокая чувствительность, больше омическое сопротивление, меньшие габариты и инерционность), их широкое внедрение ограничено рядом недостатков, основными из которых являются нелинейность характеристики и плохая взаимозаменяемость вследствие значительного технологического разброса параметров.

Термометры сопротивления включаются в мостовую схему. Датчик может располагаться на значительном удалении от измерительной схемы. Если терморезистор подключен двумя проводами, то провода линии соединены последовательно с терморезистором и могут служить источником погрешности, так как сопротивление проводов зависит от температуры окружающей среды. По этой причине терморезисторы соединяются с мостом при помощи трехпроводной линии (рис. 4.5).



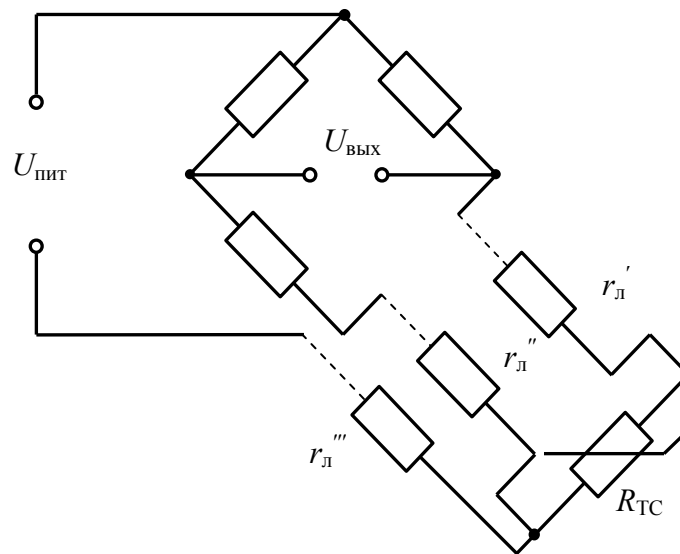


Рис. 4.5. Схема соединения термометра сопротивления с мостом

Сопротивления проводов линии  $r_{л}'$  и  $r_{л}''$  оказываются включенными в соседние плечи моста, а это, как известно, обеспечивает компенсацию температурной погрешности, т.е. изменение сопротивления проводов при изменении температуры.

В качестве вторичного прибора для термометров сопротивления используется мост с автоматическим уравниванием – *автоматический мост* (рис. 4.6).

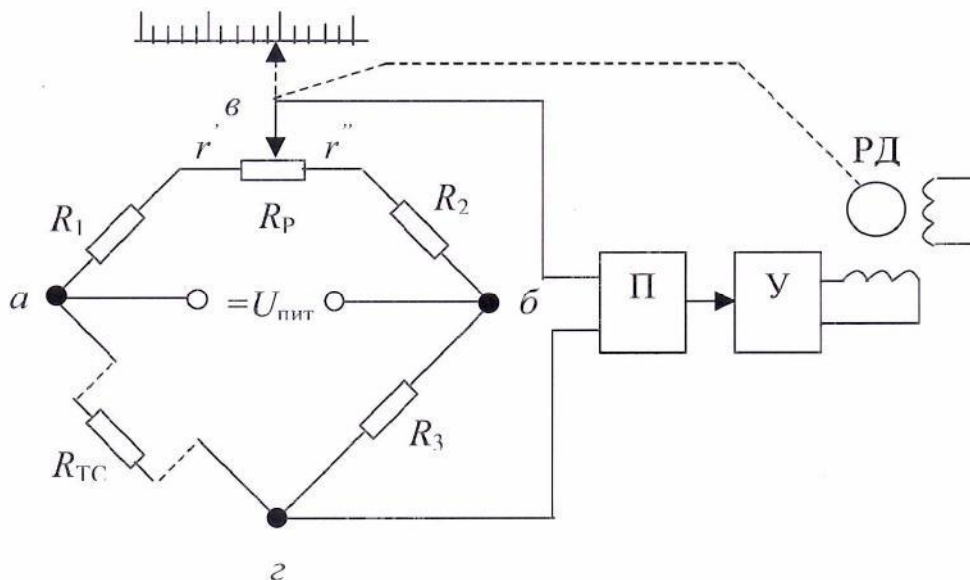


Рис. 4.6. Схема автоматического моста

Для уравнивания моста используется реохорд  $R_p$ , представляющий собой переменный резистор, движок которого через механическую

передачу связан с ротором реверсивного электродвигателя РД. Плечи моста образованы сопротивлениями  $R_1 + r'$ ,  $R_2 + r''$ ,  $R_3$  и термометром сопротивления  $R_{ТС}$ .

Условие равновесие моста имеет вид

$$\frac{(R_1 + r')}{(R_2 + r'')} = \frac{R_{ТС}}{R_3}.$$

На диагональ  $ab$  подается постоянное напряжение питания, а напряжение с измерительной диагонали  $вг$  поступает на преобразователь постоянного напряжения в переменное П, усиливается усилителем У и подается на обмотку реверсивного электродвигателя РД.

Когда мост уравновешен, потенциалы точек  $в$  и  $г$  равны, напряжение  $U_{вг} = \phi_в - \phi_г = 0$ . Напряжение на измерительную схему не поступает, и ротор двигателя неподвижен.

При изменении температуры изменяется сопротивление  $R_{ТС}$ , мост выходит из состояния равновесия, и на диагонали  $вг$  появляется напряжение, величина и направление которого зависят от изменения  $R_{ТС}$ . Это напряжение после преобразования и усиления воздействует на электродвигатель РД. Ротор двигателя начинает вращаться, перемещая движок реохорда в направлении достижения равновесия моста. Одновременно с движком реохорда перемещаются стрелка указателя температуры и, если мост регистрирующий, перо, отмечающее на диаграмме значения температуры. При достижении равновесия напряжение, снимаемое с моста, становится равным нулю, ротор электродвигателя останавливается, а движок реохорда и указатель занимают положение, соответствующее новому значению температуры.

Автоматические мосты обеспечивают высокую точность измерения (погрешность не более  $\pm 0,5 \%$ ).

Принцип действия *термоэлектрических датчиков (термопар)* основан на использовании термоэлектрического эффекта, когда в замкнутой цепи, состоящей из двух разнородных проводников, возникает ЭДС и течет ток, если температуры мест соединения проводников (спаев) различны (рис. 4.7,а)

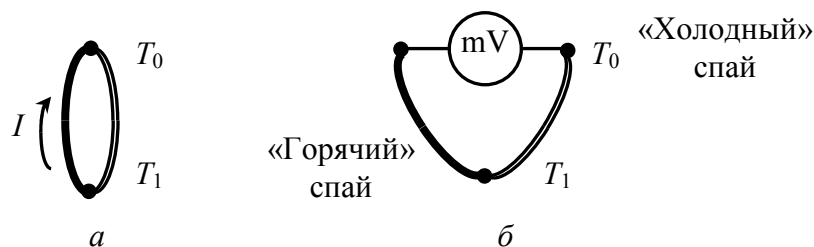


Рис. 4.7. Термопары: а – контур из двух разнородных проводников; б – схема подключения милливольтметра

Величина термо ЭДС зависит от материала проводников и разности температур спаев. Цепь, состоящая из двух разнородных проводников с двумя спаями, называется термопарой. Если температуру одного из спаев поддерживать постоянной, то ЭДС термопары будет функцией температуры другого спая. Обычно в термопаре спай, подверженный воздействию контролируемой температуры, называется «горячим», а другой спай – «холодным» (рис. 4.7,б).

Наиболее распространенные термопары хромель-копель (ТХК), применяемые для длительного измерения температуры в диапазоне от  $-50$  до  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , хромель-алюмель (ТХА) с рабочим диапазоном от  $-50$  до  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  и платинородий-платина (ТПП) – с диапазоном от  $-20$  до  $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Характеристика термопары нелинейна, для определения температуры по ЭДС термопары пользуются экспериментально полученными таблицами или градуировочными кривыми. В качестве вторичных приборов в комплексе с термопарами применяются милливольтметры или автоматические потенциометры.

К достоинствам термопар относятся широкий диапазон измеряемых температур, простота и надежность. Недостатками термопар являются низкая чувствительность, большая инерционность, необходимость поддержания постоянной температуры «холодного» спая.

## 4.2. Измерение давления и разряжения

Давлением  $P$  называется отношение силы  $F$ , действующей перпендикулярно поверхности, к площади  $S$  этой поверхности:  $P = F/S$ . Единицей давления в системе СИ является 1 Паскаль ( $1\text{ Па} = 1\text{ Н/м}^2$ ). Наряду с единицами системы СИ используются внесистемные единицы: техническая атмосфера:  $1\text{ ат} = 1\text{ кгс/см}^2 = 98066\text{ Па}$ , миллиметр ртутного столба:  $1\text{ мм рт.ст.} = 133,3\text{ Па}$ , миллиметр водяного столба:  $1\text{ мм вод.ст.} = 9,8\text{ Па}$ .

Приборы для измерения избыточного давления (выше атмосферного) называются *манометрами*, для измерения разряжения (ниже атмосферного) – *вакуумметрами*. Для измерения малых давлений применяют микроманометры, а для малых разряжений – микровакуумметры. Промышленные микроманометры называются *напорометрами*, микровакуумметры – *тягомерами*. Для измерения разности или перепада давлений применяют дифференциальные манометры (дифманометры). По принципу действия манометры разделяются на жидкостные, пружинные, мембранные, сильфонные и электрические.

*Жидкостные манометры* представляют собой сообщающиеся сосуды, заполненные рабочей жидкостью (вода, ртуть, масло, спирт и т.п.). При наличии разности давлений уровни рабочей жидкости в сосудах перемещаются до установления равновесия.

Простейшие жидкостные  $U$ -образные манометры (рис. 4.8,*а*) применяются для измерения небольших давлений. При подаче давления в один из концов трубки жидкость перемещается. Отсчет давления производится по разности уровней и выражается в миллиметрах. Если трубка заполнена ртутью, давление выразится в миллиметрах ртутного столба. Неудобство использования данного манометра заключается в том, что необходимо производить отсчет в обе стороны от нуля шкалы.

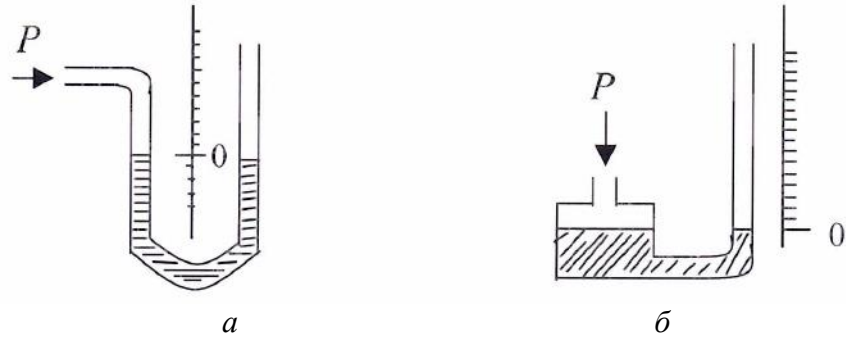


Рис. 4.8. Жидкостные манометры: *а* –  $U$ -образный; *б* – чашечный

Этот недостаток отсутствует у однотрубных чашечных манометров (рис. 4.8,*б*). Вследствие того, что площадь поперечного сечения левого колена во много раз больше, перемещение уровня жидкости в нем будет во столько же раз меньше, и им можно пренебречь.

Принцип действия *колокольного* дифманометра иллюстрируется на рис. 4.9. Чувствительным элементом прибора является колокол *1*, частично погруженный в трансформаторное масло. Внутри колокола введена трубка *2*, через которую подается давление  $P_1$ . В пространство над колоколом через трубку *3* подается давление  $P_2$ . Колокол удерживается пружиной *4*. Под действием разности давлений  $P_1 - P_2$  жидкость вытесняется из-под колокола, и он перемещается. Перемещение колокола может быть преобразовано в электрический сигнал каким-либо преобразователем перемещения.

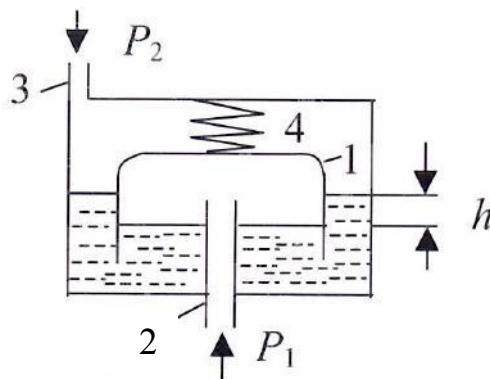


Рис. 4.9. Схема колокольного дифманометра

*Поплавковый* дифманометр (рис. 4.10) состоит из двух сообщающихся сосудов *1* и *2*, заполненных рабочей жидкостью. На поверхности

широкого сосуда плавает поплавок 3. В сосуды подаются давления  $P_1$  и  $P_2$ , разность которых необходимо измерить. Поплавок отслеживает изменение уровня жидкости в сосуде 2. Перемещение поплавка передается стрелке или перу, а также преобразуется в напряжение, например, при помощи дифференциального трансформаторного датчика.

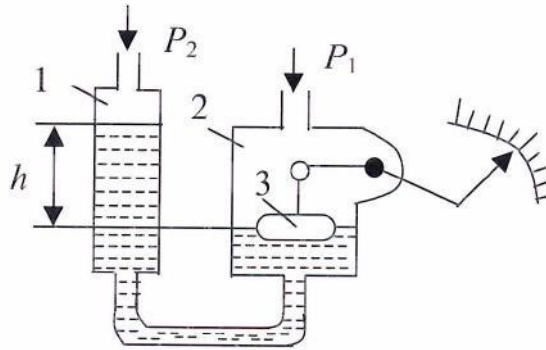


Рис. 4.10. Схема поплавкового дифманометра

Принцип действия *пружинных* манометров основан на использовании упругости полой пружины. Наибольшее распространение получили манометры с трубчатой одновитковой пружиной (рис. 4.11). Трубчатая пружина имеет прямоугольное или овальное сечение 2. Один конец трубки запаян и через систему передачи 3 соединен со стрелкой 4. В открытый конец трубки подается измеряемое давление  $P$ . При повышении измеряемого давления пружина стремится выпрямиться, ее свободный конец перемещается и приводит в движение стрелку, указывающую давление по шкале. Для увеличения чувствительности манометра используют многовитковые пружины.

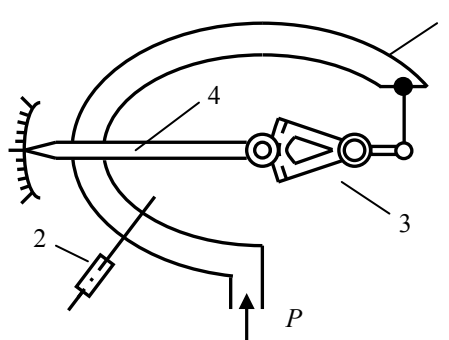


Рис. 4.11. Манометр с трубчатой пружиной

Чувствительным элементом *сильфонного* манометра является сильфон – гофрированная тонкостенная коробка, выполненная из упругого металла (рис. 4.12). Сильфон 1 помещен в герметичную камеру 2, в которую подается измеряемое давление  $P$ . Под действием давления дно сильфона перемещается, перемещение через передаточный механизм передается на стрелку прибора. После снятия давления под действием пружины 3 сильфон возвращается в исходное положение.

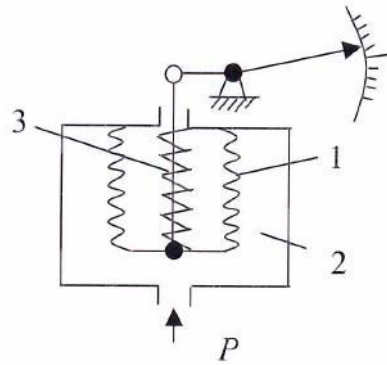


Рис. 4.12. Сильфонный манометр

Мембранные манометры предназначены для измерения небольших давлений и разрежений (тягионапорометры) сухого воздуха или газов, нейтральных по отношению к стали, цветным металлам и их сплавам. В мембранном манометре (рис. 4.13) в качестве измерительного элемента использована гофрированная упругая мембрана, которая прогибается под действием избыточного давления.

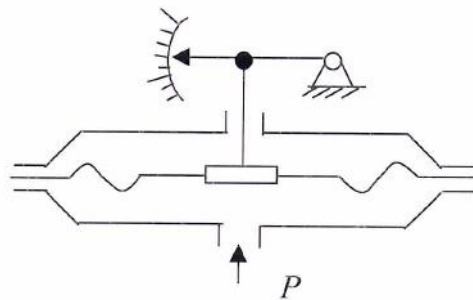


Рис. 4.13. Мембранный манометр

Мембранный дифманометр типа ДМ (рис. 4.14) в качестве чувствительного элемента имеет мембранный блок из двух мембранных коробок 1 и 2. Внутренние полости коробок заполнены дистиллированной водой и соединены каналом. Мембранные коробки помещены в отдельные камеры 3 и 4, в которые подаются давления  $P_1$  и  $P_2$ , причем  $P_1 > P_2$ .

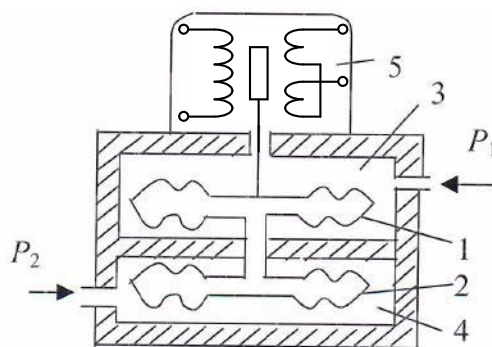


Рис. 4.14. Мембранный дифманометр

Под действием разности давлений вода из мембранной коробки 2 вытесняется в мембранную коробку 1, вызывая перемещение верхней стенки мембранной коробки. При этом перемещается соединенный с ней сердечник дифференциального трансформаторного датчика 5, вызывая изменение величины и фазы выходного напряжения датчика.

В тензорезисторных датчиках давления «Сапфир» и «Метран» перемещение мембраны воспринимается тензопреобразователем, представляющим собой кристалл сапфира с нанесенным на него кремниевыми пленочными тензорезисторами (рис. 4.15). Тензорезисторы включены в мост. Измерительная схема преобразует изменения сопротивления тензорезисторов в стандартный токовый сигнал.

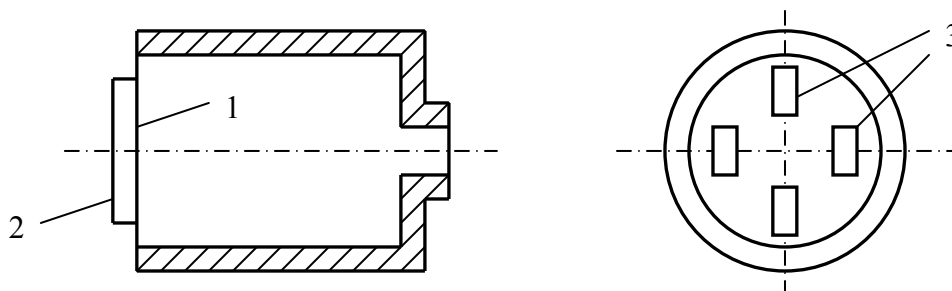


Рис. 4.15. Датчик давления с тензопреобразователем:  
1 – металлическая мембрана; 2 – сапфировая пластина;  
3 – кремниевые тензодатчики

### 4.3. Измерение расхода

Приборы, измеряющие расход жидкости или газа, называются расходомерами. Наибольшее распространение получили следующие расходомеры:

- переменного перепада давления, использующие взаимосвязь расхода и перепада давления, создаваемого потоком при протекании через сужающее устройство, установленное в трубопроводе;
- постоянного перепада давления (ротаметры), принцип действия которых основан на зависимости перемещения тела, воспринимающего динамическое давление обтекающего его потока, от расхода протекающей среды;
- тахометрические, основанные на зависимости частоты вращения устройства, установленного в трубопроводе, от расхода протекающего по трубе вещества;
- ультразвуковые, учитывающие изменение скорости распространения акустического сигнала от скорости движения среды;
- вихреакустические, использующие изменение параметров акустического сигнала при прохождении через зону завихрения движущейся среды.

*Расходомеры переменного перепада давления* состоят из трех элементов: сужающего устройства, дифференциального манометра для измерения перепада давления и соединительных линий с запорной и предохранительной арматурой. Принцип действия расходомера иллюстрируется на рис. 4.16.

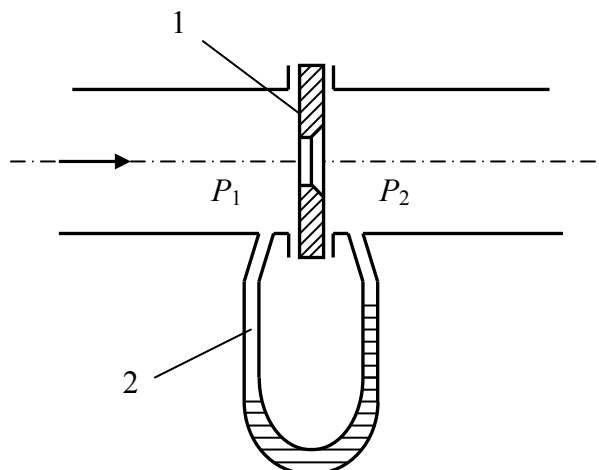


Рис. 4.16. Принцип действия расходомера с переменным перепадом давления:  
1 – диафрагма; 2 – дифманометр

Сужающее устройство 1 (диафрагма, сопло), установленное в трубопроводе, по которому протекает жидкость или газ, создает местное сужение потока. Скорость движения в суженном сечении повышается, часть потенциальной энергии давления переходит в кинетическую, в результате чего статическое давление  $P_2$  в узком сечении (непосредственно за ним) становится меньше статического давления  $P_1$  перед сужающим устройством.

Разность (перепад) этих давлений, зависящая от скорости движения (или расхода) жидкости (или газа), протекающей по трубопроводу, измеряется дифманометром 2. В расходомерах используются дифманометры, проградуированные в единицах расхода.

Принцип действия *расходомеров постоянного перепада давления (ротаметров)* основан на том, что в качестве переменной величины, пропорциональной расходу, принимается не перепад давлений, а переменная площадь отверстия сужающего устройства. В расходомерах этого типа имеется подвижный элемент, который перемещается потоком среды и открывает проходное сечение на большую или меньшую величину. Перепад давления до и после подвижного элемента остается постоянным. Перемещение подвижного элемента, пропорциональное расходу, тем или иным способом отсчитывается по шкале или преобразуется в электрический сигнал.

Ротаметр (рис. 4.17) имеет коническую трубу 1, расположенную вертикально расширением кверху, внутри которой помещен поплавок 2, имеющий возможность свободно перемещаться в вертикальном направлении. Поток измеряемого вещества поднимает поплавок до тех пор, пока сила, возникающая вследствие перепада давления до и после поплавка, не уравновесится весом поплавка. Перемещение поплавка, пропорциональное расходу, преобразуется в напряжение при помощи дифференциального трансформаторного датчика 3.



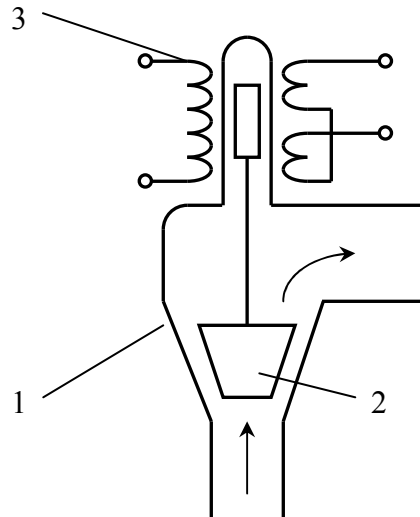


Рис. 4.17. Ротаметр: 1 – конический участок трубы; 2 – поплавок; 3 – датчик перемещения

Принцип измерения расхода *тахометрическими* расходомерами основан на использовании зависимости расхода измеряемой среды от скорости. В качестве преобразователей скорости движения среды в частоту вращения используются крыльчатки и турбинки (рис. 4.18).

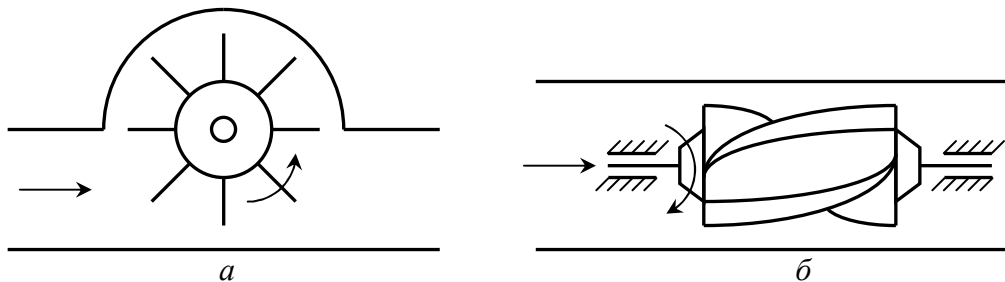


Рис. 4.18. Схема тахометрического преобразователя расходомера:  
а – с крыльчаткой; б – с турбинкой

Тахометрические преобразователи могут применяться в расходомерах, измеряющих величину мгновенного расхода ( $\text{м}^3/\text{с}$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$  и т.п.), в этом случае выходной величиной является частота вращения подвижного элемента. В счетчиках, измеряющих суммарный расход ( $\text{м}^3$ , л и т.п.), выходным параметром является число оборотов крыльчатки или турбинки. В расходомерах применяют электрические тахометрические преобразователи, а в счетчиках – счетные механизмы, соединенные с вращающимся элементом непосредственно или с помощью магнитной муфты.

