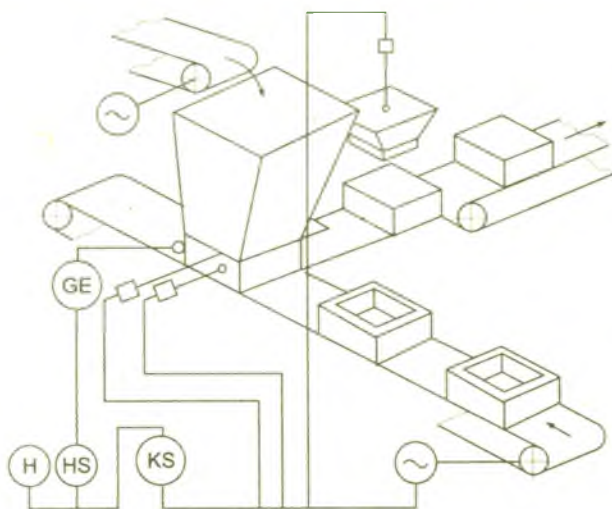


Д.М. КУКУЙ
В.Ф. ОДИНОЧКО

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА



ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

**Д.М. КУКУЙ
В.Ф. ОДИНОЧКО**

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Допущено Министерством образования Республики Беларусь в качестве учебного пособия для студентов учреждений, обеспечивающих получение высшего образования по специальностям «Машины и технология литейного производства», «Литейное производство черных и цветных металлов»



УДК 621.74:004.9(075.8)

ББК 34.61я73

К89

Серия основана в 2005 году

Рецензенты:

кафедра «Машины и технология литейного производства»
Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого
(зав. кафедрой — кандидат технических наук, доцент *Л.Е. Ровин*);
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»
Брестского государственного технического университета *О.А. Медведев*

Кукуй, Д.М.

К89 **Автоматизация литейного производства : учеб. пособие /**
Д.М. Кукуй, В.Ф. Одиночко. — Минск : Новое знание,
2008. — 240 с. : ил. — (Техническое образование).
ISBN 978-985-475-302-7.

Рассмотрены основы автоматизации и регулирования производственных процессов. Описаны основные элементы автоматики, техника, средства и функциональные схемы автоматизации различных систем литейного производства. Приведены примеры современных автоматизированных систем контроля и управления в литейном производстве. Качественные иллюстрации значительно облегчают усвоение материала.

Для студентов высших технических учебных заведений, аспирантов, а также инженеров, работающих в области литейного производства.

УДК 621.74:004.9 (075.8)
ББК 34.61я73

ISBN 978-985-475-302-7

© Кукуй Д.М., Одиночко В.Ф., 2008

© Оформление. ООО «Новое знание», 2008

ВВЕДЕНИЕ

Широкое внедрение механизации и автоматизации производственных процессов является основой повышения производительности труда.

На первых ступенях общественного производства использовался только ручной труд. Человек вынужден был выполнять все производственные операции, осуществлять управление процессом и орудиями труда, являясь одновременно источником энергии.

Технический прогресс, появление различных орудий труда и машин, освоение природных источников энергии позволили человеку перейти от непосредственного выполнения производственных операций к контролю и управлению ими. По мере увеличения количества орудий труда, механизмов и машин функции управления усложнялись. Современное производство характеризуется не только сложностью, но и значительной скоростью протекания взаимно связанных технологических процессов. В этих условиях нарушение работы одного из производственных звеньев может привести к остановке целого предприятия, поэтому скорость управления производственным процессом для обеспечения его нормального протекания приобретает огромное значение.

В управлении современным производственным процессом все шире используются специальные устройства — автоматы (от греч. *autómatos* — самодействующий), а роль человека при этом сводится только к наблюдению за работой автоматов, их наладке и регулированию.

Автоматические механические устройства (часы, игрушки и др.) известны давно, однако в производственных процессах устройства автоматики стали применяться сравнительно недавно.

В основу первых автоматических устройств был положен принцип механического регулирования. В таких регуляторах для перемещения исполнительного органа использовалось усилие, развиваемое чувствительным элементом — устройством, воспринимающим воздействие регулируемого параметра, например регулятор уровня воды в котле, изобретенный в 1765 г.

русским теплотехником И.И. Ползуновым, центробежный регулятор (патент 1784) английского изобретателя Дж. Уатта.