*Шариковыми* называются тахометрические расходомеры, чувствительным элементом которых является шарик, непрерывно движущийся в одной плоскости по внутренней поверхности трубы под воздействием предварительно закрученного потока.

Преобразователь расходомера (рис. 4.19) состоит из цилиндрического корпуса *1*, выполненного из немагнитного материала, с двумя расположенными в одной плоскости и противоположно направленными тангенциальными патрубками *2* и *3*. Внутри корпуса между ограничительными кольцами *4* находится шар *5*, выполненный из резины с металлическим наполнителем. Поток измеряемой среды, попадая в рабочую камеру через входной патрубок, приводит шар во вращательное движение. Частота вращения шара, пропорциональная расходу измеряемой среды, фиксируется бесконтактным преобразователем *6*.

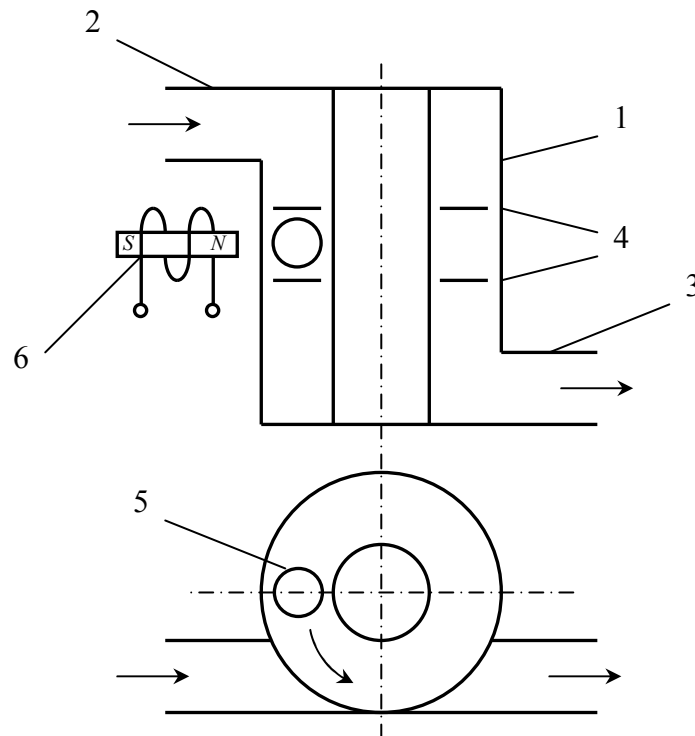


Рис. 4.19. Схема шарикового расходомера:  
*1* – корпус; *2, 3* – патрубки; *4* – ограничительные кольца;  
*5* – ферромагнитный шарик; *6* – индукционный датчик

Принцип действия *электромагнитных индукционных расходомеров* основан на взаимодействии движущейся электропроводной жидкости с магнитным полем. Это взаимодействие подчиняется закону электромагнитной индукции, согласно которому в проводнике (в данном случае – электропроводной жидкости), пересекающем магнитное поле, индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости движения проводника.

Схема электромагнитного расходомера показана на рис. 4.20. Труба *1*, по которой протекает жидкость, помещена между полюсами электромагнита *2*. Магнитные силовые линии пересекают поток в горизонтальном направлении. Перпендикулярно направлению магнитных силовых линий в трубу вмонтированы два электрода *3*. При протекании жидкость пересекает магнитные силовые линии, и в ней индуцируется ЭДС, которая сни-

мается электродами 3, усиливается усилителем 4 и поступает на вторичный прибор 5.

В индукционных расходомерах используется переменное магнитное поле, так как в случае постоянного магнитного поля происходит поляризация электродов, приводящая к снижению точности измерений. Переменное магнитное поле устраняет явление поляризации, однако на электродах кроме основной ЭДС, зависящей от расхода, имеет место ЭДС помехи, которая компенсируется в измерительной схеме.

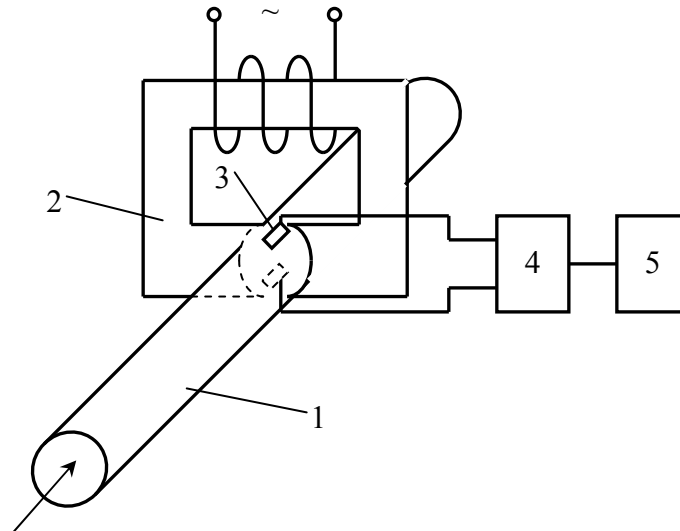


Рис. 4.20. Схема электромагнитного индукционного расходомера:  
1 – изолированный участок трубы; 2 – электромагнит; 3 – электроды;  
4 – усилитель; 5 – вторичный прибор

Ультразвуковой расходомер (рис. 4.21,а) состоит из двух ультразвуковых преобразователей, размещенных на трубе. Каждый из преобразователей может преобразовать электрический сигнал в ультразвуковой и наоборот.

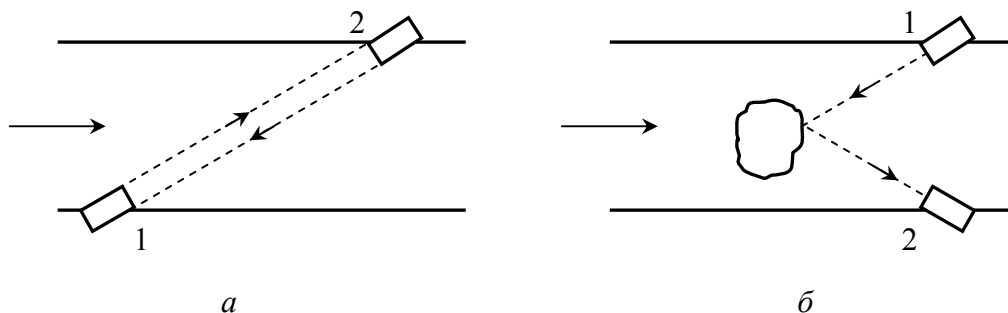


Рис. 4.21. Ультразвуковые расходомеры:  
а – для однородной среды; б – для неоднородной среды

Преобразователи по очереди излучают ультразвуковые импульсы, при этом измеряется время прохождения сигнала. В первом такте преобразо-

зователь 1 излучает сигнал, а преобразователь 2 принимает, во втором такте они меняются ролями.

Время прохождения сигнала в первом случае будет меньше, так как сигнал распространяется «по течению», и его скорость возрастает за счет скорости перемещения среды. Во втором случае время увеличивается, так как сигнал движется «против течения», и его скорость уменьшается. Разность времен прохождения сигнала туда и обратно пропорциональна расходу.

Ультразвуковой расходомер, основанный на эффекте Допплера (см. рис. 4.21,б), предназначен для измерения расхода неоднородных сред, например, загрязнений воды. Ультразвуковой сигнал, излучаемый преобразователем 1, отражается от неоднородности и воспринимается приемником 2. Вследствие эффекта Допплера частота сигнала, отраженного от движущегося объекта (неоднородности), отличается от частоты исходного сигнала. Разность частот зависит от скорости движения среды, т.е. от расхода.

*Вихреакустический* расходомер изображен на рис. 4.22. В проточной части расходомера поперек потока располагается тело обтекания 1 в виде призмы. За призмой поток завихряется, степень завихрения определяется скоростью перемещения материала. На корпусе датчика диаметрально противоположно друг другу размещаются излучатели ультразвуковых колебаний 2 и приемники 3.

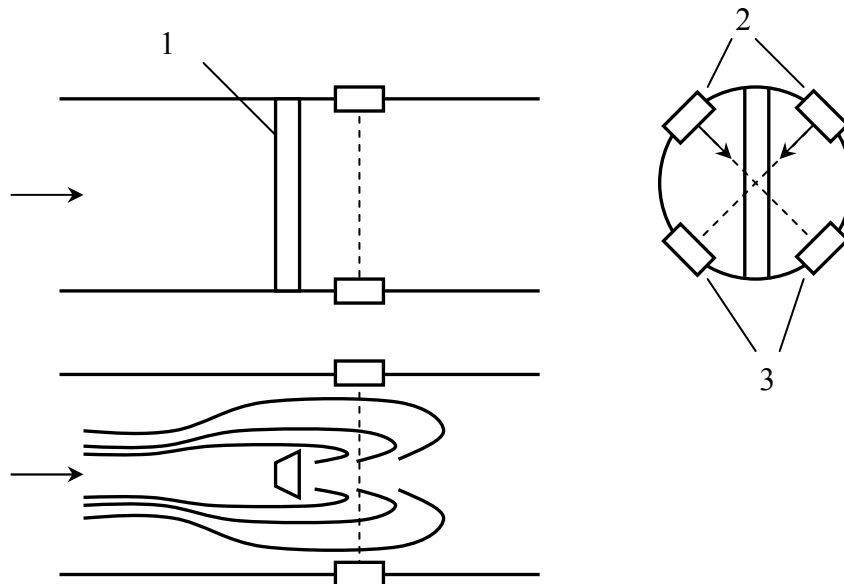


Рис. 4.22. Вихреакустический расходомер

Ультразвуковые сигналы, проходя через зону завихрения, претерпевают изменение фазы, зависящее от скорости потока. Вычислительное устройство обрабатывает сигналы приемников и выделяет информацию о величине расхода.

#### 4.4. Измерение уровня

По способу измерений уровнемеры подразделяются на поплавковые, гидростатические, акустические и электрические.

В *поплавковых уровнемерах* (рис. 4.23) чувствительным элементом является поплавок 1, плавающий на поверхности жидкости и перемещающийся по вертикали вместе с изменением уровня. Масса поплавка уравновешивается противовесом 2. Вертикальное перемещение поплавка приводит в движение передаточный механизм, стрелка которого показывает на шкале уровень жидкости в резервуаре. Для дистанционной передачи показаний и сигнализации крайних положений уровня могут использоваться потенциометрический и контактный датчики или сельсин 3.

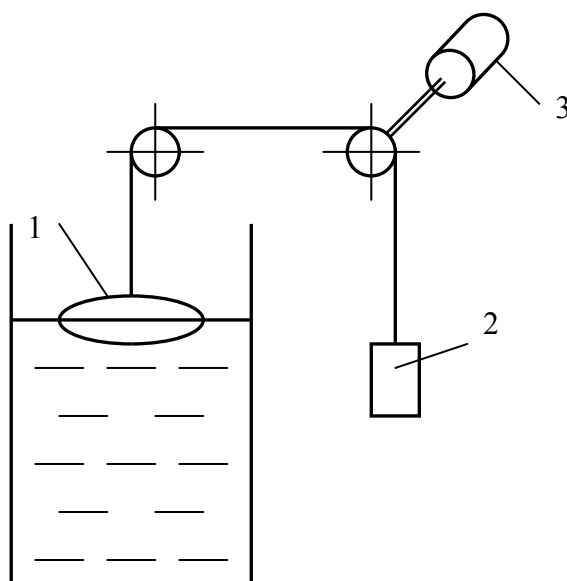


Рис. 4.23. Поплавковый уровнемер: 1 – поплавок; 2 – противовес; 3 – датчик углового перемещения (сельсин)

Уровеньмер с переменным погружением поплавка (*буйковый уровеньмер*) представлен на рис. 4.24. Поплавок 1, закрепленный при помощи шарниров, частично погружен в жидкость. На поплавок действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной жидкости. Эта сила уравновешивается пружиной 2. Перемещение поплавка зависит от уровня жидкости, оно меньше изменения уровня и может быть измерено, например, дифференциальным индуктивным датчиком 3.

В *гидростатических уровнемерах* контролируемый уровень определяется по величине статического давления столба жидкости.

Если уровнемер располагается выше измеряемого уровня, могут быть использованы способы, показанные на рис. 4.25.

На рис. 4.25,а показана схема измерения уровня с помощью колокола, погруженного в жидкость и соединенного трубкой с манометром, градуированным в единицах уровня. Нижняя часть колокола закрыта гибкой мембраной во избежание растворения воздуха в воде, что приводит к по-

грешности измерения. Прогиб мембраны под действием давления столба жидкости создает повышенное давление в колоколе, которое измеряется манометром.

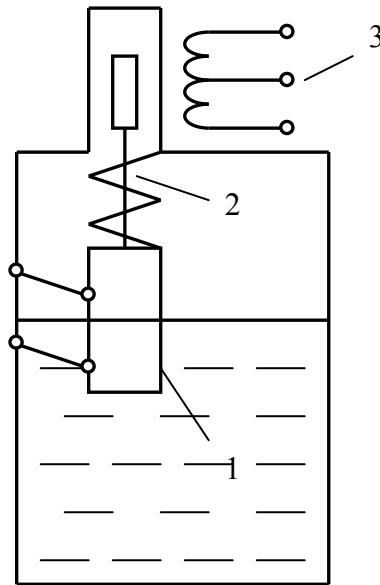


Рис. 4.24. Буйковый уровнемер

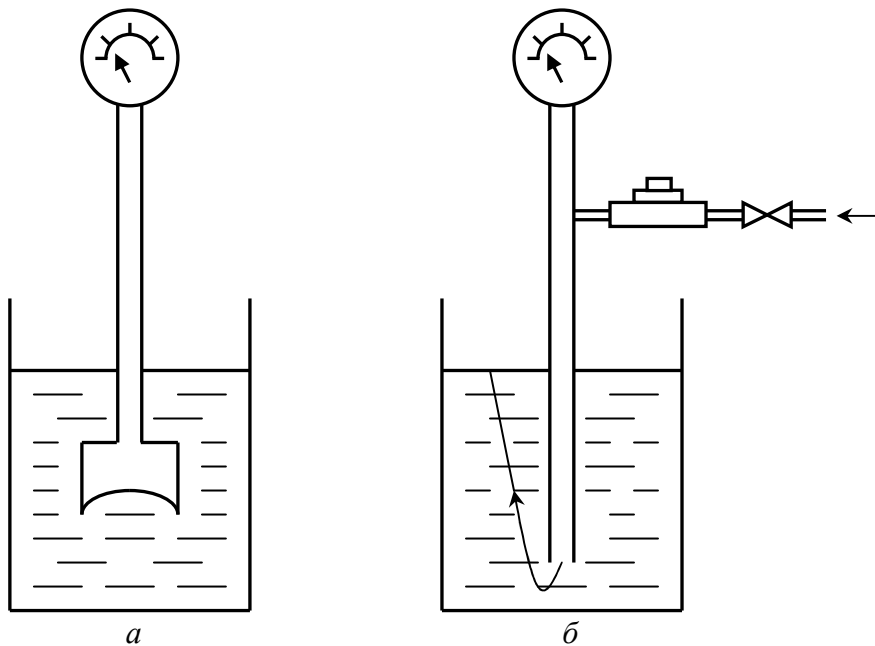


Рис. 4.25. Схемы гидростатических уровнемеров:  
а – колокольный; б – пневмометрический

На рис. 4.25,б приведена схема *пневмометрического уровнемера*. Через трубку, опущенную почти до самого дна резервуара, непрерывно продувается сжатый воздух с постоянным расходом. Воздух выходит через нижний открытый конец трубки. Давление воздуха в трубке равно произведению длины погруженной части трубки на удельный вес жидкости.

Давление измеряется манометром, шкала которого проградуирована в единицах уровня.

Если уровнемер располагается ниже измеряемого уровня (рис. 4.26), можно использовать в качестве уровнемера дифманометр 1, на один вход которого подается давление столба жидкости из контролируемого резервуара 2, а на второй – из уравнительного сосуда 3.

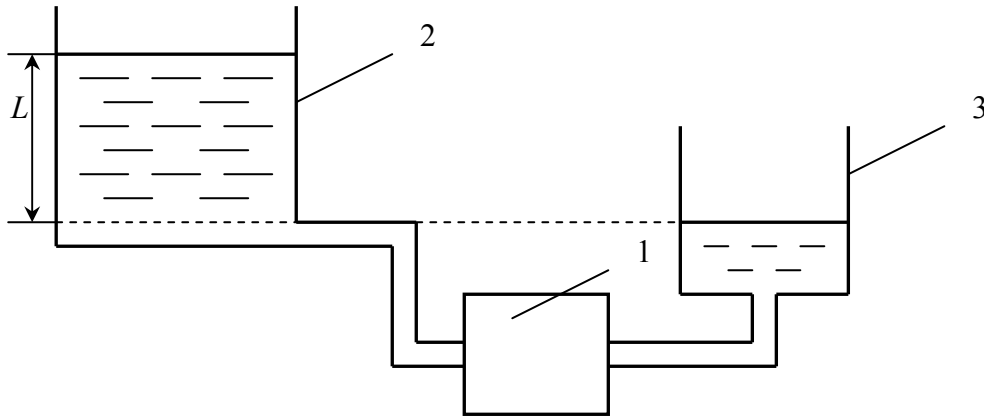


Рис. 4.26. Измерение уровня жидкости при помощи дифманометра: 1 – дифманометр; 2 – контролируемый резервуар; 3 – уравнительный сосуд

Из *электрических* уровнемеров наибольшее распространение получили электродные, в которых чувствительным элементом является металлический электрод, опускаемый в резервуар на определенную глубину. Если уровень воды достигает электрода, замыкается электрическая цепь, так как вода является проводником электрического тока. Замыкание цепи приводит к срабатыванию реле или другого электрического устройства.

На рис. 4.27 показана схема электродного сигнализатора трех уровней. Предполагается, что корпус резервуара металлический. По достижении нижнего уровня  $L_1$  образуется электрическая цепь: источник питания, стенка резервуара, вода, электрод  $\mathcal{E}_1$ , катушка реле  $K_1$ . Реле  $K_1$  срабатывает и включает соответствующие устройства сигнализации. Электрод  $\mathcal{E}_2$  настроен на верхнее значение уровня  $L_2$ , а электрод  $\mathcal{E}_3$  – на аварийный уровень  $L_3$ .

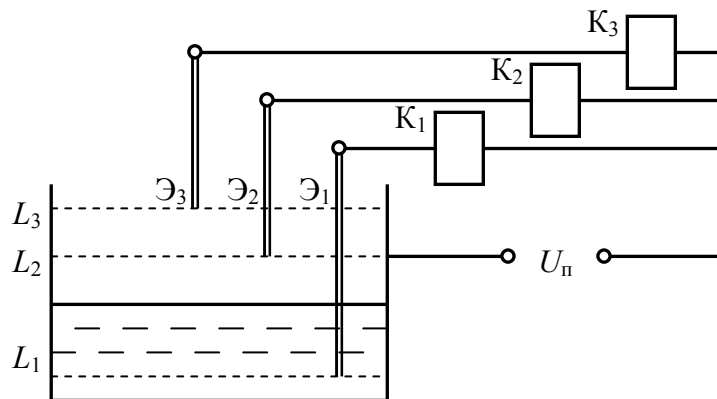


Рис. 4.27. Схема электродного сигнализатора уровня

В ультразвуковых (акустических) уровнемерах величина уровня определяется по времени прохождения акустическим сигналом расстояния до поверхности раздела сред (например, газ – жидкость).

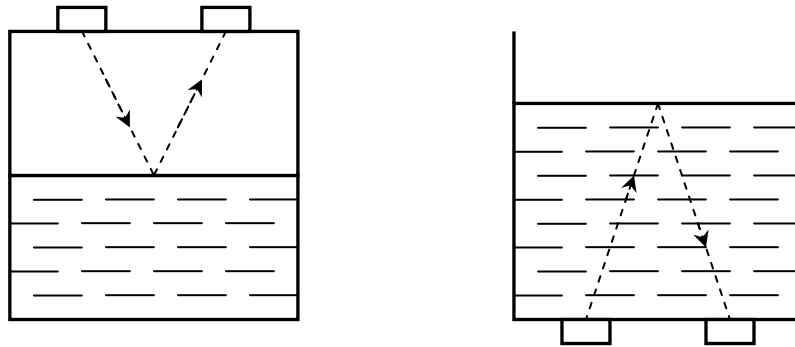


Рис. 4.28. Ультразвуковые уровнемеры:  
*а* – с верхним расположением излучателя и приемника;  
*б* – с нижним расположением излучателя и приемника

В уровнемере с верхним расположением излучателя и приемника ультразвуковых колебаний (рис. 4.28,*а*) сигнал излучателя отражается от поверхности жидкости и возвращается к приемнику. Чем меньше время прохождения сигнала, тем выше уровень жидкости. При нижнем расположении преобразователей (рис. 4.28,*б*) с повышением уровня жидкости время прохождения сигнала возрастает. В показания ультразвуковых уровнемеров необходимо вносить поправку на температуру среды, так как от этой температуры зависит скорость распространения ультразвука.

Измерение уровня сыпучих материалов затруднено, так как они не образуют горизонтальной поверхности в емкости, эти материалы могут залипать у стенок или образовывать своды.

В сигнализаторе уровня сыпучих материалов (рис. 4.29) используется гибкая мембрана, перекрывающая отверстие в стенке резервуара. Когда уровень материала достигает мембраны, она прогибается и замыкает контакт.

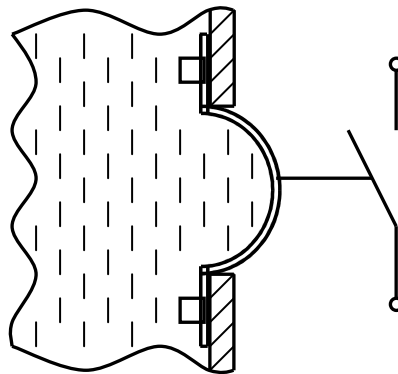


Рис. 4.29. Сигнализатор уровня



Поплавковый уровнемер для сыпучих материалов отличается от такового для жидкостей тем, что принимаются меры для удержания поплавка на поверхности материала.

#### 4.5. Измерение параметров веществ

В системах автоматического управления технологическими процессами часто возникает задача контроля количественных и качественных параметров.

##### Измерение мутности воды

Мутность воды определяется по поглощению светового излучения. Схема автоматического мутномера представлена на рис. 4.30.

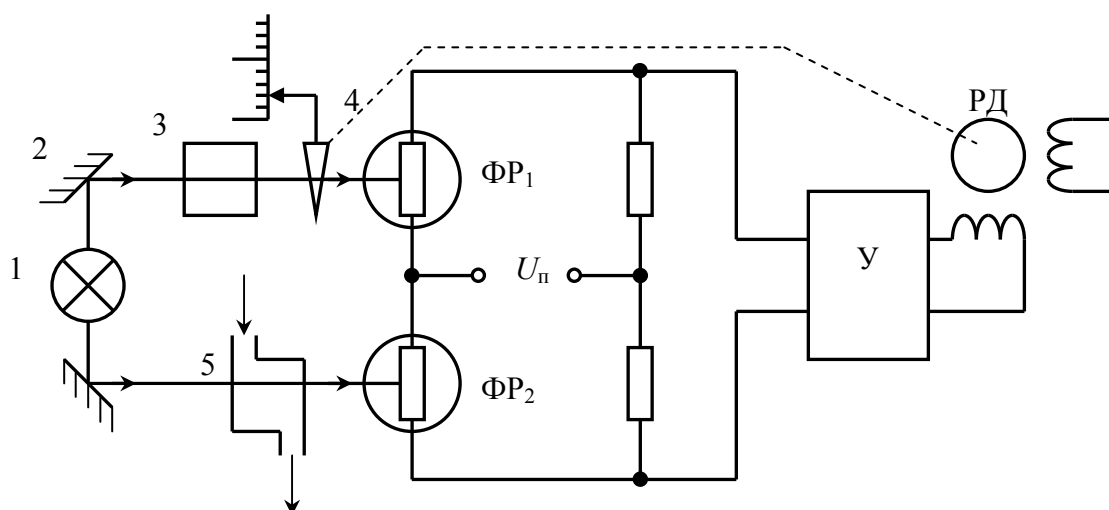


Рис. 4.30. Схема автоматического мутномера: 1 – источник света; 2 – зеркало; 3 – эталонный объект; 4 – оптический клин; 5 – рабочий объект

Свет от источника 1, отраженный зеркалами 2, разделяется на два луча. Один из лучей проходит сквозь эталонный объект 3, выполненный в виде кюветы с чистой водой, затем сквозь оптический клин 4, представляющий собой светофильтр с переменной прозрачностью, и попадает на фоторезистор  $\Phi P_1$ . Второй луч, пройдя через рабочий объект 5 в виде кюветы с проточной контролируемой водой, приходит на фоторезистор  $\Phi P_2$ . Фоторезисторы включены в мост. Выходное напряжение моста после усиления управляет реверсивным двигателем РД, вал которого через редуктор перемещает оптический клин.

При изменении мутности контролируемой воды изменяется величина светового потока, попадающего на фоторезистор  $\Phi P_2$ , изменяется его сопротивление, и на выходе моста появляется напряжение разбаланса. Реверсивный двигатель перемещает световой клин, изменяя световой поток,

приходящий на  $\Phi P_1$  до тех пор, пока мост не уравновесится. Световой клин занимает положение, соответствующее новому значению мутности. Стрелка, связанная с оптическим клином, указывает на шкале численное значение показателя мутности.

### Измерение концентрации вещества в растворе

Для измерения солесодержания, концентрации растворов других веществ используются кондуктометрические преобразователи, принцип действия которых основан на зависимости электропроводности раствора от его концентрации. Схема измерителя солесодержания в воде представлена на рис. 4.31.

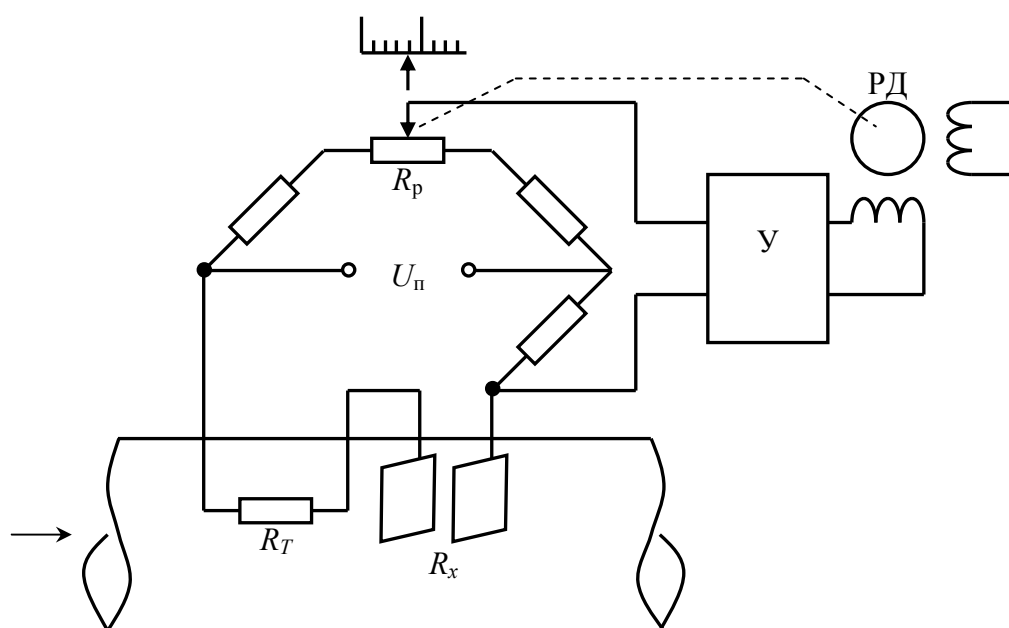


Рис. 4.31. Схема измерения солесодержания

В контролируемую воду помещены два электрода. Сопротивление воды между электродами  $R_x$ , зависящее от концентрации солей, включено в схему автоматического уравновешенного моста. Изменение  $R_x$  вызывает перемещение движка реохорда  $R_p$ . Указатель, связанный с движком, показывает на шкале величину солесодержания. Медный терморезистор  $R_T$  служит для компенсации погрешности, связанной с зависимостью электропроводности раствора от его температуры.

### Измерение показателя активности водородных ионов pH

Для измерения величины pH в раствор помещают два электрода (рис. 4.32). Стекланный измерительный электрод  $I$  выполнен в виде тонкостенной стеклянной колбы, заполненной образцовым раствором. Внутри колбы

помещен хлорсеребряный электрод 2. Между электродом и образцовым раствором возникает потенциал  $E_1$  постоянной величины.

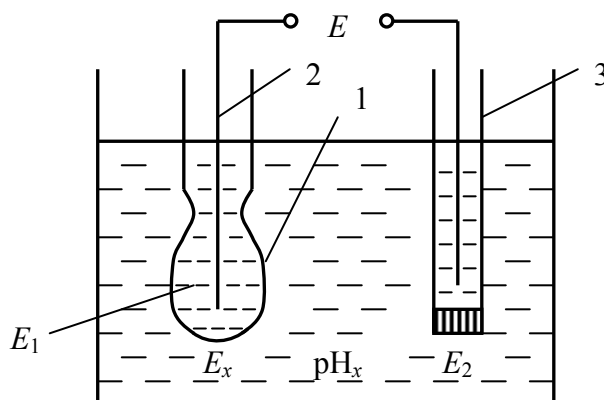


Рис. 4.32. Схема измерения pH

На внешней поверхности стекла измерительного электрода происходит обмен ионами, при котором ионы натрия или лития из стекла переходят в раствор, а их место занимают ионы водорода. В результате стеклянный электрод приобретает потенциал, зависящий от величины  $\text{pH}_x$ :  $E_x = f(\text{pH}_x)$ .

В качестве вспомогательного электрода 3 может использоваться так называемый каломельный полуэлемент, отличительной особенностью которого является то, что при контакте с раствором любой кислотности на нем образуется постоянный потенциал  $E_2$ . Выходной потенциал гальванического преобразователя  $E = E_1 + E_x + E_2$  определяется величиной  $\text{pH}_x$ .

### Контрольные вопросы

1. Чем практическая температурная шкала отличается от термодинамической?
2. Каков принцип действия дилатометрического термометра?
3. Как устроен термометр сопротивления?
4. Для чего применяется трехпроводная схема включения термометра сопротивления?
5. Как работает автоматический мост?
6. Как устроена и как работает термопара?
7. В каких единицах измеряется давление?
8. Как устроен манометр с трубчатой пружиной?
9. Как устроен мембранный дифманометр?
10. Каков принцип действия расходомера с сужающим устройством?
11. Как устроен и как работает ротаметр?

12. Как с помощью тахометрического расходомера измерить мгновенный и суммарный расходы?
13. Как устроен электромагнитный индукционный расходомер?
14. Каков принцип действия ультразвукового расходомера?
15. Как устроен вихреакустический расходомер?
16. Как устроен поплавковый уровнемер?
17. По какому параметру определяют уровень в гидростатических уровнемерах?
18. Как работает электродный уровнемер?
19. По какому параметру определяют уровень в ультразвуковых расходомерах?
20. По какому параметру определяется концентрация соли в растворе?
21. Как определяется показатель pH?

## 5. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

### 5.1. Виды систем автоматического регулирования

Автоматическое регулирование – это автоматическое поддержание физической величины, характеризующей технологический процесс, в заданных пределах или изменение ее по заданному закону. По наличию основной обратной связи системы автоматического регулирования (САР) делятся на замкнутые и разомкнутые.

*Разомкнутые САР* отличаются отсутствием обратной связи с выхода объекта на его вход. Структурная схема разомкнутой САР показана на рис. 5.1.

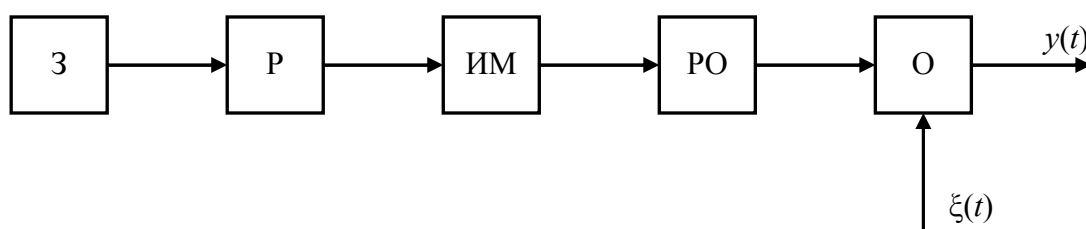


Рис. 5.1. Структурная схема разомкнутой САР

Задатчик  $З$  выдает сигнал задания, на основании которого регулятор  $Р$  вырабатывает регулирующее воздействие, которое через исполнительных механизм  $ИМ$  и регулирующий орган  $РО$  воздействует на объект с целью поддержания на заданном уровне или изменения по заданному закону величины регулируемого параметра  $y(t)$ . Кроме регулирующего воздействия на величину регулируемого параметра может влиять некоторый фактор  $\xi(t)$ , называемый возмущением.

Разомкнутые САР подразделяются на системы с жесткой программой и системы регулирования по возмущению.

*САР с жесткой программой* применяют, если заранее известны момент действия и величина возмущения, при этом время и величина управляющего воздействия могут быть рассчитаны заранее. Примером САР с жесткой программой является система управления скоростью лифта, где скорость движения кабины лифта зависит от ее положения относительно конечной точки назначения.

Структурная схема САР *по возмущению* приведена на рис. 5.2.

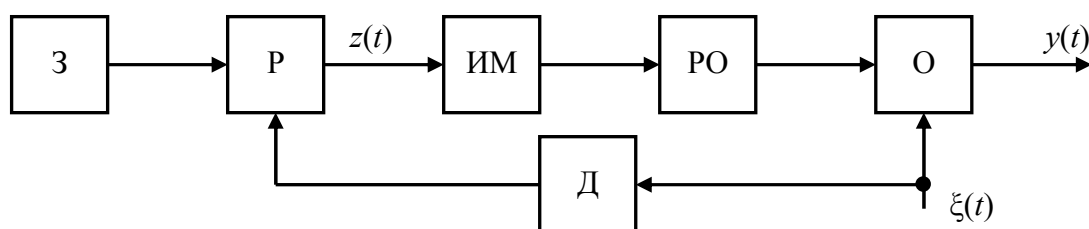


Рис. 5.2. Структурная схема САР по возмущению

Возмущение  $\xi(t)$ , воздействующее на объект, измеряется датчиком Д. Сигнал с выхода датчика поступает в регулятор Р и изменяет величину управляющего воздействия  $z(t)$  таким образом, чтобы компенсировать влияние возмущения на величину регулируемого параметра.

Схема САР уровня воды в резервуаре с регулированием по возмущению показана на рис. 5.3.

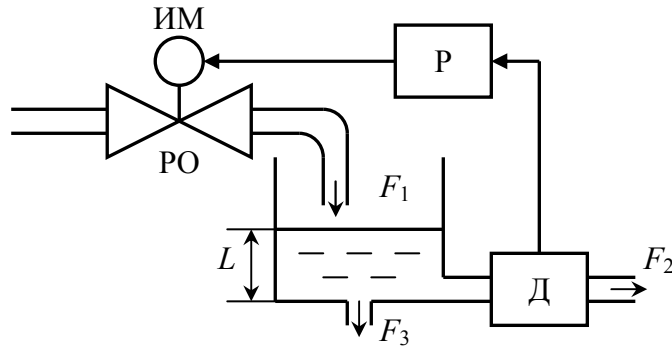


Рис. 5.3. САР уровня с регулированием по возмущению

Основным возмущением, влияющим на уровень воды, является потребление  $F_2$ , оно измеряется датчиком Д. На основании этой информации регулятор Р при помощи исполнительного механизма ИМ и регулирующего органа РО изменяет величину притока  $F_1$ , поддерживая  $F_1 = F_2$ , что является залогом обеспечения постоянства уровня  $L$  в случае, если возмущение  $F_2$  остается единственным. При наличии неконтролируемого возмущения  $F_3$  (утечка, испарение) разомкнутая система не обеспечивает стабилизации уровня.

Структурная схема замкнутой системы с *регулированием по отклонению* представлена на рис. 5.4. Аналогичная схема была рассмотрена в разделе 1.

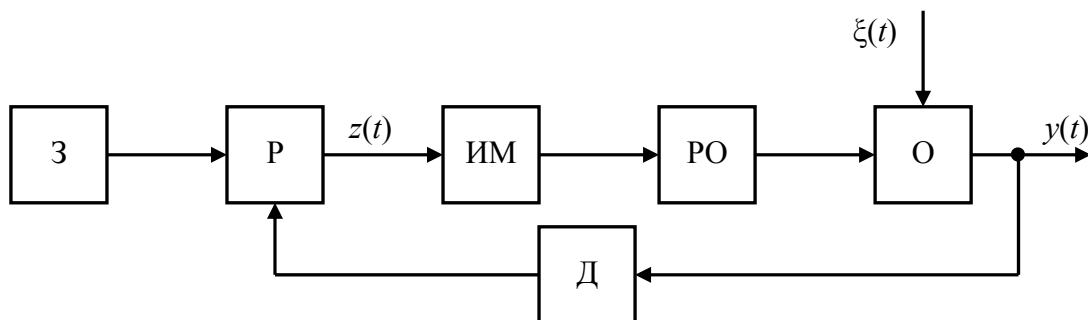


Рис. 5.4. Структурная схема замкнутой САР

Текущее значение регулируемого параметра  $y(t)$  измеряется датчиком Д и в регуляторе Р сравнивается с заданным значением, приходящим от задатчика З. В зависимости от разности между заданным и текущим значениями регулируемого параметра (рассогласования) регулятор Р вы-

рабатывает регулирующее воздействие  $z(t)$ , поступающее на объект  $O$  через исполнительный механизм ИМ и регулирующий орган РО. При этом изменяется приток энергии или вещества к объекту с целью компенсации действия возмущения  $\xi(t)$  и обеспечения заданной величины регулируемого параметра.

Пример замкнутой САР уровня воды в резервуаре с регулированием по отклонению приведен на рис 5.5.

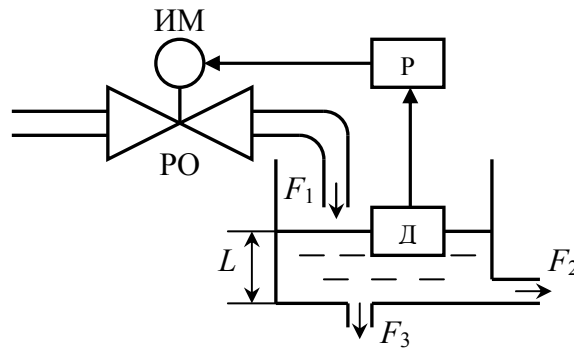


Рис. 5.5. САР уровня с регулированием по отклонению

Так же, как в системе, показанной на рис. 5.3, регулируемым параметром является уровень  $L$ , регулирующим воздействием – приток  $F_1$ . В системе действуют возмущения в виде потребления  $F_2$  и утечки  $F_3$ . Система замкнута по величине регулируемого параметра (уровня) и обеспечивает компенсацию действия всех возмущений.

По характеру изменения задания САР делятся на системы стабилизации, системы регулирования технологического параметра по заданному закону и следящие системы. К системам *стабилизации* относятся рассмотренные выше системы поддержания заданного уровня воды в резервуаре. Примером системы *изменения регулируемого параметра по заданному закону* является система регулирования температуры в пропарочной камере. В *следящих* системах сигнал задания может изменяться во времени произвольно.

По наличию ошибки в установившемся режиме САР делятся на статические и астатические.

В *статических* системах в установившемся режиме присутствует статическая ошибка, т.е. установившееся значение регулируемого параметра отличается от заданного. Так, в системе стабилизации уровня (см. рис. 5.5) при увеличении потребления уровень должен снизиться на определенную величину, чтобы приоткрылся клапан и возрос приток. В *астатических* системах ошибка в установившемся режиме равна нулю. Для этого в составе САР должен быть элемент, осуществляющий функцию интегрирования.

По характеру сигналов САР делятся на непрерывные и дискретные. В *непрерывных* системах присутствуют только непрерывные во времени сигналы. В *дискретных* системах регулирующее воздействие изменяется в дискретные моменты времени. Дискретные системы могут быть позиционными (релейными) или импульсными. В *позиционных* системах момент изменения регулирующего воздействия определяется значением регулирующего параметра. В *импульсных* системах регулирующее воздействие изменяется в определенные моменты времени с заданным периодом. К импульсным относятся САР, где в качестве регулятора используются цифровые вычислительные устройства.

По виду используемой энергии САР делятся на механические, гидравлические, пневматические, электрические и смешанные. Наибольшее распространение получили пневматические и электрические САР, в которых используются соответственно пневматические и электрические регуляторы.

*Пневматические* регуляторы характеризуются безопасностью при их использовании во взрывоопасных средах, что и определило область их применения.

*Электрические* регуляторы бывают аналоговые и цифровые. *Аналоговые* регуляторы строятся на основе операционных усилителей, используемых для алгебраического суммирования сигналов и преобразования рассогласования в выходное напряжение постоянного тока в соответствии с заданным законом регулирования. *Цифровые* регуляторы реализуются с использованием ЦВМ и микропроцессоров.

## 5.2. Свойства объектов регулирования

Различают статические и динамические свойства объекта регулирования. Статические свойства проявляются в установившемся состоянии (статике) при неизменяющихся входных и выходных сигналах. Зависимость установившегося значения выходного сигнала от входного называется *статической характеристикой объекта*.

Динамические свойства объекта регулирования проявляются при изменении входных сигналов. При этом и выходные сигналы будут изменяться во времени. Характер изменения выходного сигнала объекта зависит от вида изменяющегося входного сигнала. При исследовании САР в динамике применяют два вида стандартных входных сигналов. При скачкообразном воздействии входной сигнал изменяется мгновенно скачком на определенную величину, а затем остается постоянным (рис. 5.6,а)

Импульсное воздействие отличается тем, что входной сигнал принимает большое значение в течение очень короткого промежутка времени (рис. 5.6,б).



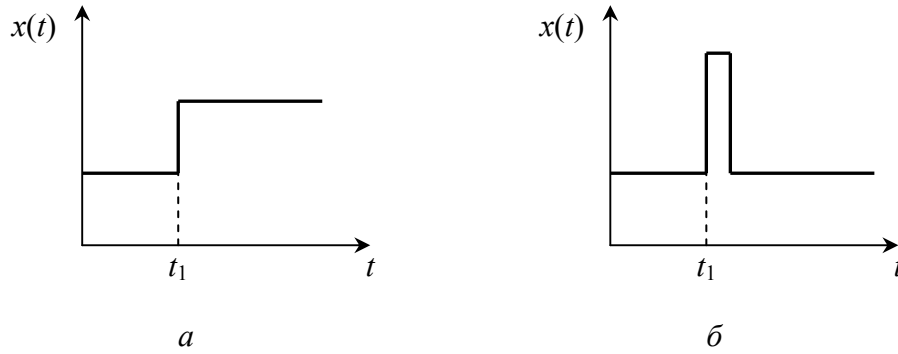


Рис. 5.6. Графики стандартных входных воздействий:  
 $a$  – скачкообразное воздействие;  $b$  – импульсное воздействие

Изменение выходного сигнала  $y(t)$  во времени под действием стандартного входного возмущения  $x(t)$  называется динамической характеристикой или *переходным процессом*. Рассмотрим типичные переходные процессы при скачкообразном изменении входного сигнала.

Если переходный процесс имеет такой вид, как показано на рис. 5.7, $a$ , то объект называется *безынерционным*. Переходный процесс, приведенный на рис. 5.7, $б$ , называется *инерционным (апериодическим)*, на рис. 5.7, $в$  – *безынерционным с запаздыванием*. На рис. 5.7, $г$  изображен *колебательный* переходный процесс.

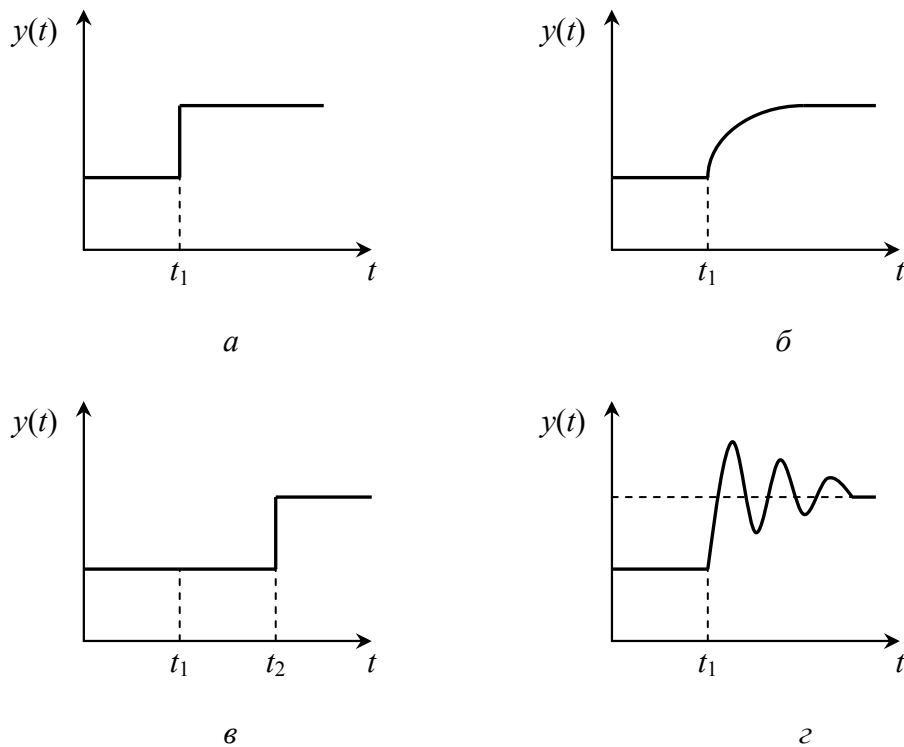


Рис. 5.7. Виды переходных процессов:  $a$  – безынерционный;  
 $б$  – инерционный (апериодический);  $в$  – безынерционный с запаздыванием;  
 $г$  – колебательный

В рассмотренных выше переходных процессах выходная величина в конце концов достигает установившегося значения. Такие процессы называются *устойчивыми*. Устойчивые объекты регулирования обладают свойством *самовыравнивания*, т.е. способностью переходить из одного установившегося состояния в другое по окончании переходного процесса при скачкообразном входном воздействии.

В *неустойчивых* объектах любое сколь угодно малое воздействие выводит объект из состояния равновесия, и со временем отклонение от равновесия увеличивается. Переходные процессы неустойчивых объектов приведены на рис. 5.8.

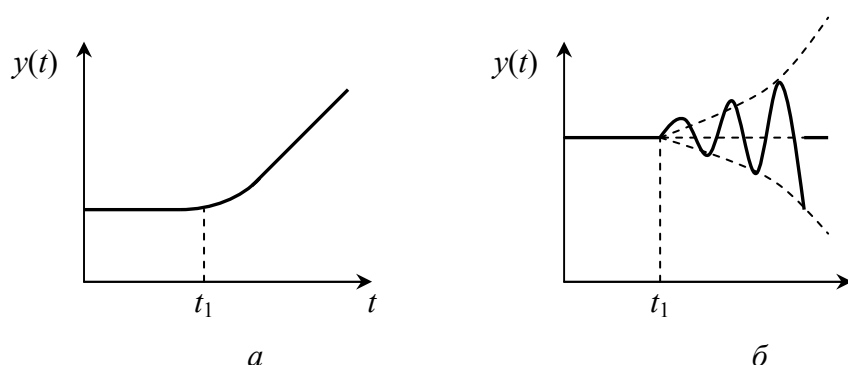


Рис. 5.8. Переходные процессы неустойчивых объектов:  
а – апериодический; б – колебательный

### Качество автоматического регулирования

Качество регулирования характеризуется тем, насколько значение регулируемого параметра близко к желаемому. Различают статические и динамические показатели качества. Основным статическим показателем качества является статическая ошибка, т.е. отклонение величины выходного параметра от заданного значения. Динамические показатели качества определяются по виду переходного процесса (рис. 5.9).

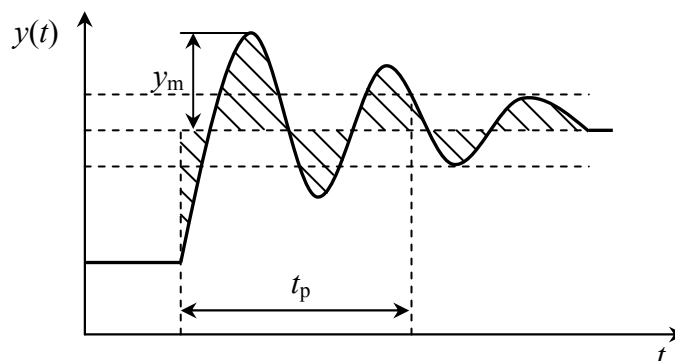


Рис. 5.9. Определение динамических показателей качества

*Перерегулирование*  $y_m$  – максимальное отклонение выходной величины от установившегося значения.

*Время регулирования*  $t_p$  – это время, за которое отклонение выходного параметра от установившегося значения станет меньше заданной величины.

Универсальным динамическим показателем качества регулирования является абсолютное значение *площади переходного процесса* (см. рис. 5.9). Чем меньше эта площадь, тем выше качество автоматического регулирования.