Усилия, необходимые для перемещения исполнительных органов, в автоматике принято называть перестановочными усилиями. Постепенное повышение мощности машин привело к появлению специальных усилительных устройств (серводвигателей) для повышения эффективности воздействий чувствительных элементов на исполнительные органы. В то же время усложнение устройств автоматики и необходимость правильного их подбора потребовали создания теории автоматического регулирования, основы которой были разработаны в трудах английского физика Дж. Максвелла (1831–1879), русского ученого И.А. Вышнеградского (1832–1895), русского математика и механика А.М. Ляпунова (1857–1918) и других ученых.

Существенное значение для усовершенствования методов автоматического регулирования имело развитие электротехники. Русские ученые В.Н. Чиколев (1845–1898) и П.Н. Яблочков (1847–1894) в 1870-х гг. создали электрические регуляторы, предназначенные для подачи и смены углей в первых электрических дуговых лампах. В 1832 г. русский изобретатель П.Л. Шиллинг (1786–1837) изобрел электрическое реле. Это положило начало развитию релейных схем автоматического управления и регулирования. Одной из первых систем релейного управления стала система управления стрельбой из корабельных орудий, примененная в 1870–1880-х гг. А.П. Давыдовым. В дальнейшем (конец XIX — начало XX в.) релейные системы получили развитие в устройствах автоблокировки на железнодорожном транспорте, автоматических телефонных станциях, тяговых подстанциях и т.п. К этому же периоду относится появление устройств телемеханики как средств автоматического управления на расстоянии.

Автоматика как самостоятельная область науки и техники начала развиваться в 1940-х гг. В 1944 г. появились первые электронные вычислительные машины, благодаря которым автоматизация проникла в область вычислений, научных исследований, проектирования, планирования и т.д. Развитие полупроводниковой техники значительно расширило возможности применения вычислительных машин и различных устройств автоматики при одновременном сокращении габаритов и массы аппаратуры.

В настоящее время *автоматика* — отрасль техники и прикладная научная дисциплина, в рамках которой разрабатываются и изучаются принципы построения и расчета автоматических систем. Термином «автоматика» также широко пользуются для обозначения различных средств автоматизации и автоматических систем.

В последние годы системы автоматизации находят все большее применение в сфере управления как отдельными производствами, так и целыми отраслями народного хозяйства. Такие системы называют *автоматизированными системами управления* (АСУ).

За сравнительно небольшой отрезок времени произошла стремительная эволюция автоматики — от простейших устройств контроля и дистанционного управления к автоматизации сложных технологических процессов с применением вычислительной техники, микропроцессоров и роботов.

1

ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Автоматизация производственных процессов улучшает условия труда и создает возможности для повышения профессионального мастерства работников. Одновременно уменьшается численность обслуживающего персонала и затраты на его содержание, до минимума сокращается доля ручного труда, снижается психологическая нагрузка, а человек производит только перенастройку автоматических систем на новые режимы и ремонтно-наладочные работы.

В результате применения автоматизации снижается себестоимость изделий, увеличивается выпуск продукции и повышается ее качество, уменьшается брак, сокращаются расходы на сырье, материалы и топливо, снижается потребление тепловой и электрической энергии.

Использование средств автоматизации увеличивает надежность оборудования и повышает безопасность труда. Появляется возможность применения высокоэффективных технологических процессов и устройств, что полностью исключает участие человека (ядерная энергетика, химическое производство и т.п.).

В то же время внедрение средств автоматизации требует привлечения высококвалифицированного обслуживающего персонала и значительных материальных затрат. Поэтому автоматизация экономически выгодна только при условии тщательного экономического обоснования ее рационального уровня и объема, а также правильного определения методов и средств.

Технологические процессы и степень их автоматизации

1.1.

Технологические процессы можно разделить на три категории:

- непрерывные;
- состоящие из отдельных операций;
- связанные с пространственным перемещением объектов.

К **непрерывным процессам** относят физические, в том числе тепловые и гидроаэродинамические, химические и процессы, в которых переменные изменяются во времени непрерывно. Математической моделью таких процессов являются дифференциальные уравнения и их системы.

В **процессах, состоящих из отдельных операций**, команды выполняются в определенной последовательности в зависимости от реализации предыдущей команды. Обычно это операции типа «открыть — закрыть», «больше — меньше», «вход — выход». Они реализуются в процессах пуска и останова механизмов. Математической моделью служат булевы уравнения алгебраической логики и матрицы последовательности операций.

При автоматизации технологических **процессов, связанных с пространственным перемещением объектов**, ставится задача осуществления управления перемещением объектов и контроля за изменением их состояния. Это транспортные операции в производственных процессах, связанных с движением материалов и изделий.