Качество регулирования зависит от свойств объекта регулирования и параметров регулятора, особенно от выбранного закона регулирования.

### 5.3. Законы регулирования

Законом регулирования называется зависимость управляющего воздействия  $z(t)$ , вырабатываемого регулятором, от сигнала рассогласования  $\Delta y(t)$  на его входе.

*Пропорциональный* закон состоит в том, что управляющее воздействие пропорционально рассогласованию:  $z(t) = z_0 + k \cdot \Delta y(t)$ . Он называется П-законом и реализуется П-регулятором. Здесь  $z_0$  – постоянная составляющая сигнала управления, при которой рассогласование  $\Delta y = 0$ ,  $k$  – коэффициент передачи (коэффициент усиления) регулятора. Пропорциональный закон не обеспечивает высокой точности, так как сохраняется статическая ошибка.

Для *интегрального* закона характерно, что управляющее воздействие пропорционально интегралу от рассогласования,

$$z(t) = z_0 + \frac{k}{T_{\text{и}}} \int_0^t \Delta y(t) dt,$$

где  $k$  – коэффициент усиления,  $T_{\text{и}}$  – постоянный коэффициент, называемый временем интегрирования.

Интегральный закон (И-закон) обеспечивает астатизм системы, т.е. управляющее воздействие нарастает до тех пор, пока статическая ошибка (рассогласование) не станет равной нулю. И-закон применяется для управления малоинерционными объектами со слабовыраженным запаздыванием с целью получения высокой точности.

*Пропорционально-интегральный* (ПИ) закон регулирования (иногда он называется изодромным) отличается тем, что управляющее воздействие содержит как пропорциональную, так и интегральную составляющие:

$$z(t) = z_0 + k \left[ \Delta y(t) + \frac{1}{T_{\text{и}}} \int_0^t \Delta y(t) dt \right].$$

ПИ-закон применяется для широкого класса объектов с большим запаздыванием и существенными медленно изменяющимися возмущениями.

*Пропорционально-дифференциальный (ПД) закон* (закон регулирования с предварением) формирует управляющее воздействие с пропорциональной и дифференциальной составляющими:

$$z(t) = z_0 + k[\Delta y(t) + T_d \frac{d\Delta y(t)}{dt}],$$

где  $T_d$  – время дифференцирования. ПД-закон применяется для уменьшения времени регулирования объектов, допускающих наличие статической ошибки.

*Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) закон* регулирования формирует управляющее воздействие, вычисляемое по формуле

$$z(t) = z_0 + k[\Delta y(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \Delta y(t) dt + T_d \frac{d\Delta y(t)}{dt}].$$

ПИД-закон обеспечивает высокие показатели качества регулирования объектов с частыми и глубокими возмущающими воздействиями.

#### 5.4. Программируемые логические контроллеры

Логико-программное управление технологическим оборудованием традиционно осуществлялось с помощью релейно-контактных схем. Однако такие схемы имеют ряд недостатков, а именно:

- значительные габаритные размеры и энергопотребление;
- невысокая надежность, определяемая большим числом электрических контактов;
- необходимость разработки для каждого объекта автоматизации индивидуальной схемы и, соответственно, выпуска большого объема конструкторско-технологической документации для ее изготовления.

Дальнейшее развитие устройств логико-программного управления связано с заменой элементов релейно-контактных схем их бесконтактными эквивалентами, реализующими операции двоичной логики. При этом исключается источник потенциальной ненадежности схемы – электрические контакты, но сохраняется необходимость разработки для каждого объекта уникальных схем и конструкций.

Создание современных средств управления стало возможным с появлением универсальных *программируемых логических контроллеров* (ПЛК). ПЛК представляет собой универсальное цифровое устройство, построенное по тем же принципам, что и цифровая вычислительная машина. ПЛК содержит характерные для персонального компьютера функциональные узлы: процессор, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), устройство ввода-вывода и устройство индикации.

Универсальность ПЛК состоит в том, что он может быть настроен на выполнение любого цикла логико-программного управления путем за-

грузки в его память соответствующей рабочей программы, т.е. в ПЛК осуществляется программная реализация логических функций.

Первоначально ПЛК предназначались для работы с одноканальными двоичными сигналами. На входы ПЛК сигналы поступают от конечных выключателей, контролирующих положение подвижных рабочих органов, от реле давления, температуры и других технологических параметров, от различных оперативных устройств (кнопок, тумблеров, переключателей), используемых оперативным персоналом.

Выходными сигналами ПЛК являются сигналы типа «включить» или «выключить», подаваемые на исполнительные элементы объекта, такие как контакторы и пускатели, бесконтактные силовые ключи, электроуправляемые пневмо- и гидрозолотники, электромагнитные клапаны, а также на элементы индикации: светодиоды, транспоранты, табло и др.

Со временем ПЛК помимо логических, счетных и временных функций, минимально необходимых для управления автоматическими циклами, стали выполнять арифметические операции с числами с фиксированной и плавающей запятой, что позволило использовать их в качестве регуляторов в САР. В составе ПЛК появились адаптеры ввода аналоговых сигналов, содержащие аналого-цифровые преобразователи (АЦП), и адаптеры вывода аналоговых сигналов, использующие цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП).

Структурная схема САР с ПЛК представлена на рис. 5.10. Процессор ПЛК включает в себя собственно микропроцессор (МП), память программ, память данных, адаптеры входов и выходов, адаптеры связи с периферийными устройствами (пульт оператора, дисплей, принтер).

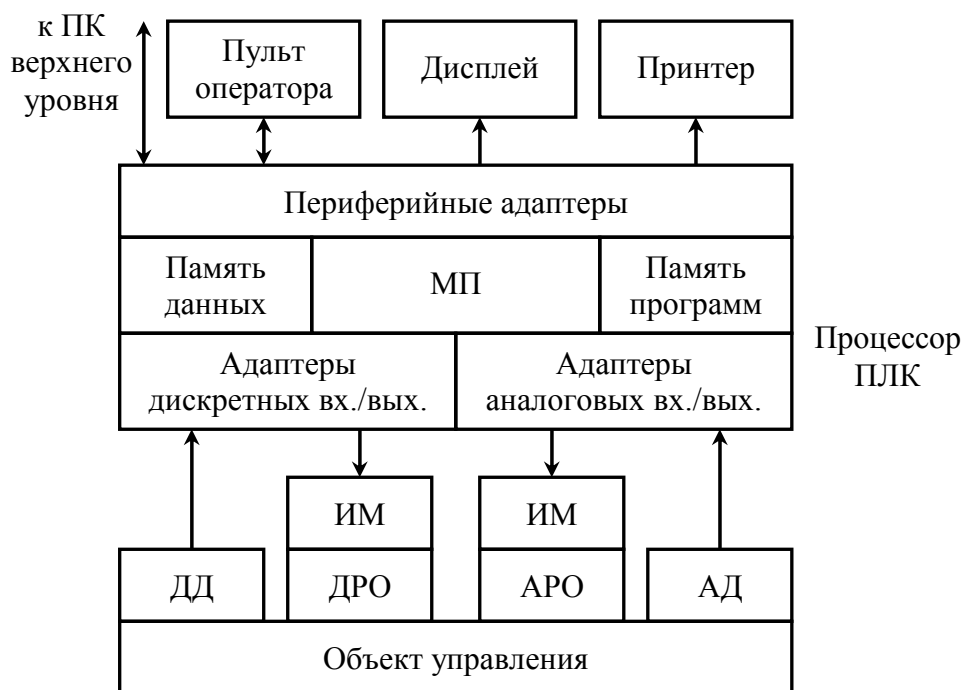


Рис. 5.10. Структурная схема САР с ПЛК

Интерфейс между датчиками, исполнительными механизмами и процессором обеспечивается специальными адаптерами входов/выходов. Кроме собственно приема информации адаптеры входов выполняют предварительную обработку сигнала, отделение полезного сигнала от шума, реализуют гальваническую развязку.

Адаптеры выходов должны кроме гальванической развязки обеспечивать определенную мощность сигнала, необходимую для управления исполнительными механизмами. В качестве выходных усилителей могут использоваться реле, транзисторы или тиристоры. Гальванические развязки обеспечиваются разделительными трансформаторами на переменном токе или оптронами на постоянном токе.

Информация о состоянии объекта управления с цифровых (ЦД) и аналоговых (АД) датчиков через соответствующие адаптеры поступает в процессор. Процессор согласно программе, размещенной в памяти, выполняет опрос датчиков, сравнивает поступающие от них сигналы с заданными, вычисляет управляющее воздействие и переводит аналоговые (АРО) и дискретные (ДРО) регулирующие органы в новое состояние.

Если цифровой контроллер получает информацию о ходе технологического процесса непосредственно с датчиков и управляет непосредственно регулирующими органами, минуя промежуточные подсистемы управления, то такой режим работы называется прямым цифровым управлением.

### **5.5. Автоматизированные системы управления технологическими процессами**

*Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП)* – человеко-машинная система управления, обеспечивающая автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой для оптимизации управления технологическим объектом в соответствии с принятым критерием.

Технологический объект управления (ТОУ) – это совокупность технологического оборудования и реализованного на нем по соответствующим инструкциям или регламентам технологического процесса производства.

Система управления ТОУ является АСУТП в том случае, если она осуществляет управление ТОУ в целом в темпе протекания технологического процесса и если в выработке и реализации решений по управлению участвуют средства вычислительной техники, другие технические средства и человек-оператор.

При создании АСУТП должны быть определены конкретные цели функционирования системы и ее назначение в общей структуре управления предприятием. Такими целями, например, могут быть:

- экономия топлива, сырья, материалов и других производственных ресурсов;
- обеспечение безопасности функционирования объекта;
- повышение качества выходного продукта (изделия) или обеспечение заданных значений параметров выходных продуктов (изделий);
- снижение затрат живого труда, достижение оптимальной загрузки (использования) оборудования;
- оптимизация режимов работы технологического оборудования (в том числе маршрутов обработки в дискретных производствах) и т.д.

*Функция АСУТП* – это совокупность действий системы, направленных на достижение частной цели управления. Совокупность действий системы представляет собой определенную и описанную в эксплуатационной документации последовательность операций и процедур, выполняемых частями системы. Функции АСУТП подразделяются на управляющие, информационные и вспомогательные.

*Управляющая функция АСУТП* – это функция, результатом которой являются выработка и реализация управляющих воздействий на технологический объект управления. К управляющим функциям АСУТП относятся:

- регулирование (стабилизация) отдельных технологических переменных;
- одноконтурное логическое управление операциями или аппаратами;
- программное логическое управление группой оборудования;
- оптимальное управление установившимися или переходными технологическими режимами, или отдельными участками процесса;
- адаптивное управление процессом в целом.

*Информационная функция АСУТП* – это функция системы, содержанием которой являются сбор, обработка и представление информации о состоянии АТК оперативному персоналу или передача этой информации для последующей обработки. К информационным функциям относятся:

- централизованный контроль и измерение технологических параметров;
- косвенное измерение (вычисление) параметров процесса (технико-экономических показателей, внутренних переменных);
- формирование и выдача данных оперативному персоналу АСУТП;
- подготовка и передача информации в смежные системы управления;
- обобщенная оценка и прогноз состояния АТК и его оборудования.

Отличительной особенностью управляющих и информационных функций АСУТП является их направленность на конкретного потребителя (объект управления, оперативный персонал, смежные системы управления).

*Вспомогательные функции* АСУТП – это функции, обеспечивающие решение внутрисистемных задач. Вспомогательные функции не имеют потребителя вне системы и обеспечивают функционирование АСУТП (функционирование технических средств системы, контроль за их состоянием, хранением информации и т.п.).

В зависимости от степени участия людей в выполнении функций системы различаются два режима реализации функций: автоматизированный и автоматический.

*Автоматизированный режим* реализации управляющих функций характеризуется участием человека в выработке (принятии) решений и (или) их реализации. При этом возможны следующие варианты:

- ручной режим, при котором комплекс технических средств представляет оперативному персоналу контрольно-измерительную информацию о состоянии ТООУ, а выбор и осуществление управляющих воздействий производит человек-оператор;
- режим «советчика», при котором комплекс технических средств вырабатывает рекомендации по управлению, а решение об их использовании принимается и реализуется оперативным персоналом;
- диалоговый режим, при котором оперативный персонал имеет возможность корректировать постановку и условия задачи, решаемой комплексом технических средств системы при выработке рекомендаций по управлению объектом.

*Автоматический режим* реализации управляющих функций предусматривает автоматическую выработку и реализацию управляющих воздействий. При этом различаются:

- режим косвенного управления, когда средства вычислительной техники автоматически изменяют уставки и (или) параметры настройки локальных систем автоматического управления (регулирования);
- режим прямого (непосредственного) цифрового (или аналого-цифрового) управления, когда управляющее вычислительное устройство формирует воздействие на исполнительные механизмы.

*Автоматизированный режим* реализации АСУТП информационных функций предусматривает участие людей в операциях по получению и обработке информации. В автоматическом режиме все необходимые процедуры обработки информации реализуются без участия человека.

АСУТП представляют собой системы управления, качественно отличные от систем автоматического регулирования (САР), предназначенных для стабилизации режимов процессов и агрегатов. Основная цель САР – оптимальная отработка задания, обеспечивающего стабилизацию требуемой физической величины или технологического параметра. При этом значение задания считается известным и может быть как постоянным, так и изменяющимся по заранее известному закону. Структура АСУТП, в отличие от САР, предполагает неременное участие человека-оператора в



принятии решений по управлению объектом. Структура АСУТП обязательно включает контур формирования оператором управляющих воздействий, поскольку цель АСУТП – реализация оптимального режима работы объекта.

### **Контрольные вопросы**

1. В каких случаях применяется разомкнутая САР с жесткой программой?
2. Как работает САР по возмущению?
3. В чем заключается основной недостаток разомкнутых САР?
4. Как работает замкнутая САР по отклонению?
5. Что такое следящая система?
6. Чем отличаются астатические САР?
7. Что называется переходным процессом?
8. Какие бывают виды переходных процессов?
9. Как определяют показатели качества при автоматическом регулировании?
10. Как реализуется П-закон регулирования?
11. Как реализуется И-закон регулирования?
12. Как реализуется ПИ-закон регулирования?
13. Как реализуется ПД-закон регулирования?
14. Как реализуется ПИД-закон регулирования?
15. В чем заключаются недостатки схемной реализации систем логико-программного управления?
16. Как реализуется логико-программное управление с помощью ПЛК?
17. Какие устройства входят в структуру САР с ПЛК?
18. Перечислите цели создания АСУТП.
19. В чем заключается управляющая функция АСУТП?
20. В чем заключается информационная функция АСУТП?
21. Назовите варианты реализации автоматизированного режима работы АСУТП.
22. В чем заключаются режимы работы косвенного и прямого цифрового управления?

## 6. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

### 6.1. Схемы управления электродвигателями

#### Схемы пуска электродвигателя

Пуск и остановка асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором при включении на полное напряжение сети осуществляются дистанционно при помощи *магнитных пускателей* (рис. 6.1).

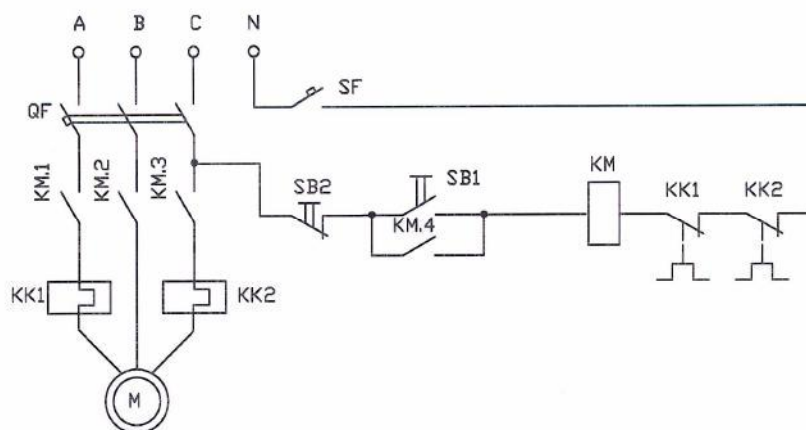


Рис. 6.1. Схема магнитного пускателя

Электродвигатель М питается от трехфазной сети переменного напряжения. Трехфазный автоматический выключатель QF предназначен для отключения схемы при коротком замыкании. Однофазный автоматический выключатель SF защищает цепи управления.

Основным элементом магнитного пускателя является контактор (мощное реле для коммутации больших токов) КМ. Его силовые контакты коммутируют три фазы, подходящие к электродвигателю. Кнопка SB1 («Пуск») предназначена для пуска двигателя, а кнопка SB2 («Стоп») – для остановки. Тепловые биметаллические реле КК1 и КК2 осуществляют отключение схемы при превышении тока, потребляемого электродвигателем.

При нажатии кнопки SB1 контактор КМ срабатывает и контактами КМ.1, КМ.2, КМ.3 подключает электродвигатель к сети, а контактом КМ.4 блокирует кнопку (самоблокировка).

Для остановки электродвигателя достаточно нажать кнопку SB2, при этом контактор КМ отпускает и отключает электродвигатель. Важным свойством магнитного пускателя является то, что при случайном пропадании напряжения в сети двигатель отключается, но восстановление напряжения в сети не приводит к самопроизвольному запуску электродвигателя, так как при отключении напряжения отпускает контактор КМ, и для повторного включения необходимо нажать кнопку SB1.

При неисправности установки, например, при заклинивании и остановке ротора электродвигателя, ток, потребляемый электродвигателем, возрастает в несколько раз, что приводит к срабатыванию тепловых реле, размыканию контактов КК1, КК2 и отключению установки. Возврат контактов КК в замкнутое состояние производится вручную после устранения неисправности.

*Реверсивный магнитный пускатель* позволяет не только запускать и останавливать электродвигатель, но изменять направление вращения ротора. Для этого схема пускателя (рис. 6.2) содержит два комплекта контактов и кнопок пуска.

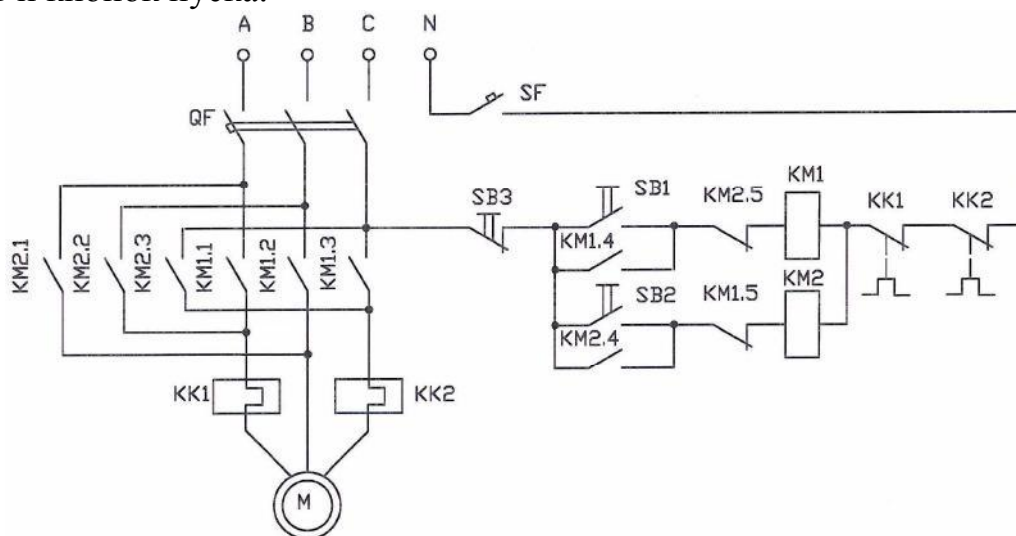


Рис. 6.2. Схема реверсивного магнитного пускателя

Контактор КМ1 и кнопка SB1 с самоблокировкой предназначены для включения двигателя в режиме «вперед», а контактор КМ2 и кнопка SB2 включают режим «назад». Для изменения направления вращения ротора трехфазного электродвигателя достаточно поменять местами любые две из трех фаз питающего напряжения, что и обеспечивается основными контактами контакторов.

Кнопка SB3 предназначена для остановки электродвигателя, контакты КМ1.5 и КМ2.5 осуществляют взаимоблокировку, а тепловые реле КК1 и КК2 – защиту при превышении тока.

Включение электродвигателя на полное напряжение сети сопровождается большими пусковыми токами, что может быть недопустимо для сети ограниченной мощности. *Схема пуска электродвигателя с ограничением пускового тока* (рис. 6.3) содержит резисторы R1, R2, R3, включенные последовательно с обмотками электродвигателя. Эти резисторы ограничивают ток в момент пуска при срабатывании контактора КМ после нажатия кнопки SB1.

Одновременно с КМ при замыкании контакта КМ.5 срабатывает реле времени КТ. Выдержка, осуществляемая реле времени, должна быть достаточной для разгона электродвигателя. По окончании времени выдержки

замыкается контакт КТ, срабатывает реле К и своими контактами К.1, К.2, К.3 шунтирует пусковые резисторы. Процесс пуска завершен, на электродвигатель подается полное напряжение.

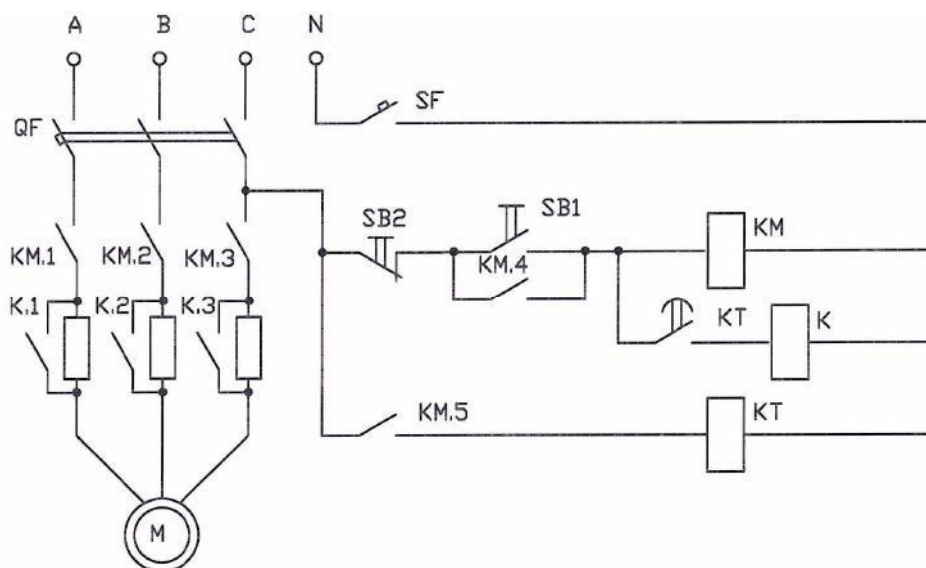


Рис. 6.3. Схема пуска электродвигателя с ограничением пускового тока

### Схемы торможения электродвигателя

После снятия напряжения с электродвигателя его ротор какое-то время продолжает вращаться за счет инерции. В ряде устройств, например, в подъемно-транспортных механизмах, требуется осуществлять принудительное торможение для уменьшения величины выбега. Динамическое торможение заключается в том, что после снятия переменного напряжения через обмотки электродвигателя пропускается постоянный ток. *Схема динамического торможения* показана на рис. 6.4.

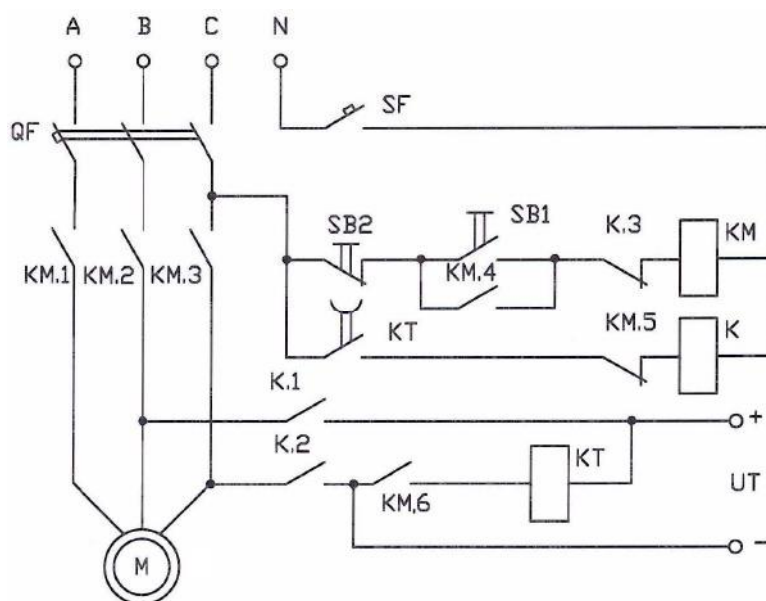


Рис. 6.4. Схема динамического торможения

В схеме, помимо основного контактора КМ, присутствует реле К, включающее режим торможения. Поскольку реле и контактор не могут быть включены одновременно, применена схема взаимоблокировки (контакты КМ.5 и К.3).

При нажатии кнопки SB1 срабатывает контактор КМ, подает питание на электродвигатель (контакты КМ.1, КМ.2, КМ.3), блокирует кнопку (КМ.4) и блокирует реле К (КМ.5). Замыкание КМ.6 вызывает срабатывание реле времени КТ и замыкание контакта КТ без выдержки времени. Таким образом осуществляется пуск электродвигателя.

Для остановки электродвигателя следует нажать кнопку SB2. Контактор КМ отпускает, размыкаются контакты КМ.1...КМ.3, отключая электродвигатель, замыкает контакт КМ.5, что вызывает срабатывание реле К. Контакты К.1 и К.2 замыкаются, подавая постоянный ток в обмотки. Происходит быстрое торможение.

При размыкании контакта КМ.6 реле времени КТ отпускает, начинается выдержка времени. Величина выдержки должна быть достаточна для полной остановки электродвигателя. По окончании выдержки времени контакт КТ размыкается, реле К отпускает и снимает постоянное напряжение с обмоток электродвигателя.

Наиболее эффективным способом торможения является реверсирование двигателя, когда сразу после снятия питания на электродвигатель подается напряжение, вызывающее появление встречного вращающего момента. *Схема торможения противовключением* приведена на рис. 6.5.

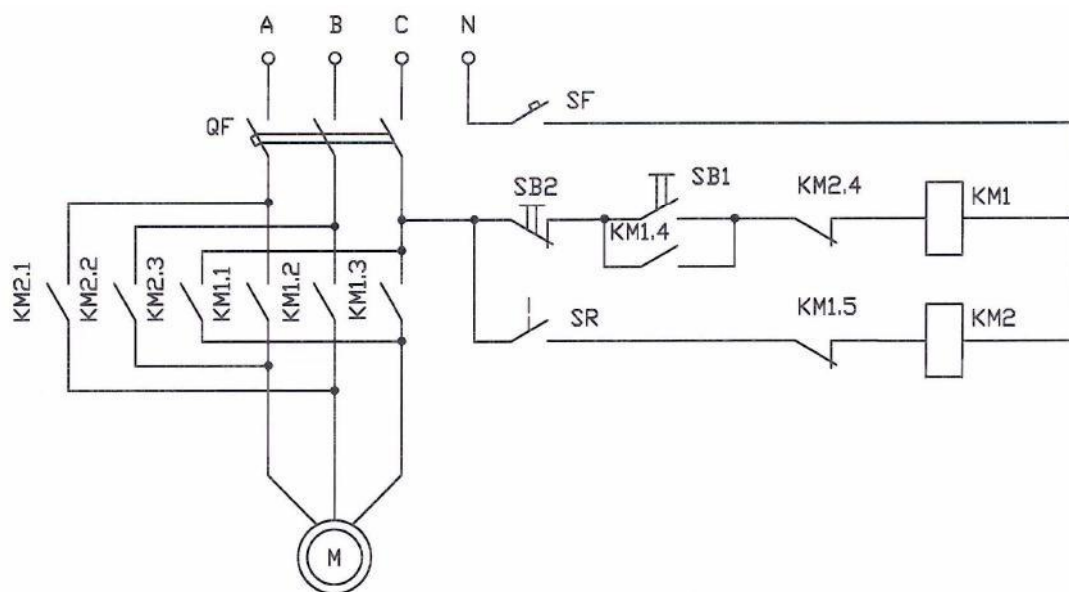


Рис. 6.5. Схема торможения противовключением

Частота вращения ротора двигателя контролируется с помощью реле частоты вращения с контактом SR. Если частота вращения больше некоторого значения, контакт SR замкнут. При остановке электродвигателя контакт SR размыкается.

Кроме контактора прямого включения КМ1 схема содержит контактор для реверсирования КМ2. При пуске электродвигателя срабатывает контактор КМ1 и контактом КМ1.5 разрывает цепь катушки КМ2. С достижением определенной частоты вращения замыкается контакт SR, подготавливая цепь для включения реверса.

При останове электродвигателя контактор КМ1 отпускает и замыкает контакт КМ1.5. В результате этого контактор КМ2 срабатывает и подает на электродвигатель реверсирующее напряжение для торможения. Снижение частоты вращения ротора вызывает размыкание SR, контактор КМ2 отпускает, торможение прекращается.

## 6.2. Автоматизация склада заполнителей бетона

Склад закрытого типа с надштабельным конвейером (рис. 6.6) состоит из пяти отсеков П5 ... П9, в которые материал может поступать с железнодорожного транспорта через промежуточные питатели П1, П2, П3 с ленточным конвейером, приводимым в движение при помощи электродвигателя М1.

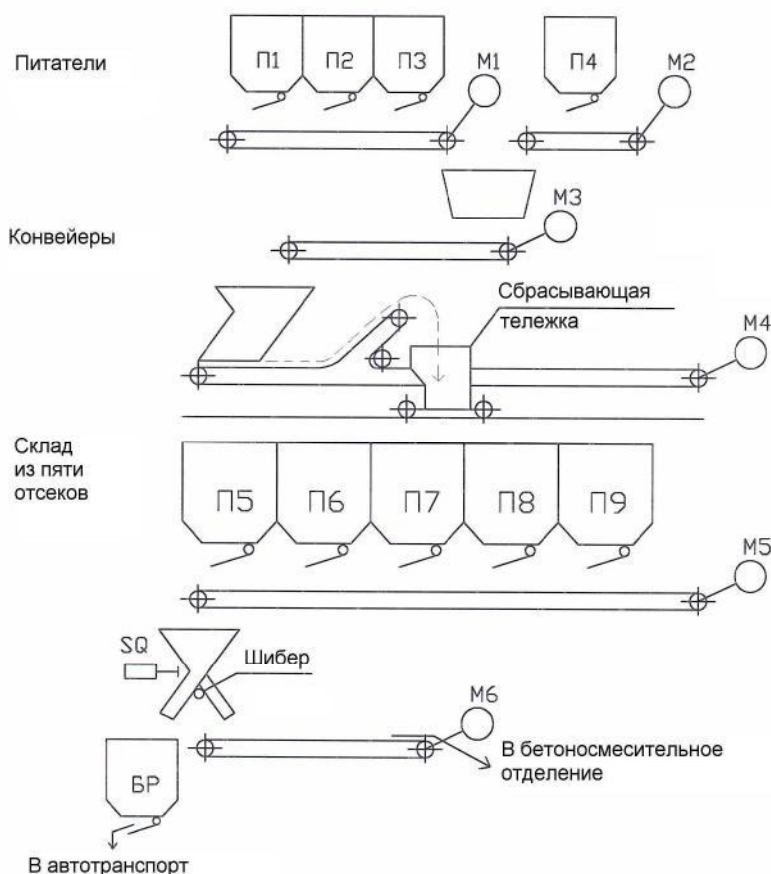


Рис. 6.6. Склад заполнителей бетона

Также материал поступает с автотранспорта через питатель П4 и конвейер с электродвигателем М2. Далее материал через промежуточный



конвейер М3 подается на конвейер М4 со сбрасывающей тележкой, которая, перемещаясь вдоль отсеков, позволяет сбрасывать материал в один из них.

Граф транспортных путей загрузки склада показан на рис. 6.7,а. Каждый путь включает один из питателей П1 ... П4, последовательную цепь конвейеров М1, М3 или М2, М3 и конвейер М4, с которого материал с помощью сбрасывающей тележки сбрасывается в соответствующий отсек.

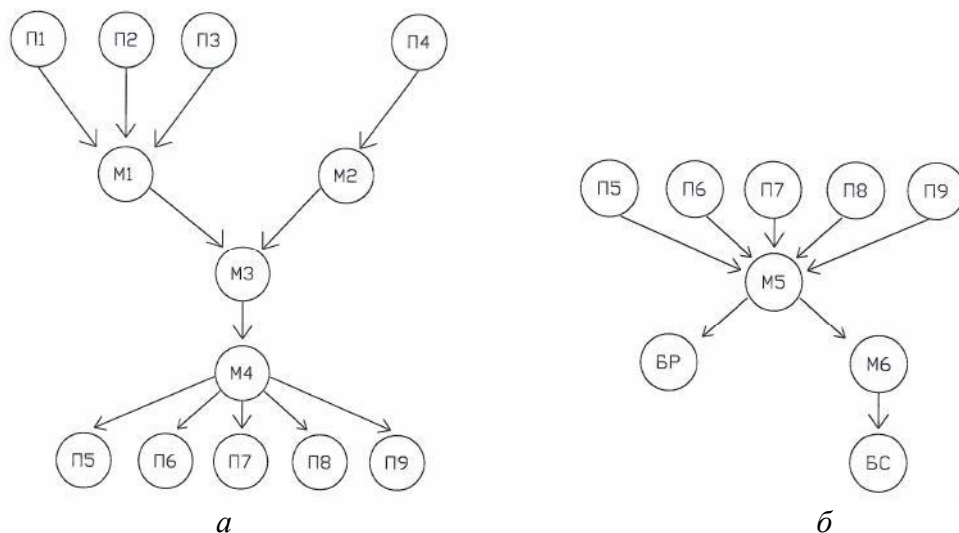


Рис. 6.7. Графы транспортных путей: а – загрузки, б – разгрузки

Граф путей разгрузки склада приведен на рис. 6.7,б. Выдача материала из отсеков склада производится при помощи конвейера М5 с шиббером, в зависимости от положения последнего материал может поступать либо на конвейер М6 и далее в бетоносмесительное отделение, либо в расходный бункер БР с последующей выгрузкой в автотранспорт.

Система автоматического управления должна реализовывать выбранные пути загрузки и разгрузки склада, обеспечивать включение и отключение агрегатов в определенной последовательности. Чтобы избежать завала материалом, агрегаты должны включаться в последовательности против направления движения материального потока, а выключаться по направлению движения. При выходе из строя какого-либо агрегата транспортной цепи должны отключаться предшествующие по материальному потоку агрегаты. Рассматриваемая система относится к системам логико-программного управления, она может быть реализована схемным способом с использованием электромагнитных реле или программно при помощи программируемого логического контроллера.

Схемная реализация системы управления транспортерами при загрузке склада приведена на рис. 6.8,а.

Контакторы КМ1 ... КМ4 включают и выключают электродвигатели М1 ... М4 соответственно. Переключатель SA1 имеет четыре положения. В первом положении переключателя реализуется ручное управление. При

этом каждый электродвигатель по отдельности может быть включен нажатием кнопки с замыкающим контактом (например, при нажатии кнопки SB1 срабатывает контактор KM4 и запускается электродвигатель М4). Выключение электродвигателя производится кнопкой с размыкающим контактом (для М4 это кнопка SB2).

Второе положение переключателя SA1 задает режим включения агрегатов в последовательности М4, М3, М1 при загрузке склада с железнодорожного транспорта. При нажатии кнопки SB1 срабатывает KM4 и запускает электродвигатель М4. Замыкание контакта KM4 вызывает срабатывание контактора KM3 и запуск электродвигателя М3, а замыкание KM3.1 приводит к срабатыванию KM1 и пуску двигателя М1.

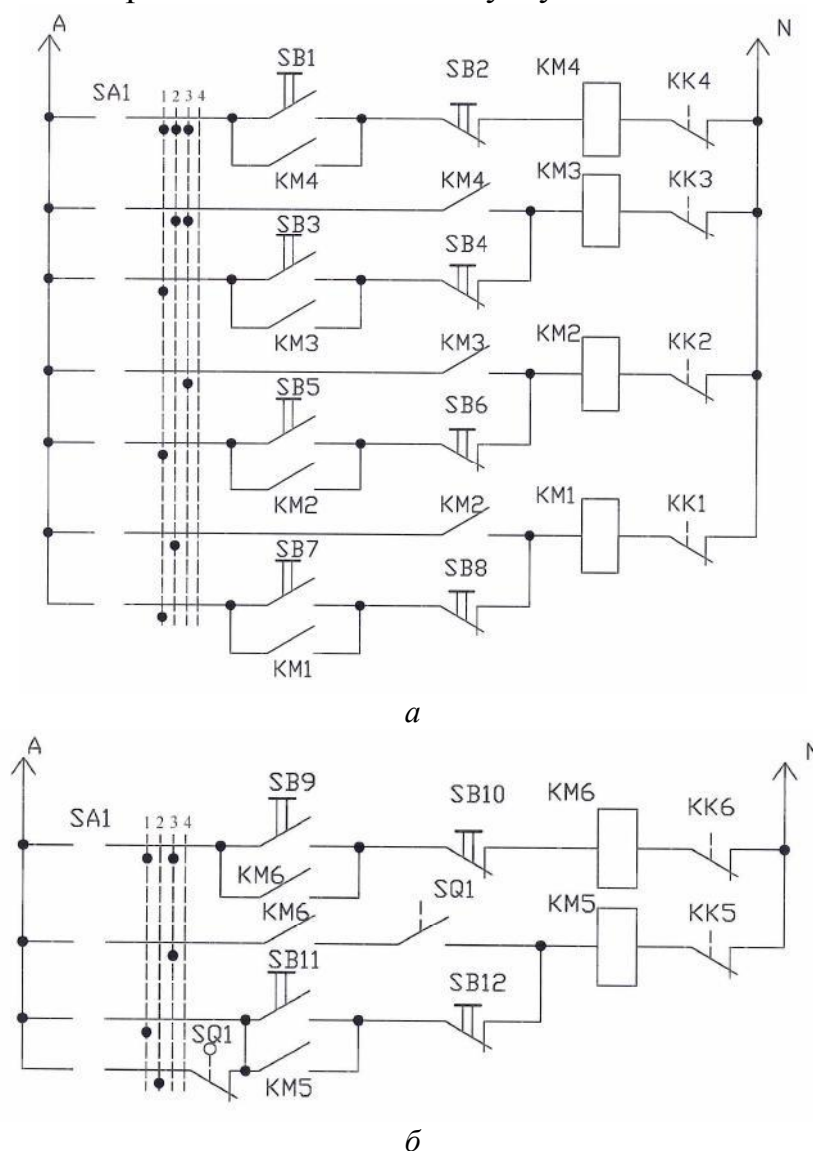


Рис. 6.8. Схема системы управления транспортерами:  
*a* – при загрузке; *б* – при разгрузке

В третьем положении переключателя SA1 реализуется включение конвейеров в последовательности М4, М3, М2 для загрузки склада с авто-



транспорта. Схема работает аналогично режиму 2 с заменой первого конвейера на второй.

Установка переключателя SA1 в четвертое положение приводит к выключению всех конвейеров.

Согласно требованиям техники безопасности для остановки каждого конвейера из любого места по всей его длине конвейеры снабжены тросовыми выключателями с размыкающими контактами КК1 ... КК4. Если в процессе работы будет отключен какой-либо из конвейеров, то автоматически будут отключены предшествующие по материальному потоку конвейеры. Пусть в процессе работы цепочки М1, М3, М4 сработает тросовый выключатель КК3 на третьем конвейере. Контакт КК3 разорвет цепь питания контактора КМ3 и вызовет его отпусkanie. При этом будет отключен двигатель М3, а размыкание контакта КМ3.1 приведет к отпусkанию КМ1 и отключению двигателя М1. Четвертый конвейер в этом случае не отключается.

Схема управления транспортерами при выдаче материала со склада приведена на рис. 6.8,б. При установке переключателя SA2 в первое положение реализуется режим ручного управления. При установке SA2 во второе положение цепь питания катушки контактора КМ5 подсоединяется к шине А через размыкающий контакт конечного выключателя SQ.2, контролирующего положение шибера. Поэтому пятый конвейер может быть включен кнопкой SB11 только тогда, когда шибер установлен в положение для подачи материала в бункер БР.

Установкой переключателя SA2 в третье положение включается режим автоматического управления цепью транспортеров для выдачи материала в бетоносмесительное отделение. Цепь катушки контактора КМ5 замыкается после включения шестого транспортера (замыкания контакта КМ6) при условии, что шибер стоит в положении выдачи материала на конвейер М5 (контакт SQ.1 замкнут).

Управление запирающими аппаратами питателей отсеков склада, а также положением сбрасывающей тележки и шибера производится вручную.

Схемы, представленные на рис. 6.8, весьма упрощены. Они лишь показывают принцип реализации блокировок. Реальные схемы могут содержать ряд дополнительных элементов, реализующих дополнительные функции. Для защиты двигателей от перегрузок в системе могут быть установлены тепловые реле, размыкающие контакты которых включаются последовательно в цепь катушки контактора. На мощных конвейерах могут быть установлены датчики положения ленты, ее натяжения и др.

Кроме того, в схеме не учитывается необходимость временных задержек при последовательном включении агрегатов транспортных цепей. Поэтому двигатели агрегатов включаются практически одновременно, что приводит к значительному броску тока, потребляемого от сети при пуске.

Указанный недостаток может быть устранен параллельным подсоединением к обмоткам контакторов обмоток реле времени и последовательным включением замыкающих контактов этих реле в цепи питания контакторов предыдущих конвейеров (управление по времени).

Другой путь устранения этого недостатка – установка на конвейеры реле, контролирующих скорость движения ленты, размыкающие контакты которых находятся в цепях питания контакторов управления электродвигателями предыдущих по материальному потоку конвейеров (управление по скорости).

### 6.3. Управление поточно-транспортной системой

Поточно-транспортная система, состоящая из транспортера, приводимая в движение электродвигателем М3, вибросита с электродвигателем М2 и элеватора с электродвигателем М1, показана на рис. 6.9.

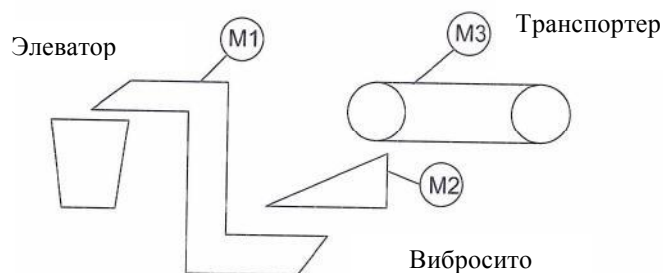


Рис. 6.9. Поточно-транспортная система

Для нормального функционирования системы составляющие ее агрегаты должны включаться и выключаться в определенном порядке, а именно: первым должен включаться привод элеватора, затем – привод вибросита и в последнюю очередь – привод транспортера. Выключение агрегатов должно производиться в обратном порядке.

На рис. 6.10 представлена схема блокировок и сигнализации, а на рис. 6.11 – схемы управления электродвигателями.

Переключателем SA1 осуществляется выбор режима местного или дистанционного управления. Режим местного управления предназначен для проверки и наладки оборудования. При этом питание на схему блокировок не подается (контакт SA1.1 разомкнут), а схемы управления электродвигателями работают как магнитные пускатели. Пуск электродвигателя осуществляется кнопкой «пуск» (например, для элеватора это кнопка SB3). При замыкании контакта SB3 срабатывает контактор КМЭ и контактами КМЭ.1 подает напряжение питания на электродвигатель М1. Замыкание контакта КМЭ.2 вызывает срабатывание реле К2, при этом замыкается контакт К2.1, выполняющий функцию самоблокировки.

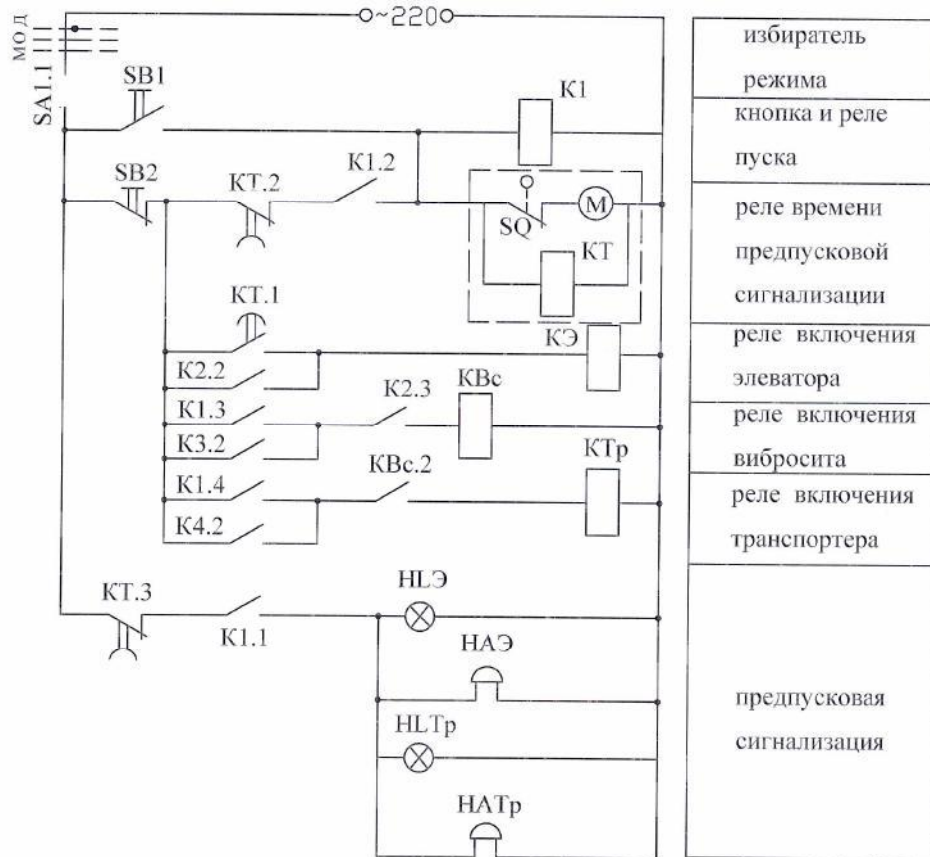


Рис. 6.10. Схема блокировок и сигнализации

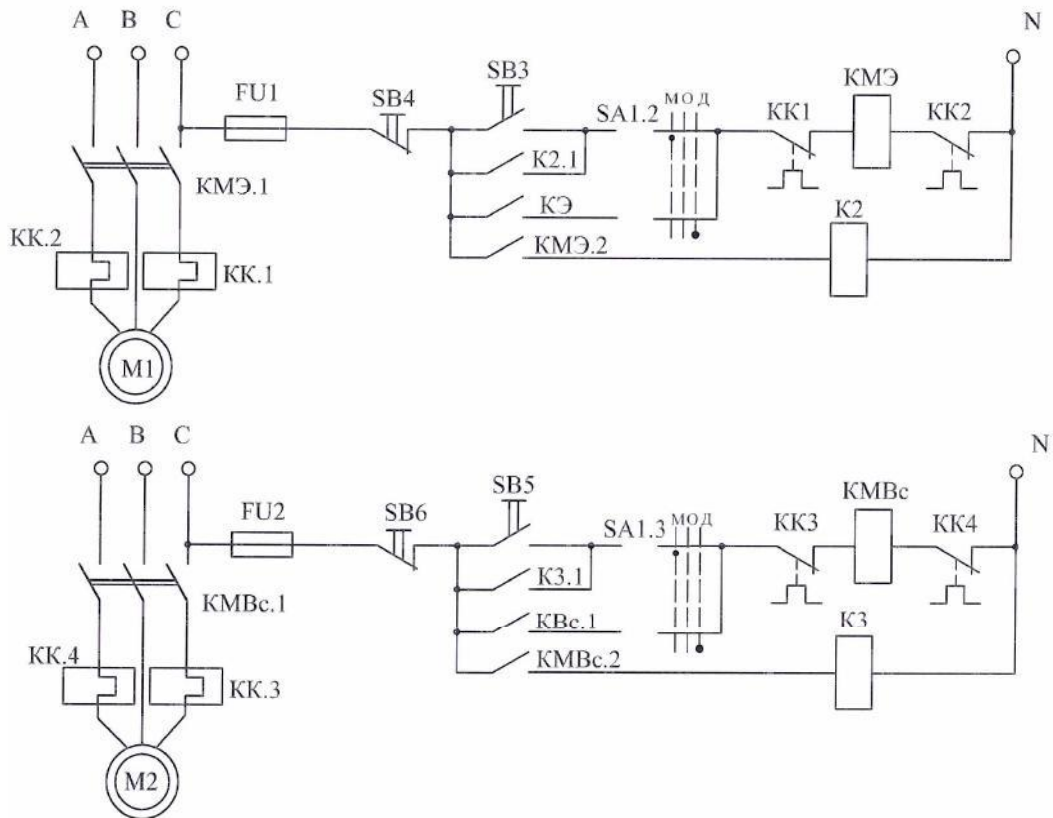


Рис. 6.11. Схемы управления электродвигателями

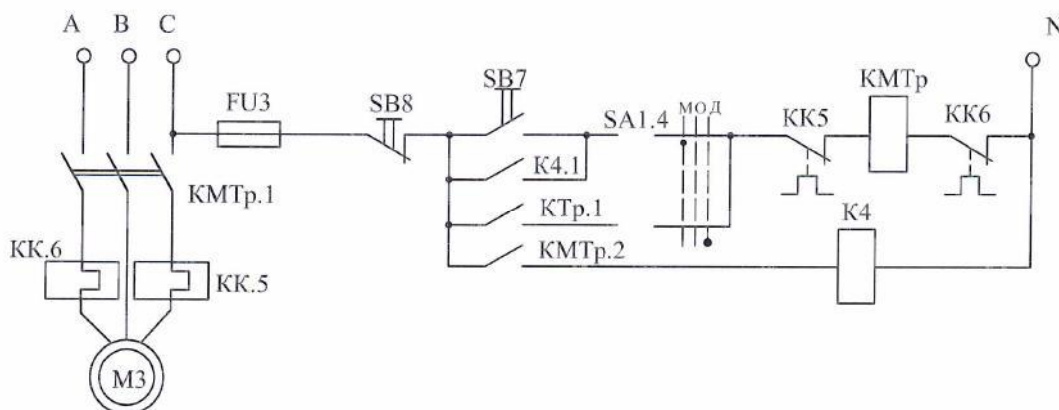


Рис. 6.11. Окончание

Останов электродвигателей выполняется кнопками «стоп» (SB4 для элеватора). При размыкании контакта SB4 контактор КМЭ отпускает и, размыкая контакты КМЭ.1, отключает М1. При размыкании КМЭ.2 отпускает реле К3 и размыкает контакт К2.1.