Степень оснащения производственных процессов средствами автоматизации определяется нормативными и техническими требованиями, а также функциональным назначением оборудования. Поэтому в зависимости от доли участия человека (оператора) в управлении **степень автоматизации процесса** может быть частичной, полной и комплексной.

Например, если в газовой сушильной установке автоматически регулируется только процесс горения природного газа, то имеет место **частичная автоматизация**, если кроме этого внутри сушильной камеры регулируются температура, давление, влажность и другие параметры, то **автоматизация полная**, а если автоматизированы также и вспомогательные операции (погрузка, выгрузка изделий и т.п.) — **автоматизация комплексная**.

При управлении объектами, входящими в общую автоматизированную систему, функционально различные операции выполняются разными подсистемами:

- информационными;
- технологической сигнализации;
- защитными;
- управляющими.

Информационные подсистемы включают технологический контроль, телеизмерения и телесигнализацию.

Основные функции технологического контроля:

- получение количественных и качественных показателей технологического процесса — всех видов измерений с помощью контрольно-измерительных приборов (КИП);
- наблюдение за ходом технологического процесса.

Различие этих функций заключается в том, что во втором случае фиксируется характер изменения физических величин. Для реализации функций технологического контроля применяют приборы местного и дистанционного действия с регистрацией данных.

В *подсистемах технологической сигнализации* используются те же приборы и технические средства, что и для технологического контроля, но подача информации осуществляется в виде светового, звукового, цветового (изменяется цвет) и одоризационного (появляется запах) сигналов.

Форма подачи сигналов — непрерывная или дискретная (проблесковая). Очень важно, чтобы сигнал не был пугающим или монотонным (привычным).

Звуковые сигналы подаются звонками, сиренами, ревунами, зуммерами, иногда выстрелами, световые — лампами, табло, мнемосхемами. Информация должна передаваться без задержек и искажений, причем, желательно, в альтернативном (да, нет) виде. Основное требование, предъявляемое к сигналам, — достаточная информативность.

По функциональным признакам сигнализацию подразделяют на командную, контрольную, предупредительную, аварийную и сигнализацию положения (для оповещения о достижении устройствами крайних или промежуточных положений).

Информация адресуется оператору, задачей которого является принятие того или иного решения.

Защитные подсистемы включают средства защиты и блокировки, предохраняющие технологическое оборудование от последствий неправильной эксплуатации. Эти подсистемы осуществляют автоматическое оперативное вмешательство для прекращения функционирования всего объекта или его части, т.е. блокирующее воздействие или блокировку. Деблокирующее воздействие — повторный пуск после устранения причины нарушения режима.

Различают *блокировки* объектные (автоматическая защита) и межобъектные (синхронизирующая защита). К первым можно отнести действие различного рода предохранительных устройств — клапанов, плавких предохранителей и т.д. Примером межобъектной блокировки может служить последовательность операций при пуске радиальных насосов: закрытие запорного органа, пуск насоса, затем открытие магистрали.

Особый вид блокировки — аварийная защита, когда автоматически прекращается доступ энергии, сырья или продукта к объекту, чтобы исключить его неизбежный выход из строя.

Кроме того, для защиты обслуживающего персонала от травм при неосторожном обращении с работающим оборудованием применяют блокировки дверей или крышек, предназначенных для доступа к движущимся деталям или токоведущим частям.

К *управляющим подсистемам* относятся подсистемы телеуправления, включающие дистанционное управление, и телемеханические, а также подсистемы диспетчеризации, автоматического управления и регулирования.

Уровень оснащения объекта автоматизации различными подсистемами зависит от конкретных условий эксплуатации и нормативных документов, определяющих минимально необходимый уровень автоматизации.

Основы теории управления

1.2. и регулирования

1.2.1. Основные понятия и определения

Элемент — конструктивно обособленная часть системы, выполняющая определенные функции.

Входная переменная — физическая величина, изменение которой является причиной изменений в элементе или системе.

Выходная переменная — физическая величина, изменяющаяся вследствие изменения входной величины и определяющая результаты функционирования элемента. Входная и выходная переменные неразрывно связаны.

Вход, выход — точки для измерения соответственно входной и выходной величин.

Возмущение — независимая переменная (физическая величина), изменение которой может влиять на входную переменную. Возмущение может быть внешним и внутренним по отношению к элементу или системе. Например, повышение уровня воды в открытом баке за счет атмосферных осадков — внешнее возмущение, а повышение уровня вследствие засорения выходных трубопроводов — внутреннее.