Схемы управления электродвигателями вибросита М2 и транспортера М3 работают аналогично.

В режиме дистанционного управления (переключатель SA1 находится в положении «Д») кнопки ручного пуска отключаются, и управление электродвигателями осуществляется от схемы блокировок и сигнализации.

Запуск системы в режиме дистанционного управления производится кнопкой SB1. При замыкании контакта SB1 срабатывают реле К1 и реле времени КТ. Замыкание контакта К1.1 вызывает включение предупредительной сигнализации, контакт К1.2 используется для самоблокировки, а замыкание контактов К1.3 и К1.4 не вызывает непосредственной реакции, эти контакты подготавливают соответствующие цепи.

Сигнализация нужна для предупреждения персонала о предстоящем запуске агрегатов. Включение электродвигателей начинается по окончании времени выдержки (например, 10 с) с замыкания контакта реле времени КТ.1. При этом срабатывает реле включения элеватора КЭ. Замыкание контакта КЭ в схеме управления электродвигателем М1 вызывает срабатывание контактора КМЭ, включение электродвигателя М1 и срабатывание К2. Контакт К2.2 блокирует контакт КТ.1, а замыкание контакта К2.3 ведет к срабатыванию реле включения вибросита КВс. Контакт КВс.1 замыкается, срабатывает КМВс и запускает электродвигатель вибросита М2. Замыкание КВс.2 вызывает срабатывание КТр и включение электродвигателя привода транспортера М3.

Через 20 с после начала запуска системы размыкаются контакты реле времени КТ.2 и КТ.3. Контакт КТ.3 отключает сигнализацию, а контакт КТ.2 снимает питание с реле времени КТ и реле К1. Запуск системы завершается.

Отключение поточно-транспортной системы в режиме дистанционного управления производится кнопкой SB2. Размыкание контакта SB2 вызывает отпускание реле КЭ, КВс и КТр, отпускание контакторов КМЭ, КМВс и КМТр и отключение всех электродвигателей.

Аварийная защита системы выполнена таким образом, чтобы при отключении одного из агрегатов отключались все агрегаты, расположенные в транспортной цепочке до него. Рассмотрим возможные ситуации:

а) при отключении транспортера в результате срабатывания тепловых биметаллических реле КК5 и КК6 или после нажатия кнопки SB8 контактор КМТр отпускает и отключает М3. После размыкания КМТр.2 отпускает К4. Размыкание К4.2 вызывает отпускание КТр. Таким образом, электродвигатель транспортера отключается, а электродвигатели вибросита и элеватора продолжают работать;

б) при отключении вибросита в результате аварии или нажатием кнопки SB6 контактор КМВс и реле К3 отпускают. Размыкается К3.2 – отпускает реле КВс. В результате размыкания КВс.2 отпускает КТр, размыкает КТр.1 – отпускает КМТр и отключает электродвигатель М3. В результате отключение вибросита приводит к отключению транспортера;

в) отключение элеватора вызывает отключение вибросита и транспортера.

#### **6.4. Автоматизация процессов дозирования и взвешивания**

Автоматические весы и весовые дозаторы, применяемые в строительстве, делятся на две группы: дискретного и непрерывного действия. Дозаторы и весы дискретного действия в процессе функционирования проходят ряд дискретных состояний, например, загрузка, выгрузка и др. В дозаторах и весах непрерывного действия параметры, характеризующие состояние системы в каждый момент времени, являются непрерывными функциями времени.

##### **Автоматический дозатор дискретного действия**

Система дозирования сыпучих материалов дискретного действия (рис. 6.12) состоит из бункера Б1, шнекового питателя ШК, бункера Б2, соединенного при помощи системы рычагов с циферблатной весоизмерительной головкой, исполнительного механизма ИМ, датчика угла поворота Д. Управление системой осуществляется при помощи программируемого логического контроллера.

Система функционирует следующим образом. Вначале оператор вводит в контроллер значение заданной массы дозы материала  $P_z$ , после чего контроллер формирует сигнал включения двигателя М питателя, и материал начинает поступать из бункера Б1 в бункер Б2. По мере поступления материала в бункер Б2 происходит непрерывное взвешивание дозы.

Угол поворота стрелки циферблатной весоизмерительной головки с помощью датчика Д преобразуется в сигнал, пропорциональный текущему значению массы материала в бункере Б2 в данный момент времени.

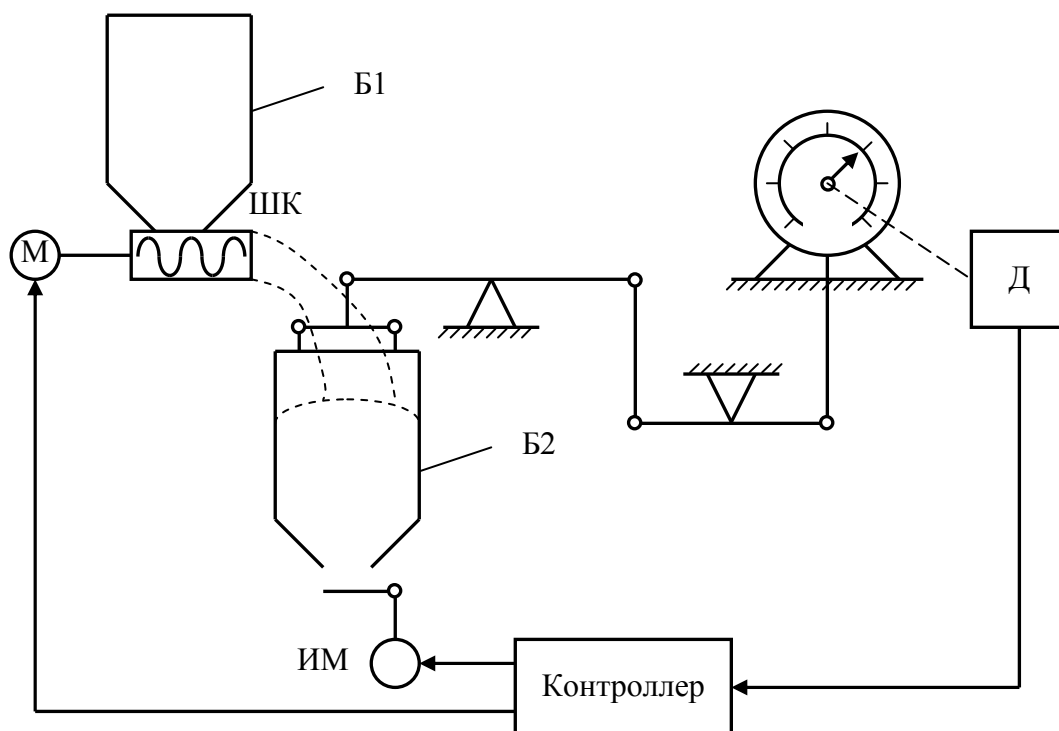


Рис. 6.12. Автоматический дозатор дискретного действия

Алгоритмы управления дозатором, реализованные в программе контроллера, представлены на рис. 6.13.

В простейшем алгоритме управления (см. рис. 6.13,а) предполагается, что масса материала в бункере дозатора  $P_d(t)$  в каждый момент времени в точности характеризует набранную дозу материала. После запуска программы формируется сигнал включения питателя, затем циклически выполняется измерение текущего значения массы дозы материала  $P_d(t)$  и проверяется условие  $P_d(t) \geq P_z$  до тех пор, пока это условие не будет выполнено. После чего формируются сигнал выключения питателя и сигнал на открывание бункера Б2 для выгрузки дозы.

Рассмотренный алгоритм отличается невысокой точностью, так как не учитывает следующие факторы: наличие струи материала, находящегося в процессе падения в момент измерения текущей массы, динамическое воздействие струи, наличие переходных процессов. Это приводит к тому, что результирующая масса  $P_k$  отличается от массы  $P_d(t)$ , определенной в момент отключения питателя. В реальных системах  $P_k > P_d(t)$ . Разность  $\Delta = P_k - P_d(t)$  называется выбегом системы. Уменьшить влияние выбега можно путем вычисления прогноза. В улучшенном алгоритме (см. рис. 6.13,б) на основании текущей величины массы вычисляется прогнозируемое значение по формуле  $P_n(t) = P_d(t) + A_n$ , где  $A_n$  – постоянная величина, равная среднему значению выбега. Величина выбега зависит от па-

раметров дозируемого материала (состав, влажность и пр.), поэтому для повышения точности дозирования целесообразно предусмотреть возможность коррекции величины  $A_n$  по результатам периодических измерений фактического значения выбега.

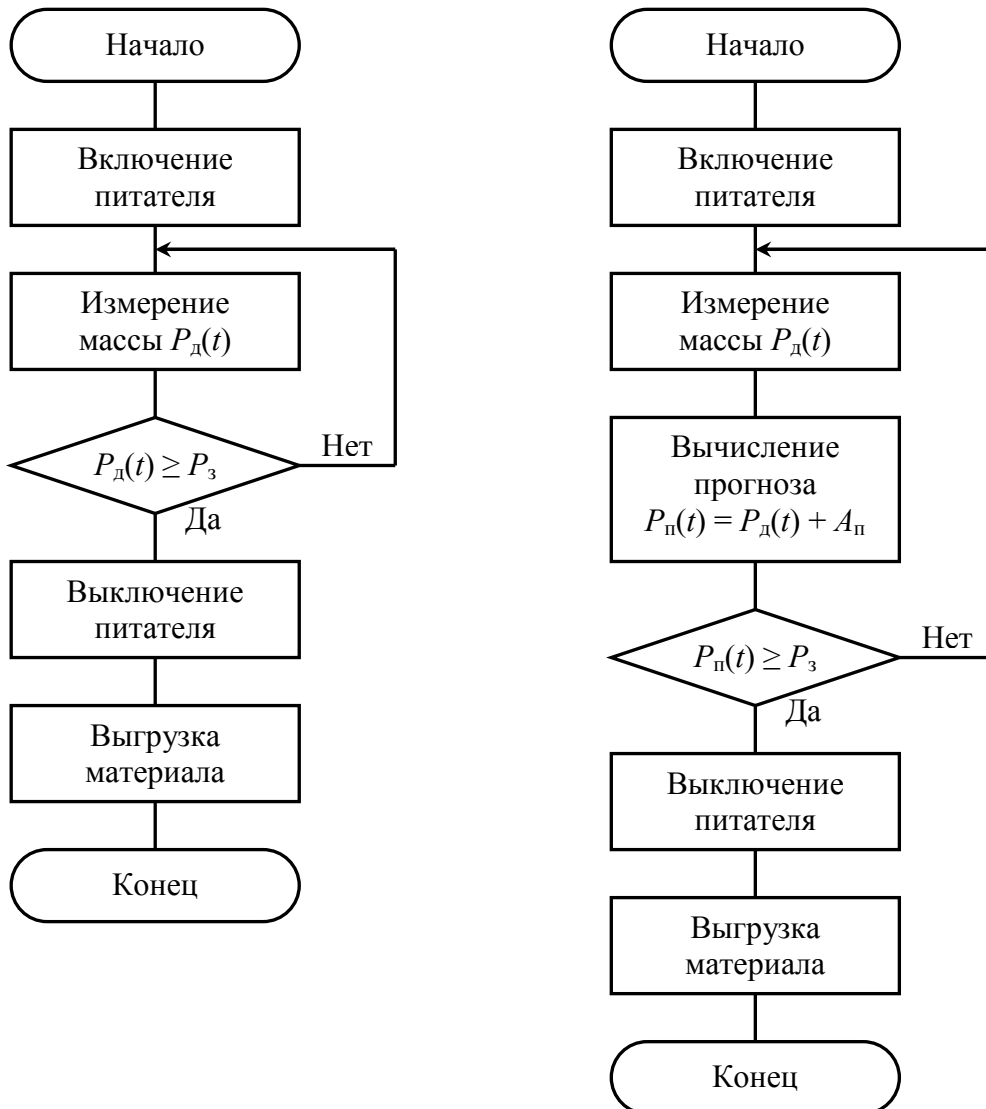


Рис. 6.13. Алгоритмы управления дозатором

### Автоматический дозатор непрерывного действия

Схема дозатора непрерывного действия для сыпучих компонентов бетонных и растворных смесей с автоматическим регулированием производительности показана на рис. 6.14.

Дозатор содержит короткий ленточный транспортер 1, опирающийся на левое плечо коромысла взвешивающегося устройства 2. Вес транспортера с находящимся на нем материалом уравнивается набором гирь 3, играющим роль задатчика в системе регулирования. Перемещение коромысла измеряется при помощи дифференциального индуктивного датчика

4, сигнал которого поступает в устройство управления УУ, представляющее собой аналоговый регулятор. Сигнал с выхода УУ воздействует на вибропитатель 5, изменяя его производительность. Таким образом реализуется замкнутая система автоматического регулирования производительности питателя с регулированием по отклонению.

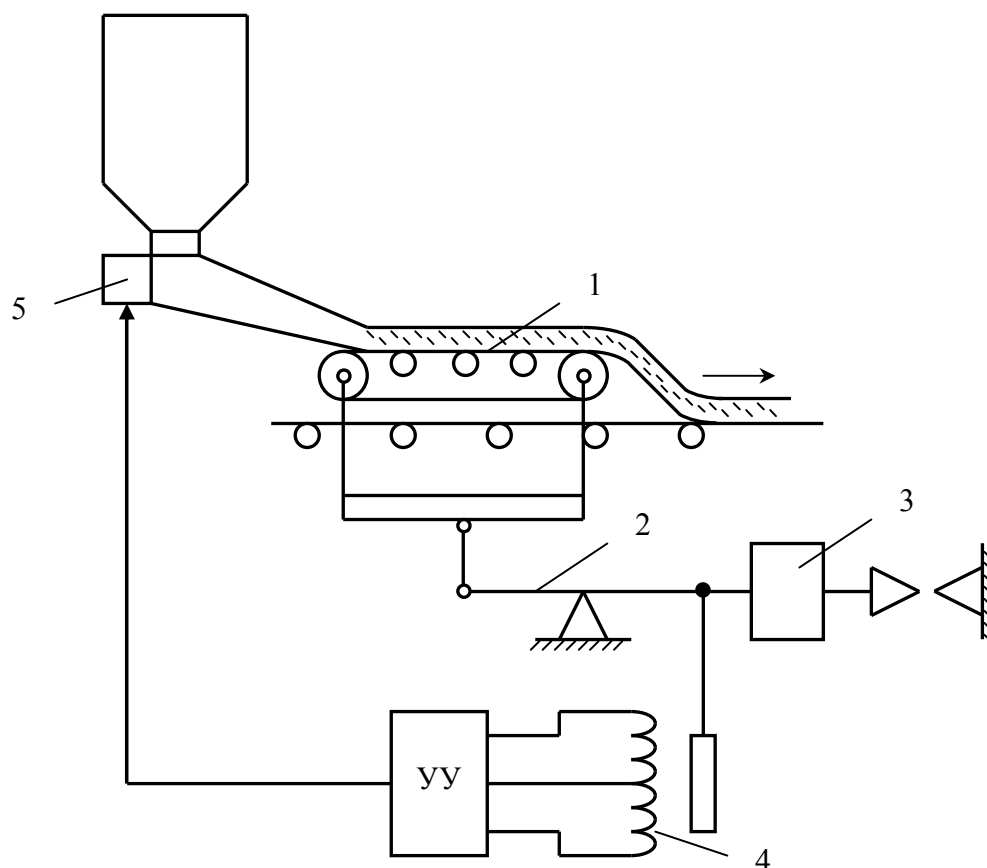


Рис. 6.14. Дозатор непрерывного действия для сыпучих материалов

В установившемся состоянии производительность питателя равна заданной. При отклонении производительности от заданного значения изменится масса материала на транспортере, что приведет к изменению положения коромысла. Сигнал рассогласования, снимаемый с дифференциального индуктивного датчика, усиливается и изменяет производительность вибропитателя в сторону, противоположную отклонению.

При дозировании цемента вместо вибропитателя используется шнековый питатель, производительность которого регулируется изменением частоты вращения шнека.

### Тензорезисторные конвейерные весы

Количество материала, переносимого ленточным конвейером в единицу времени, определяется усилием воздействия материала на ролик,



поддерживающий ленту, и скоростью движения ленты. Схема конвейерных весов представлена на рис. 6.15.

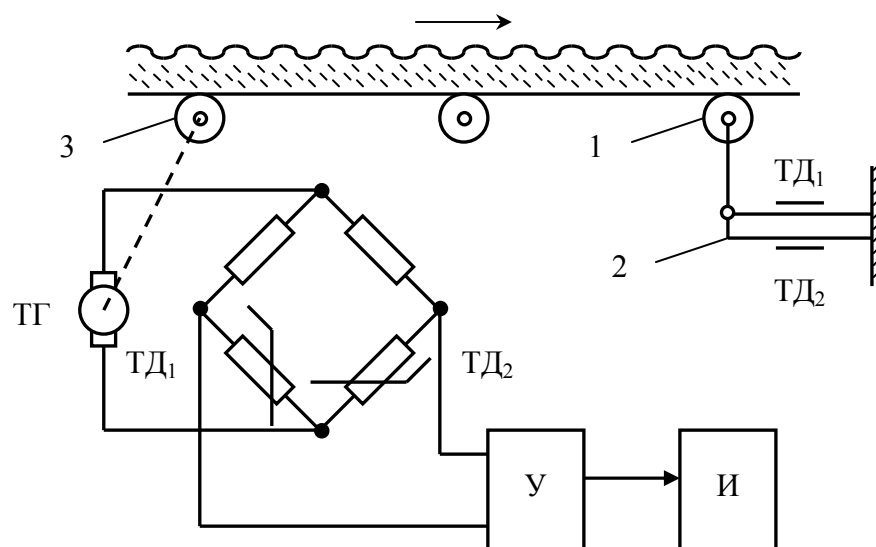


Рис. 6.15. Тензорезисторные конвейерные весы

Весы состоят из весового ролика 1, воздействующего на упругий элемент 2 с тензодатчиками ТД1 и ТД2. Тензодатчики включены в мостовую схему, питание которой осуществляется от тахогенератора ТГ, связанного с роликом 3. Таким образом, напряжение питания моста пропорционально скорости движения ленты транспортера, сигнал на выходе моста пропорционален весу материала, транспортируемого в единицу времени. Этот сигнал усиливается усилителем У и поступает на интегратор И, вычисляющий суммарный вес материала, перемещенного конвейером.

## 6.5. Автоматизация процессов смешивания

В строительном производстве наибольшее распространение получили бетоносмесители периодического действия, в которых операции загрузки, перемешивания и выгрузки производятся циклически. Эти процессы начинаются при поступлении сигналов либо с местного пульта управления, либо из системы управления более высокого уровня.

Система управления бетоносмесителями гравитационного действия изображена на рис. 6.16.

Смеситель 1 показан в положении выгрузки готовой смеси, а смеситель 2 – в положении загрузки и перемешивания компонентов. Для формирования сигналов о положении каждого из смесителей в системе предусмотрены конечные выключатели 3, срабатывающие, когда смеситель находится в крайних положениях. Вращение смесительных барабанов осуществляется электродвигателями М1 и М5. Опрокидывание и подъем барабанов производятся при помощи электродвигателей М2 и М4.

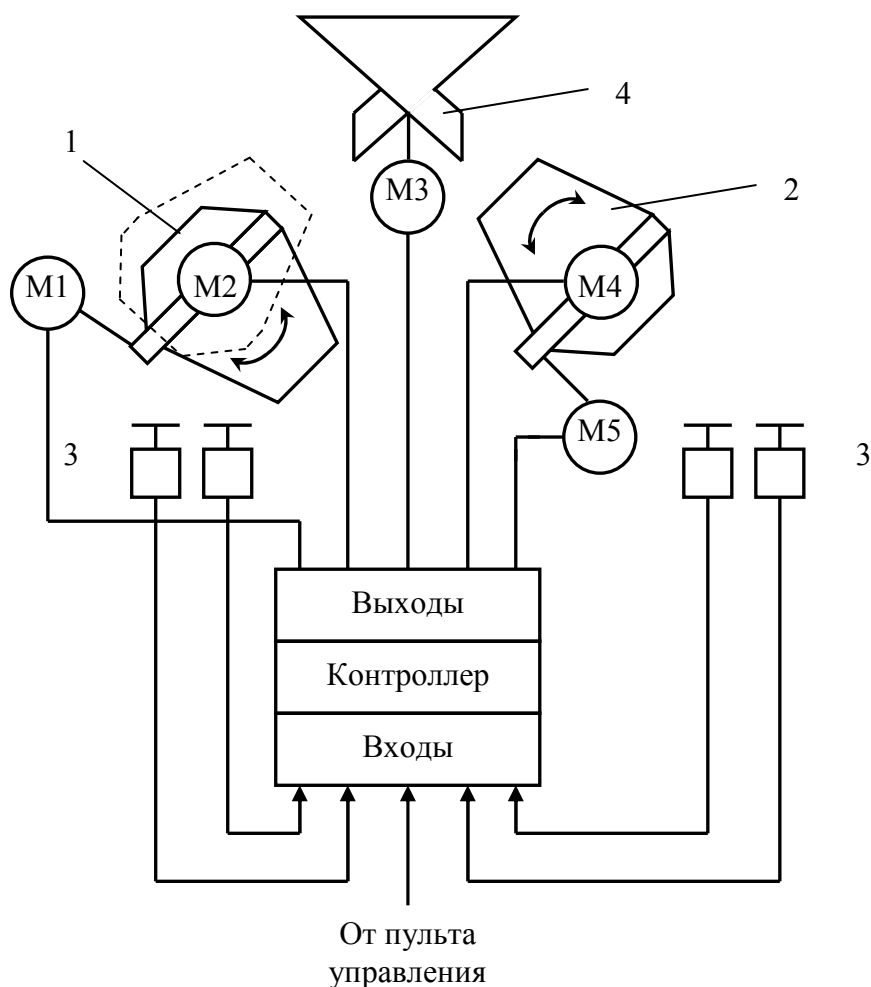


Рис. 6.16. Система управления бетоносмесителями

Исполнительный механизм М3 изменяет положение шибера распределительной воронки 4, переключающего материальный поток в двух возможных направлениях.

Управление системой осуществляется программируемым логическим контроллером, на входы которого поступают управляющие сигналы и сигналы от конечных выключателей, а выходные сигналы контроллера производят включение и отключение электроприводов.

Схемы алгоритмов функционирования контроллера в режимах загрузки, перемешивания и выгрузки изображены на рис. 6.17.

При поступлении с пульта сигнала «загрузка» (см. рис. 6.17,а) управление передается блоку 1, который считывает сигналы состояния конечных выключателей, определяющих положение барабана. Если барабан не находится в положении, при котором возможна загрузка, то управление передается блокам 3 и 4, которые формируют сигналы его перевода в требуемое положение.