Сигнал (импульс) — изменение любой физической величины во времени.

Объект управления — динамическая система (машина, аппарат, устройство, технологический процесс), нуждающаяся в целенаправленном воздействии извне (управлении).

Управление — преднамеренное воздействие на объект с целью улучшения его функционирования.

Алгоритм управления — совокупность предписаний, определяющих характер воздействия извне на объект управления с целью выполнения алгоритма функционирования.

Алгоритм функционирования — совокупность предписаний, ведущих к правильному выполнению процесса в элементе или системе.

Управляющее воздействие — изменение физической величины, приводящее к достижению заданного режима в объекте управления. **Режим** — определенное, обычно заданное сочетание параметров технологического процесса.

Управляющее устройство (регулятор) — ручное или автоматическое устройство, осуществляющее управляющее воздействие в соответствии с алгоритмом управления.

Автоматическая система управления (регулирования) — совокупность объекта управления и автоматического регулятора, действующих по алгоритму управления.

Регулируемый параметр — параметр, который должен поддерживаться на заданном значении.

Рассогласование — отклонение регулируемого параметра от установленного значения.

Перерегулирование — такое состояние регулируемого параметра, когда он не только возвращается к установленному значению, но и отклоняется от него, т.е. колеблется около заданного значения.

1.2.2. Основные принципы управления

Функционирование любого физического объекта характеризуется *обобщенными параметрами состояния* — качественными и количественными.

Качественные параметры — это информация о состоянии объекта. *Количественные параметры* — потоки энергии, вещества, информации и продукции, непрерывно проходящие через данный объект и определяющие его энергетическое состояние.

При проектировании объектов (установок, машин и т.п.) производятся инженерные расчеты, в основу которых закладываются зависимости, обеспечивающие функционирование объекта при расчетных номинальных или стационарных условиях.

Нарушение баланса между подводом и отводом ведет к нарушению стационарного режима объекта и соответственно к изменению качественных параметров. При этом существует взаимосвязь между определенными параметрами состояния для большинства физических процессов. Основой всех изменений в природе являются количественные изменения, которые, как правило, приводят к изменениям качественным.

В процессе эксплуатации объекты лишь небольшую долю времени работают в стационарных условиях. В основном режим их работы — нестационарный. Для того чтобы режим работы приближался к расчетному, необходимо управление объектами.

Управление (влияние на объект) может быть осуществлено за счет количественных изменений (подвода или отвода энергии) после обработки результатов информации о состоянии объекта.

В процессе управления одновременно изменяются и качественные и количественные параметры объектов.

Основные *виды управления* производственными процессами:

- начать или прекратить процесс (пуск — выключение);
- изменить направление процесса или последовательность операций (сопряженные процессы);
- повлиять на режим процесса.

Результатом управления является изменение состояния системы. При этом на вход системы управления можно подавать сигнал об изменении не только управляемой величины, но и об изменении любых ее функций и их производных во времени, характеризующих процесс управления.

Всякая система автоматического управления включает в себя объект регулирования и автоматический регулятор. Объект регулирования подвержен воздействию различных внешних возмущений, вследствие чего регулируемая величина отклоняется от заданного значения.

Автоматический регулятор должен обеспечивать соответствие регулируемой величины заданному значению путем передачи на объект необходимого регулирующего воздействия. При этом применяют следующие **принципы управления**:

- регулирование по окончанию;
- регулирование по возмущению (компенсация возмущений);
- комбинированное управление;
- программное управление;
- адаптация (приспособление).

Регулирующее воздействие от регулятора может быть направлено на регулируемую величину — это *регулирование по окончанию*, или на внешнее возмущение — *регулирование по возмущению* (на рис. 1.1 и 1.2 представлены структурные схемы таких процессов). В обоих случаях на объект регулирования воздействует возмущение z .



Рис. 1.1



Рис. 1.2

При регулировании по окончанию (рис. 1.1) значение выходной величины объекта x и установленное с помощью задатчика заданное значение сигнала такого же вида ω алгебраически суммируются в регуляторе, преобразуются в регулирующее воздействие u , которое воздействует на входной сигнал, стремясь поддерживать регулируемый параметр x на заданном значении.

Система регулирования по окончании обеспечивает высокую точность, качество, быстродействие. Однако имеются объекты, в которых такое регулирование неприемлемо из-за практической невозможности компенсировать все возмущения.