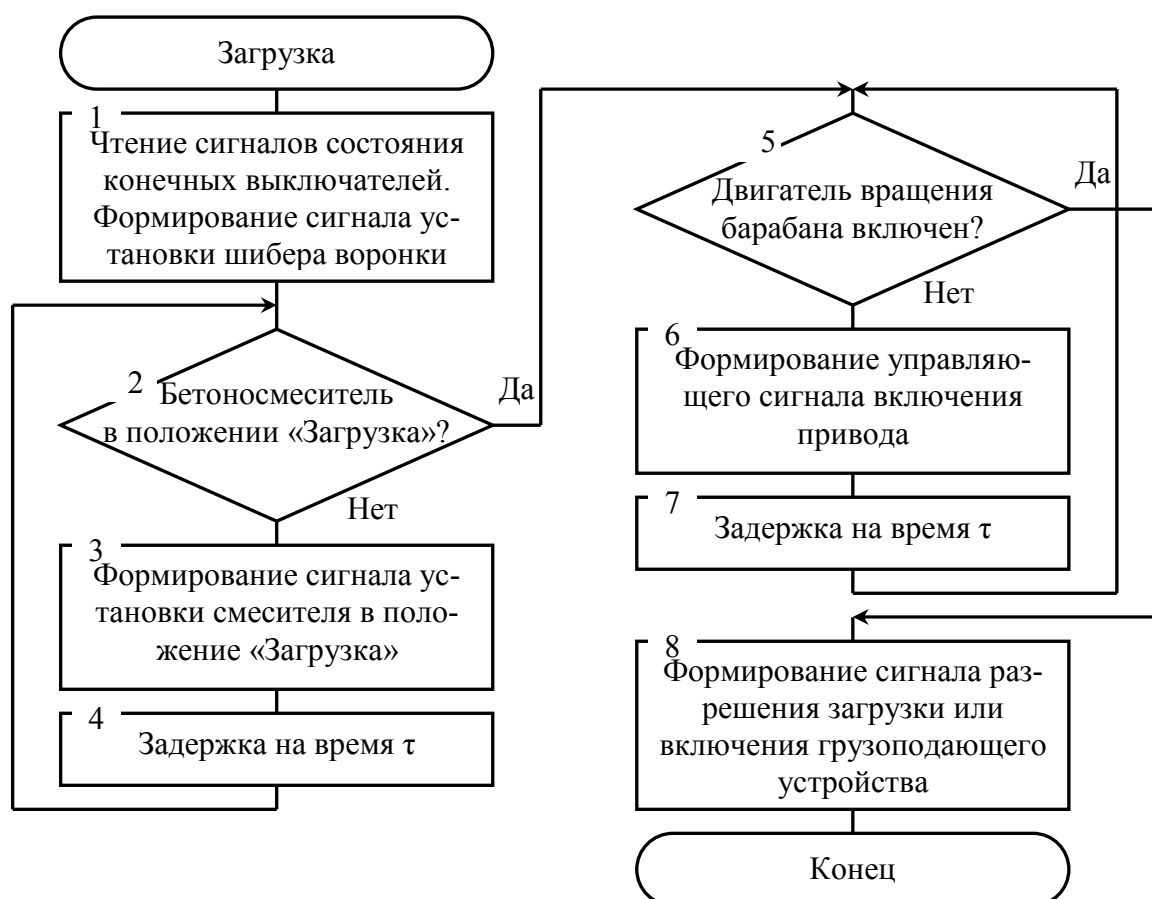


Рис. 6.17. Схема алгоритма управления смесителями в режиме загрузки

Загрузка смесителя допускается только при включенном приводе смесительного барабана. Это условие проверяется блоком 5, и в случае его невыполнения управление передается блокам 6 и 7 для включения электропривода.

Если смеситель является составной частью АСУТП приготовления бетонной смеси, блоком 8 формируется сигнал разрешения загрузки, который используется для управления агрегатами, осуществляющими загрузку.

Управление процессом разгрузки бетоносмесителя осуществляется аналогично (рис. 6.18,а).

Управление процессом перемешивания выполняется согласно алгоритму, схема которого изображена на рис. 6.18,б. Известны несколько способов определения момента времени окончания перемешивания, реализуемых с помощью блоков 1 и 2. Наиболее распространено управление, когда перемешивание производится в течение установленного интервала времени. В этом случае блок 1 реализует функцию задержки на время  $\tau$ .

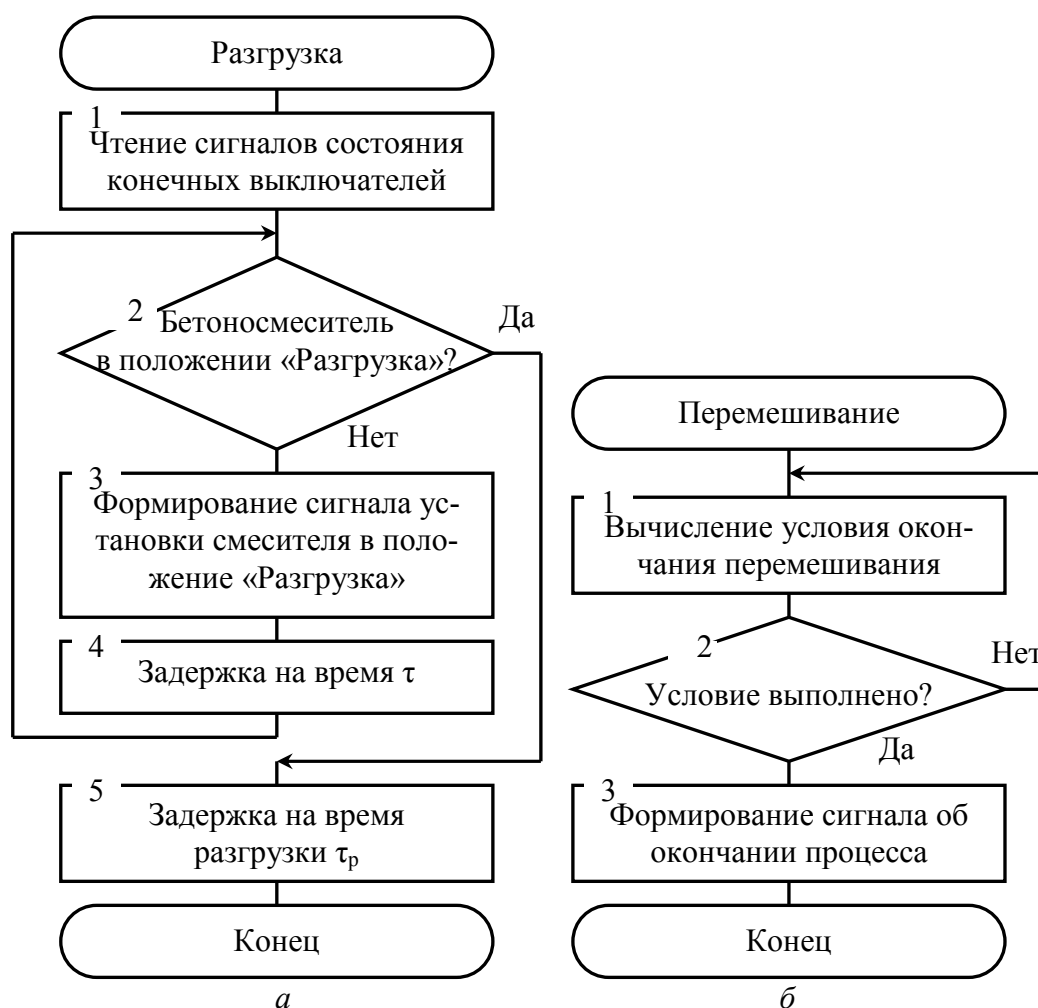


Рис. 6.18. Схемы алгоритмов управления смесителями в режимах разгрузки и перемешивания

## 6.6. Автоматизация нагрева арматурных стержней

Чтобы исключить появление растягивающих напряжений в бетоне, во многих железобетонных конструкциях на этапе их формовки применяют предварительное натяжение арматуры. Натяжение может быть выполнено электромеханическим, механическим или электротермическим способом.

При электротермическом натяжении удлинение стержней происходит за счет теплового расширения при пропускании по ним электрического тока. Установка для нагрева стержней показана на рис. 6.19.

Три стальных стержня укладываются на стеллаж и с помощью пневмоцилиндров зажимаются медными зажимами. Через зажимы к стержням подводится электрический ток от трансформатора. По мере повышения температуры стержни удлиняются, перемещая подвижную опору. При температуре около 400 °С срабатывает конечный выключатель SQ1, и происходит отключение электрического тока.

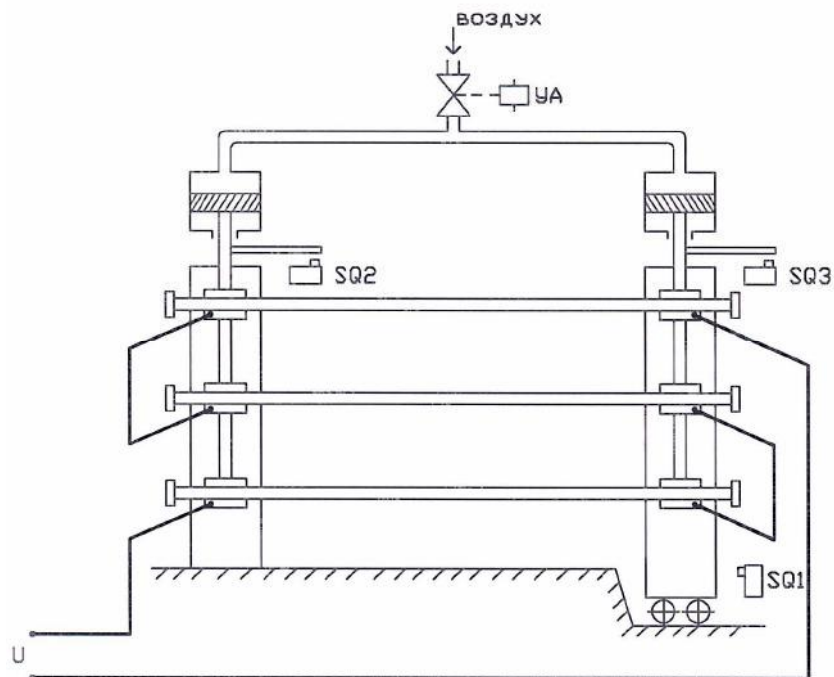


Рис. 6.19. Установка для нагрева арматурных стержней

Схема управления установкой приведена на рис. 6.20.

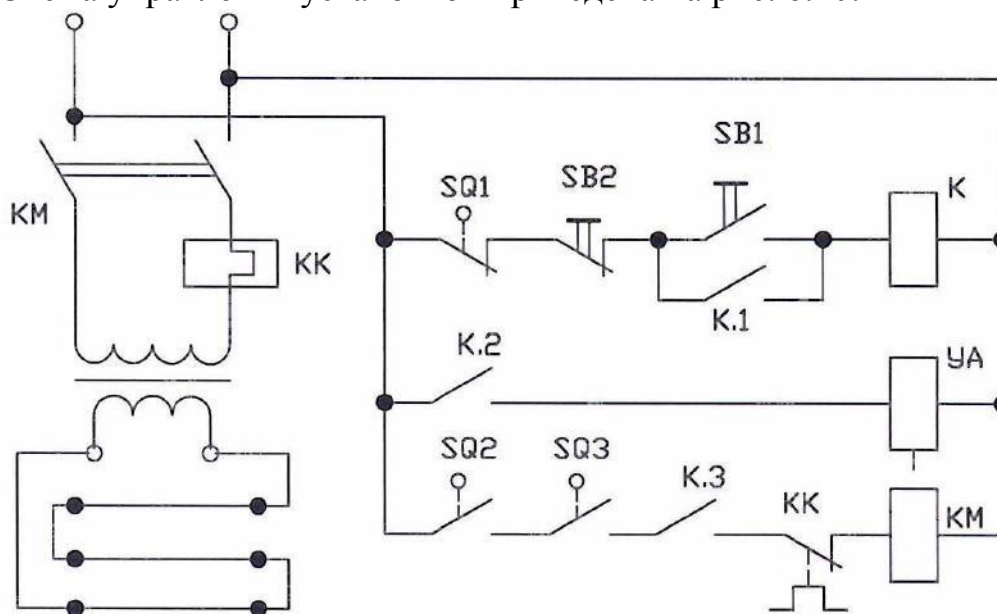


Рис. 6.20. Схема управления установкой

При нажатии кнопки SB1 срабатывает реле К. Контакт К.1 используется для самоблокировки, контакт К.3 подготавливает цепь катушки контактора КМ. Замыкание контакта К.2 вызывает срабатывание электромагнитного клапана УА и подачу воздуха в пневмоцилиндры. Признаком фиксации стержней является срабатывание конечных выключателей SQ2 и SQ3. С замыканием контактов SQ2 и SQ3 срабатывает контактор КМ и своими контактами подает напряжение на первичную обмотку трансфор-

матора, вторичная обмотка трансформатора подключена к последовательно соединенным стержням.

По достижении необходимого удлинения стержней размыкается контакт SQ1, реле К отпускает и размыкает свои контакты, что приводит к отпусканнию контактора КМ, отключению трансформатора, отпусканнию электромагнита клапана и освобождению стержней. Нагретые стержни укладываются в форму, и их концы фиксируются бортами формы. Остывая, стержни сокращаются, чем создается предварительное натяжение. Затем производится формовка и тепловлажностная обработка изделия. После достижения бетоном 70 % прочности выступающие концы стержней обрезаются, и сжимающее усилие передается на бетон.

### 6.7. Автоматизация процесса уплотнения бетонной смеси центрифугированием

Уплотнение бетонной смеси центрифугированием применяют при изготовлении длинномерных, симметричных относительно продольной оси изделий, например труб. Основным формовочным оборудованием являются центрифуги, бетонная смесь в которых уплотняется при вращении формы с заданной частотой.

Функциональная схема автоматизации установки для изготовления труб методом центрифугирования изображена на рис. 6.21.

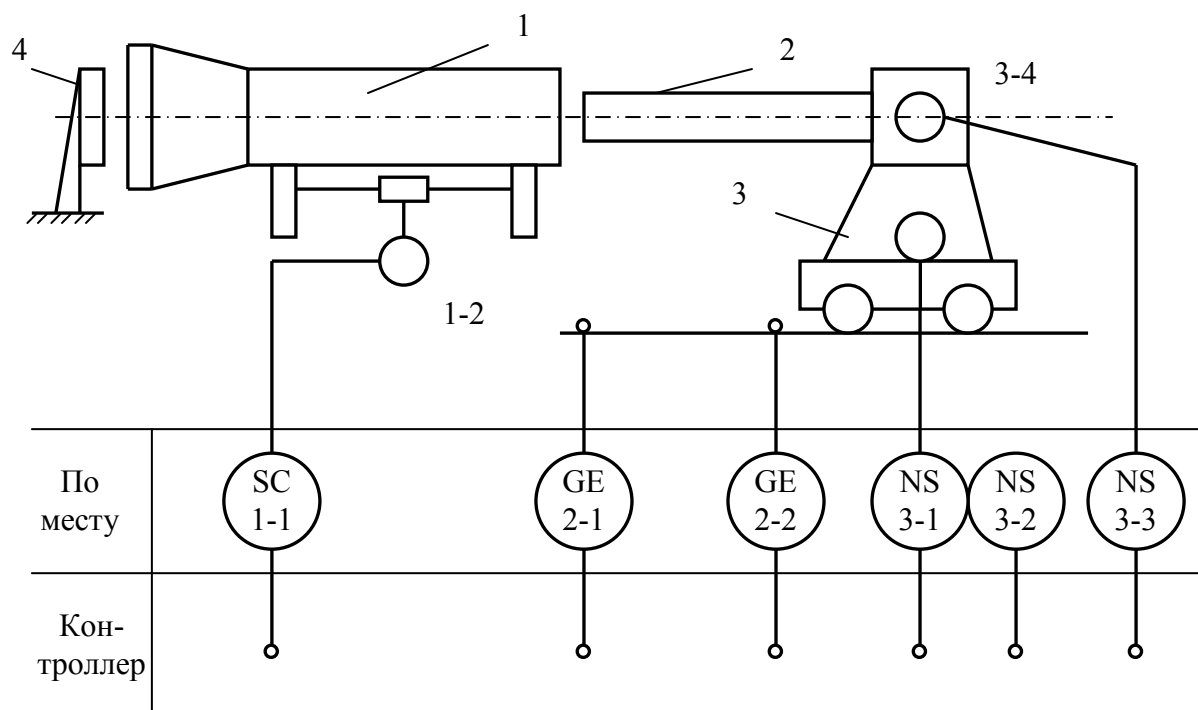


Рис. 6.21. Функциональная схема автоматизации установки для изготовления труб

Это типичная система логико-программного управления. В качестве управляющего устройства используется программируемый логический

контроллер. Управление установкой производится следующим образом. После размещения формы 1 с арматурой и заполнения ложки питателя 2 бетонной смесью оператор запускает программу управления. Вначале при помощи магнитного пускателя 3-1 включается привод движения тележки питателя 3 вперед. Когда ложка питателя займет рабочее положение, появляется сигнал путевого выключателя 2-1, и контроллер отключает привод тележки. Ее крайнее положение ограничивается упором 4. Одновременно с помощью магнитного пускателя 3-3 включается механизм загрузки бетонной смеси в форму. Регулятор частоты вращения 1-1 переводит центрифугу в режим минимальной частоты вращения формы. В течение заданного интервала времени происходят загрузка и распределение по вращающейся форме порции бетонной смеси.

После окончания загрузки с помощью магнитного пускателя 3-2 включается двигатель перемещения тележки назад, и регулятор 1-1 переводит центрифугу в режим вращения формы со средней частотой. При достижении тележкой исходного положения появляется сигнал конечного выключателя 2-2, и контроллер с помощью магнитного пускателя 3-2 отключает двигатель перемещения. При вращении формы со средней частотой в течение установленного интервала времени происходит предварительное уплотнение бетонной смеси. Затем регулятор 1-1 по сигналу от контроллера переводит центрифугу в режим максимальной частоты. По истечении интервала времени, необходимого для окончательного уплотнения, цикл формования заканчивается.

## **6.8. Автоматизация процесса тепловлажностной обработки бетонных изделий**

Для ускорения твердения бетона применяют тепловлажностную обработку в камерах пропаривания. Функциональная схема автоматизации пропарочной камеры периодического действия ямного типа изображена на рис. 6.22.

Отформованные изделия загружаются в камеру, камера закрывается крышкой. Для сообщения внутреннего пространства с атмосферой применены два водяных затвора, один из которых связан с вентилятором. Нагрев изделий производится пропусканием пара через систему перфорированных труб, размещенных в камере. Цикл тепловлажностной обработки предполагает нагрев изделий с определенной скоростью, изотермическую выдержку и охлаждение.

Измерение температуры в камере осуществляется при помощи термометра сопротивления 1-1 с вторичным показывающим и регистрирующим прибором 1-2. Выполнение программы тепловлажностной обработки обеспечивается регулятором температуры 1-3. Регулятор воздействует на электромагнитный клапан ЭК, включая и выключая подачу пара.

Программное устройство регулятора ЭР также управляет заливкой затворов, сливом воды из затворов, включает и выключает вентилятор.

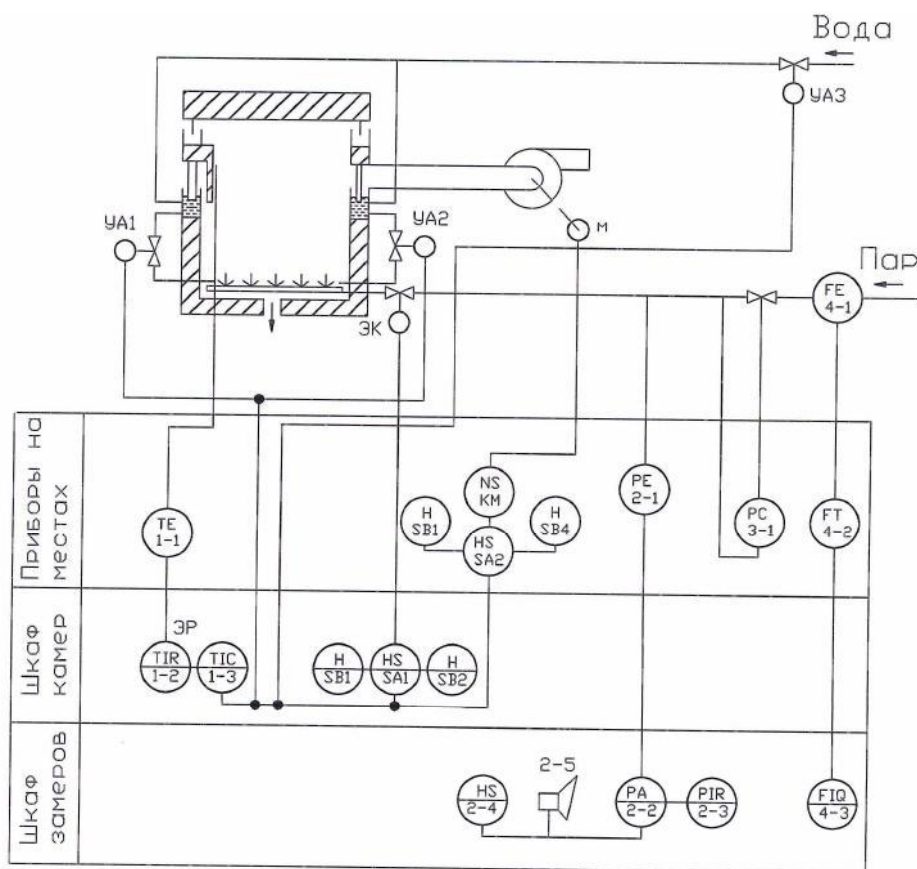


Рис. 6.22. Функциональная схема автоматизации пропарочной камеры

Давление пара в подводящей магистрали стабилизируется регулятором прямого действия 3-1 и контролируется при помощи датчика 2-1, сигнализирующего манометра 2-2, включающего звуковую сигнализацию 2-5 при снижении давления пара, а также регистрируется самописцем 2-3. Расход пара учитывается при помощи расходомера 4-1, 4-2 со счетчиком 4-3.

Электрическая принципиальная схема управления пропарочной камерой показана на рис. 6.23.

Временные диаграммы, поясняющие работу схемы, приведены на рис. 6.24.

На схеме изображены принадлежащие электронному регулятору ЭР контакты ЭР.1, ЭР.2. Контакт ЭР.1 служит для включения вентилятора (рис. 6.24,а). Контакты выходного реле регулятора температуры ЭР.3 и ЭР.4 воздействуют на электромагниты клапана ЭК. Катушка ЭК1 принадлежит тяговому электромагниту, открывающему клапан, катушка ЭК.2 – электромагниту защелки, закрывающему клапан (конструкцию клапана см. рис. 2.52).

Переключатель SA1 задает ручной и автоматический режимы управления температурой. В положении «Р» (ручное управление) при нажатии



кнопки SB1 срабатывает электромагнит ЭК1 и открывает клапан ЭК. При нажатии кнопки SB2 срабатывает электромагнит защелки ЭК2, клапан закрывается.

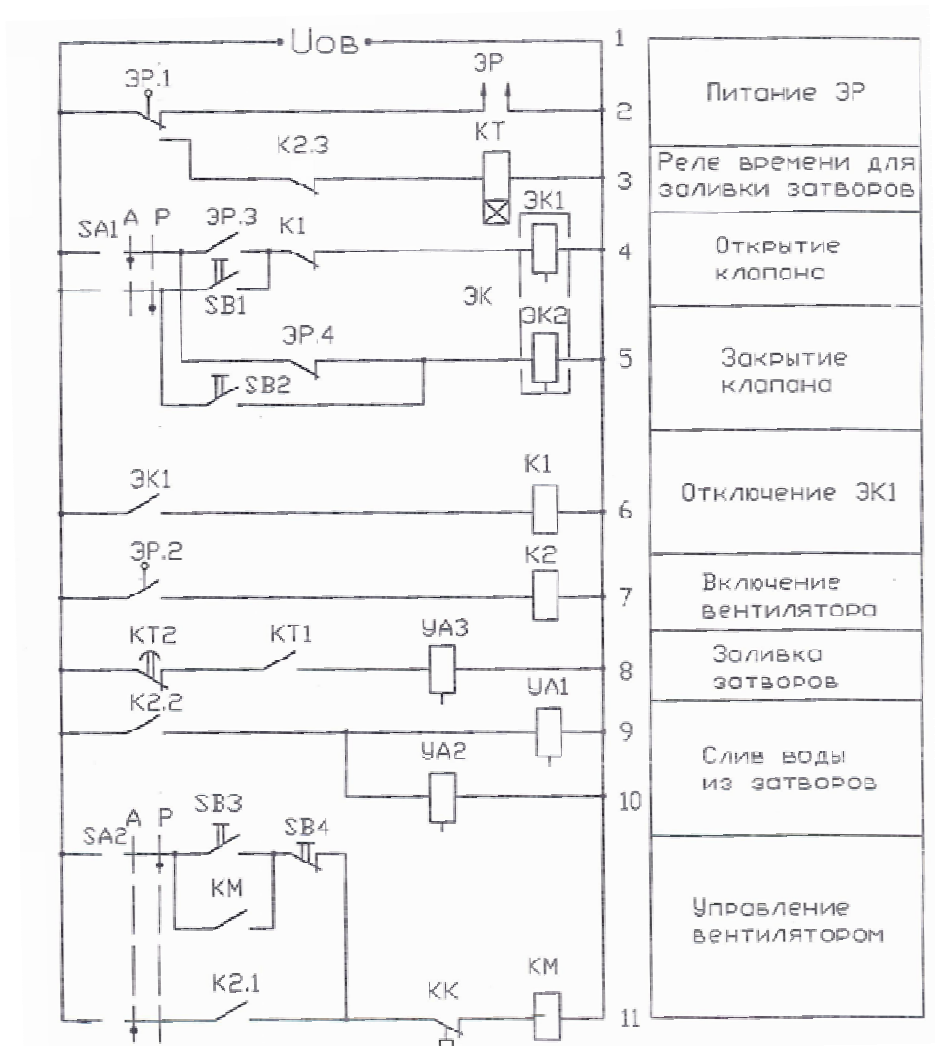
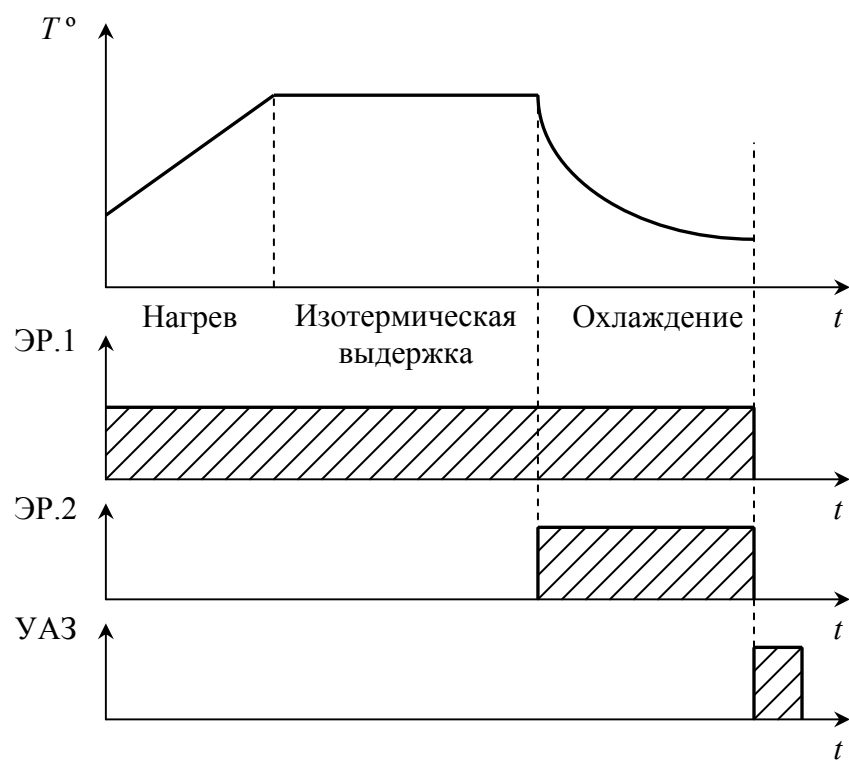


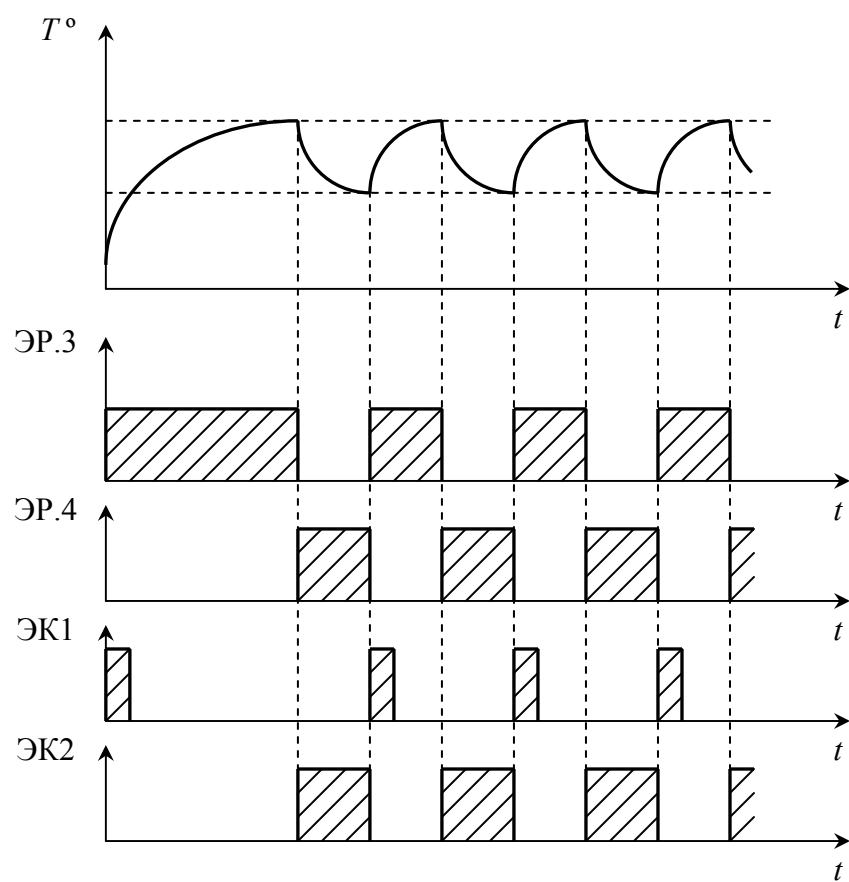
Рис. 6.23. Электрическая принципиальная схема управления пропарочной камерой

В автоматическом режиме (положение «А»), если температура в камере ниже заданной, замыкается контакт ЭР.3, срабатывает ЭК1, открывает клапан ЭК, пар поступает в камеру, температура повышается. Электромагнит ЭК1 снабжен контактом ЭК1, при замыкании которого срабатывает реле К1 и, размыкая свой контакт К1, обесточивает катушку ЭК1, при этом клапан удерживается в открытом состоянии при помощи защелки. Когда температура в камере повышается до заданного уровня, контакт ЭР.3 размыкается, а контакт ЭР.4 замыкается, что вызывает срабатывание электромагнита защелки ЭК2 и закрытие клапана. Временная диаграмма работы регулятора температуры приведена на рис. 6.24,б,

Электромагниты УА1 и УА2 открывают клапаны слива воды из затворов. Слив воды производится при включении вентилятора. Электромагнит УА3 управляет заливкой воды в затворы.



a



б

Рис. 6.24. Временные диаграммы

Заливка начинается по окончании цикла обработки, когда переключается контакт ЭР.1, срабатывает реле времени КТ. Контакт КТ.1 замыкается без задержки, срабатывает УА3, начинается процесс заливки. Контакт КТ.2 размыкается спустя 1 минуту 20 секунд, УА3 обесточивается, заливка прекращается.

Контактор КМ включает и выключает электродвигатель привода вентилятора. Переключатель SA2 используется для выбора ручного или автоматического режима управления вентилятором. В положении переключателя «Р» кнопка SB3 служит для включения, а SB4 – для выключения вентилятора (см. также рис. 6.22). В автоматическом режиме включение вентилятора происходит при замыкании контакта ЭР.2, срабатывании К2 и замыкании контакта К2.1. При этом замыкание контакта К2.2 инициирует слив воды из затворов.

### Контрольные вопросы

1. Каковы функции магнитного пускателя?
2. Как осуществляется ограничение пускового тока электродвигателя?
3. В чем заключается динамическое торможение электродвигателя?
4. Как осуществляется торможение противовключением?
5. Какими способами можно реализовать управление складом?
6. Какие элементы используются при схемной реализации системы управления складом?
7. В чем заключаются функции схемы управления поточно-транспортной системой?
8. Какие агрегаты отключаются при аварии на одном из узлов поточно-транспортной системы?
9. Как устраняется влияние выбега системы на точность набора дозы в дозаторе дискретного действия?
10. К какому виду САР относится система управления дозатором непрерывного действия?
11. По каким параметрам определяется масса материала в тензорезисторных конвейерных весах?
12. Как определяется положение смесителей в системе управления бетоносмесителями?
13. Как определяется момент окончания нагрева стержней электротермическим способом?
14. Как осуществляется регулирование температуры в пропарочной камере?
15. Что является сигналом на включение вентилятора?
16. Как осуществляется управление заливкой затворов пропарочной камеры?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 21.404-85. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах: Издание официальное. – М., Изд-во стандартов, 1985. – 17 с.
2. Автоматика и автоматизация производственных процессов: учеб. для вузов / Г.К.Нечаев. [и др.]; под ред. Г.К.Нечаева. – К.: Вища школа, 1985. – 279 с.
3. Бородин И.Ф., Судник Ю.А. Автоматизация технологических процессов: учеб. пособие для вузов. – М.: КолосС, 2004. – 344 с.
4. Бейнарович В.А. Основы автоматики и системы автоматического управления. Ч.1: Основные понятия и общие сведения: учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТГУСУР, 2001. – 35 с.
5. Бейнарович В.А. Основы автоматики и системы автоматического управления. Ч. 2: Технические средства автоматики. Измерительно-преобразовательные устройства: учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТГУСУР, 2003. – 102 с.
6. Бейнарович В.А. Основы автоматики и системы автоматического управления. Ч. 2.1. Технические средства автоматики. Задающие и сравнивающие элементы, исполнительные и корректирующие устройства, системы с ЭВМ: учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТГУСУР, 2004. – 213 с.
7. Волчкевич Л.И. Автоматизация производственных процессов: учеб. пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 2005. – 379 с.
8. Втюрин В.А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Программно-технические комплексы [Электронный ресурс]: учеб. пособие // Единое окно доступа к образовательным ресурсам. 2006. – URL: [http://window.edu.ru/window\\_catalog/redirect?id=66031&file=asu3.pdf](http://window.edu.ru/window_catalog/redirect?id=66031&file=asu3.pdf) (дата обращения 17.03.2012).
9. Келим Ю.М. Типовые элементы систем автоматического управления: учеб. пособие. – М.: ФОРУМ:ИНФРА-М, 2004. – 384 с.
10. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие / М.С. Волковой, Е.Е. Суханов, Ю.Н. Хижняков, А.А. Южаков; под ред. А.А. Южакова. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 344 с.
11. Попкович Г.С. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1986. – 392 с.
12. Рульнов А.А., Горюнов И.И., Евстафьев К.Ю. Автоматическое регулирование: учебник. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 219 с.
13. Рульнов А.А., Горюнов И.И., Евстафьев К.Ю. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения: учебник. – М.: ИНФРА-М, 2010. – 205 с.
14. Снежков Д.Ю., Леонович С.Н. Автоматизация процессов в строительстве: лабораторный практикум. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 164 с.

15. Хубаев С.-М.К. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции: учеб. пособие. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. – 72 с.

16. Шандров Б.В., Чудаков А.Д. Технические средства автоматизации: учебник для вузов. – М.: Академия, 2007. – 368 с.

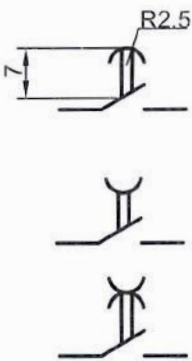
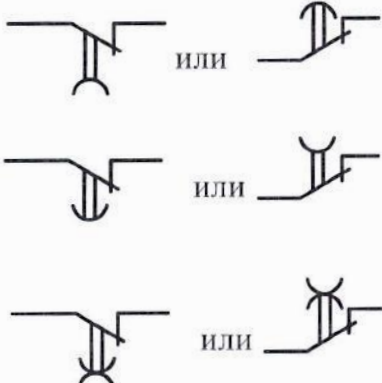



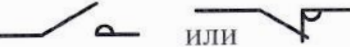

17. Шишмарёв В.Ю. Типовые элементы систем автоматического управления: учебник для сред. проф. образования. – М.: Академия, 2004. – 304 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

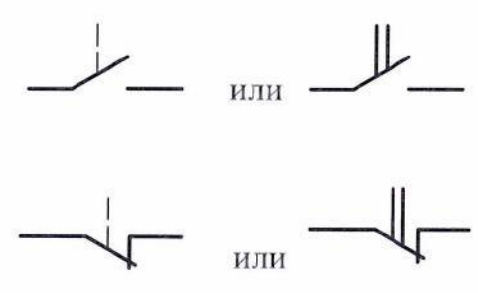
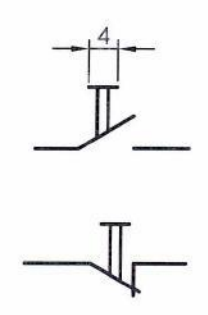

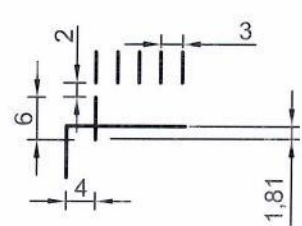
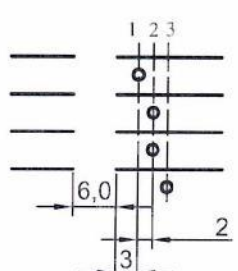
## Условные графические обозначения элементов электрических схем

Наименование	Обозначение
Резистор постоянный	
Резистор переменный	
Терморезистор	
Элемент нагревательный	
Конденсатор постоянной емкости	
Конденсатор переменной емкости	
Катушка индуктивности, обмотка	
Диод	
Предохранитель плавкий	
Контакт контактного соединения: а) неразборного соединения  б) разборного соединения  в) разъёмного соединения: — штырь — гнездо	   

Наименование	Обозначение
Разрыв линии электрической связи	
Асинхронный трехфазный электродвигатель переменного тока с короткозамкнутым ротором	
Электродвигатель постоянного тока	
Привод электромагнитный	
Привод с помощью биметалла	
Катушка электромагнитного реле	
Воспринимающая часть электротеплового (биметаллического) реле	
Контакт коммутационного устройства: а) замыкающий б) размыкающий в) переключающий г) переключающий с нейтральным положением	   

Наименование	Обозначение
<p>Контакт замыкающий с замедлителем (реле времени), действующим:</p> <p>а) при срабатывании</p> <p>б) при возврате</p> <p>в) при срабатывании и возврате</p>	
<p>Контакт размыкающий с замедлителем (реле времени), действующим:</p> <p>а) при срабатывании</p> <p>б) при возврате</p> <p>в) при срабатывании и возврате</p>	
Контакты без самовозврата	
Контакты с самовозвратом	
Контакт выключателя	
Контакты для коммутации цепей с большим током	
Контакт с автоматическим возвратом при перегрузке (автоматический выключатель)	



Наименование	Обозначение
<p>Контакт с механической связью:</p> <p>а) замыкающий</p> <p>б) размыкающий</p>	
<p>Кнопки управления</p> <p>а) с замыкающим контактом</p> <p>б) с размыкающим контактом</p>	
Выключатель концевой (путевой)	
Переключатель однополюсный четырехпозиционный	
Переключатель четырехполюсный трехпозиционный	

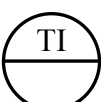
## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

## Буквенно-цифровые обозначения в электрических схемах

Вид элемента	Код	Вид элемента	Код
Устройство. Общее обозначение	A	Приборы измерительные:	P
Преобразователь неэлектрических величин в электрические;	B BA BC BE BF BK BL BP BR BV	– амперметр	PA
датчики:		– счетчик импульсов	PC
– громкоговоритель		– частотомер	PF
– сельсин-датчик		– счетчик активной энергии	PI
– сельсин-приемник		– омметр	PR
– телефон		– вольтметр	PV
– тепловой датчик		– ваттметр	PW
– фотоэлемент		Выключатель автоматический силовой	QF
– датчик давления		Резисторы:	R
– тахогенератор		– терморезистор	RK
– датчик скорости		– шунт измерительный	RS
Конденсаторы	C	Устройства коммутационные в цепях управления:	S
Схемы интегральные	D	– выключатель, переключатель	SA
Элементы разные:	E	– выключатель кнопочный	SB
– нагревательный элемент	EK	– выключатель автоматический	SF
– лампа осветительная	EL	– контакт датчика уровня	SL
Предохранитель плавкий	FU	– контакт датчика давления	SP
Устройства индикаторные и сигнальные:	H	– концевой (путевой) выключатель	SQ
– прибор звуковой сигнализации	HA	– контакт датчика температуры	SK
– прибор световой сигнализации	HL	Трансформаторы	T
Реле, контакторы:	K	Приборы полупроводниковые:	V
– реле токовое	KA	– диод	VD
– реле электротепловое	KK	– транзистор	VT
– контактор, магнитный пускатель	KM	– тиристор	VS
– реле времени	KT	Соединения контактные:	X
– реле напряжения	KV	– контакт скользящий	XA
Катушки индуктивности	L	– штырь	XP
Двигатели	M	– гнездо	XS
		– соединение разборное	XT
		Устройства с электромагнитным приводом:	Y
		– электромагнит	YA
		– электромагнитный тормоз	YB
		– электромагнитная муфта	YC

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

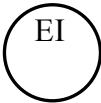
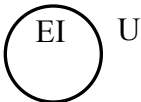
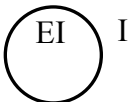
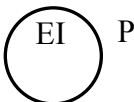
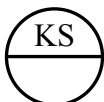

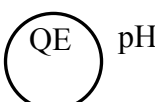
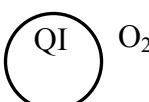
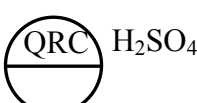
**Примеры построения условных обозначений  
приборов и средств автоматизации**


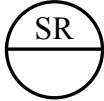
№ п/п	Обозначение	Наименование
1		Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения температуры, установленный по месту. Например: преобразователь термоэлектрический (термопара), термопреобразователь сопротивления, термобаллон манометрического термометра, датчик пирометра и т.п.
2		Прибор для измерения температуры показывающий, установленный по месту. Например: термометр ртутный, термометр манометрический и т.п.
3		Прибор для измерения температуры показывающий, установленный на щите. Например: милливольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический и т.п.
4		Прибор для измерения температуры бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: термометр манометрический (или любой другой датчик температуры) бесшкальный с пневмо- или электропередачей.
5		Прибор для измерения температуры одноточечный, регистрирующий, установленный на щите. Например: самопишущий милливольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический и т.п.
6		Прибор для измерения температуры с автоматическим обеганием устройством, регистрирующий, установленный на щите. Например: многоточечный самопишущий потенциометр, мост автоматический и т.п.
7		Прибор для измерения температуры регистрирующий, регулирующий, установленный на щите. Например: любой самопишущий регулятор температуры (термометр манометрический, милливольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический и т.п.).

№ п/п	Обозначение	Наименование
8		Регулятор температуры бесшкальный, установленный по месту. Например: дилатометрический регулятор температуры).
9		Комплект для измерения температуры регистрирующий, регулирующий, снабженный станцией управления, установленный на щите. Например: вторичный прибор и регулирующий блок системы «Старт».
10		Прибор для измерения температуры бесшкальный с контактным устройством, установленный по месту. Например: реле температурное.
11		Байпасная панель дистанционного управления, установленная на щите.
12		Переключатель электрических цепей измерения (управления), переключатель для газовых (воздушных) линий, установленный на щите.
13		Прибор для измерения давления (разряжения) показывающий, установленный по месту. Например: любой показывающий манометр, дифманометр, тягомер, напорометр, вакуумметр и т.п.
14		Прибор для измерения перепада давления показывающий, установленный по месту. Например: дифманометр показывающий.
15		Прибор для измерения давления (разряжения) бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: манометр (дифманометр) бесшкальный с пневмо- или электропередачей.
16		Прибор для измерения давления (разряжения) регистрирующий, установленный на щите. Например: самопишущий манометр или любой вторичный прибор для регистрации давления.
17		Прибор для измерения давления с контактным устройством, установленный по месту. Например: реле давления.

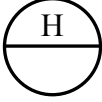
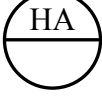
№ п/п	Обозначение	Наименование
18		Прибор для измерения давления (разряжения) показывающий с контактным устройством, установленный по месту. Например: электроконтактный манометр, вакуумметр и т.п.
19		Регулятор давления, работающий без использования постороннего источника энергии (регулятор давления прямого действия) «до себя».
20		Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения расхода, установленный по месту. Например: диафрагма, сопло, труба Вентури, датчик индукционного расходомера и т.п.
21		Прибор для измерения расхода бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: дифманометр (ротаметр), бесшкальный с пневмо- или электропередачей.
22		Прибор для измерения соотношения расходов регистрирующий, установленный на щите. Например: любой вторичный прибор для регистрации соотношения расходов.
23		Прибор для измерения расхода показывающий, установленный по месту. Например: дифманометр (ротаметр), показывающий.
24		Прибор для измерения расхода интегрирующий, установленный по месту. Например: любой универсальный счетчик-расходомер с интегратором.
25		Прибор для измерения расхода показывающий, интегрирующий, установленный по месту. Например: показывающий дифманометр с интегратором.
26		Прибор для измерения расхода интегрирующий, с устройством для выдачи сигнала после прохождения заданного количества вещества, установленный по месту. Например: счетчик-дозатор.

№ п/п	Обозначение	Наименование
27		Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения уровня, установленный по месту. Например: датчик электрического или емкостного уровнемера.
28		Прибор для измерения уровня показывающий, установленный по месту. Например: манометр (дифманометр), используемый для измерения уровня.
29	 H	Прибор для измерения уровня с контактным устройством, установленный по месту. Например: реле уровня, используемое для блокировки и сигнализации верхнего уровня.
30		Прибор для измерения уровня бесшкальный, с дистанционной подачей показаний, установленный по месту. Например: уровнемер бесшкальный с пневмо- или электропередачей.
31	 H	Прибор для измерения уровня бесшкальный, регулирующий, с контактным устройством, установленный по месту. Например: электрический регулятор-сигнализатор уровня. Буква H в данном примере означает блокировку по верхнему уровню.
32	 H L	Прибор для измерения уровня показывающий, с контактным устройством, установленный на щите. Например: вторичный показывающий прибор с сигнальным устройством. Буквы H и L означают сигнализацию верхнего и нижнего уровней.
33		Прибор для измерения плотности раствора бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: датчик плотномера с пневмо- или электропередачей.
34		Прибор для измерения размеров показывающий, установленный по месту. Например: показывающий прибор для измерения толщины стальной ленты.

№ п/п	Обозначение	Наименование
35	   	<p>Прибор для измерения любой электрической величины показывающий, установленный по месту.</p> <p>Например:</p> <p>Напряжение<sup>*</sup></p> <p>Сила тока<sup>*</sup></p> <p>Мощность<sup>*</sup></p> <p><sup>*</sup> надписи, расшифровывающие конкретную измеряемую электрическую величину, располагаются либо рядом с прибором, либо в виде таблицы на поле чертежа.</p>
36		<p>Прибор для управления процессом по временной программе, установленный на щите.</p> <p>Например: командный электропневматический прибор (КЭП), многоцепное реле времени.</p>
37		<p>Прибор для измерения влажности регистрирующий, установленный на щите.</p> <p>Например: вторичный прибор влагомера.</p>
38		<p>Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения качества продукта, установленный по месту.</p> <p>Например: датчик рН-метра.</p>
39		<p>Прибор для измерения качества продукта показывающий, установленный по месту.</p> <p>Например: газоанализатор показывающий для контроля содержания кислорода в дымовых газах.</p>
40		<p>Прибор для измерения качества продукта регистрирующий, регулирующий, установленный на щите.</p> <p>Например: вторичный самопишущий прибор регулятора концентрации серной кислоты в растворе.</p>

№ п/п	Обозначение	Наименование
41	 $\alpha, \beta$	<p>Прибор для измерения радиоактивности показывающий, с контактным устройством, установленный по месту.</p> <p>Например: прибор для показания и сигнализации предела допустимых концентраций <math>\alpha</math>- и <math>\beta</math>-лучей.</p>
42		<p>Прибор для измерения скорости вращения, привода регистрирующий, установленный на щите.</p> <p>Например: вторичный прибор тахогенератора.</p>
43		<p>Прибор для измерения массы продукта показывающий, с контактным устройством, установленный по месту.</p> <p>Например: устройство электронно-тензометрическое, сигнализирующее.</p>
44		<p>Прибор для контроля погасания факела в печи бесшкальный, с контактным устройством, установленный на щите.</p> <p>Например: вторичный прибор запально-защитного устройства. Применение резервной буквы В должно быть оговорено на поле схемы.</p>
45	 E/E	<p>Преобразователь сигнала, установленный на щите. Входной сигнал электрический, выходной сигнал тоже электрический.</p> <p>Например: преобразователь измерительный, служащий для преобразования термоЭДС термометра термоэлектрического в сигнал постоянного тока.</p>
46	 P/E	<p>Преобразователь сигнала, установленный по месту. Входной сигнал пневматический, выходной – электрический.</p>
47	 K	<p>Вычислительное устройство, выполняющее функцию умножения.</p> <p>Например: множитель на постоянный коэффициент К.</p>
48		<p>Пусковая аппаратура для управления электродвигателем (включение, выключение насоса; открытие, закрытие задвижки и т.д.).</p> <p>Например: магнитный пускатель, контактор и т.п. Применение резервной буквы N должно быть оговорено на поле схемы.</p>



№ п/п	Обозначение	Наименование
49		<p>Аппаратура, предназначенная для ручного дистанционного управления (включения, выключения двигателя; открытие, закрытие запорного органа; изменение задания регулятору), установленная на щите.</p> <p>Например: кнопка, ключ управления, задатчик.</p>
50		<p>Аппаратура, предназначенная для ручного дистанционного управления, снабженная устройством сигнализации, установленная на щите.</p> <p>Например: кнопка со встроенной лампочкой, ключ управления с подсветкой и т.д.</p>

Учебное издание

*Волковой Михаил Степанович*

## **АВТОМАТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Учебное пособие

Редактор и корректор *И.Н. Жеганина*

---

Подписано в печать 17.09.2012. Формат 60×90/16.  
Усл. печ. л. 9,25. Тираж 70 экз. Заказ № 183/2012.

---

Издательство  
Пермского национального исследовательского  
политехнического университета.  
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.  
Тел. (342) 219-80-33.