При регулировании по возмущению (рис. 1.2) сигнал задатчика ω после суммирования с возмущением z воздействует на входную величину. В данном случае объект не воздействует на регулятор. В ряде случаев такое регулирование применяют в смежных технологических установках.

Принцип комбинированного управления объединяет два ранее рассмотренных принципа и имеет два канала получения качественной информации — результаты измерения отклонения регулируемой переменной и результаты измерения возмущающего воздействия.

Принцип программного управления является разновидностью принципа управления по возмущению с той лишь разницей, что для формирования управляющего воздействия используется задающее воздействие (программа). Этот принцип часто используется в комбинации с принципом компенсации возмущений.

Принцип адаптации (приспособления) начал использоваться в системах управления с развитием кибернетики и совершенствуется на основе использования вычислительной техники.

Любой функционирующий объект может находиться в одном из двух состояний: предопределенном или вероятностном. *Задачей управления* является перевод объекта из вероятностного состояния в предопределенное. Для ее выполнения человек должен обладать информацией о состоянии объекта либо иметь предписание (алгоритм) его функционирования. Кроме того, в его распоряжении должны находиться органы управления, при помощи которых можно осуществлять воздействие на количественные характеристики объекта.

Схема ручного управления (рис. 1.3) показана на примере гидравлического объекта управления (ОУ) — резервуара с трубопроводами (Q_1 , Q_2 — приток и отток жидкости соответственно), в котором уровень жидкости x (управляемая величина) должен быть постоянным [1].

Управление заключается в оперативном действии оператора Оп. Поведение ОУ не контролируется, точность поддержания

управляемой величины x зависит от правильности команд ω и управляющего воздействия Y оператора на регулирующий орган РО (клапан).

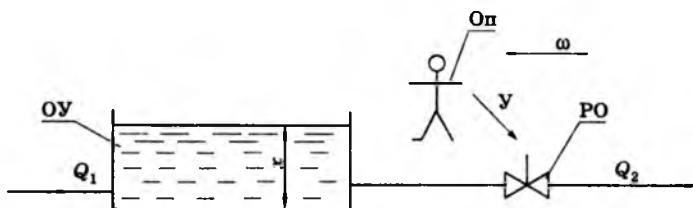


Рис. 1.3

Объект управления может быть оснащен дополнительным устройством — органом информации ОИ (поплавок со шкалой для преобразования выходной величины x в результат измерения — величину x') (рис. 1.4). Ручное управление в этом случае заключается в восприятии оператором результата измерения x' , сравнении ее текущего значения с заданным (нормируемым) и принятии решения об изменении положения РО.

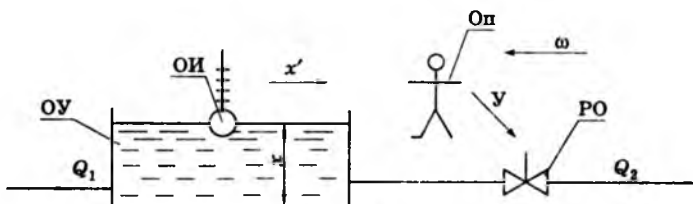


Рис. 1.4

Восстановление стационарного режима характеризуется балансом энергии, который может обеспечиваться за счет подвода или отвода энергии. Важным является вопрос о месте приложения управляющего воздействия.

Существуют определенные *правила установки регулирующего органа*: если появление возмущений характерно для подвода, регулирующий орган необходимо ставить на отводе, и наоборот. В случае появления возмущений с обеих сторон или при неизвестном их характере используют байпасы (перепускные клапаны).

Рассмотренные принципы характеризуют ручное управление. При полуавтоматическом управлении оператор освобождается от формирования управляющего воздействия, а при автоматическом — полностью исключается его участие в процессе управления.

1.3. Автоматические регуляторы

В процессе ручного управления оператор при повышении уровня жидкости в резервуаре (см. рис. 1.3) должен ввести управляющее воздействие, т.е. приоткрыть клапан. При этом расход Q_2 в отводящей магистрали должен увеличиться, что приведет к снижению уровня жидкости до заданного. Действия оператора будут направлены на компенсацию возмущения и на стабилизацию режима посредством отрицательной обратной связи.

Обратная связь — воздействие результатов функционирования какой-либо системы на характер дальнейшего функционирования этой же системы. Информация о результатах действия исполнительного органа системы по цепи обратной связи поступает на управляющий орган. На основании этой информации управляющий орган вырабатывает соответствующие сигналы корректировки. Обратные связи позволяют использовать в процессе управления информацию о фактическом поведении объекта в данных условиях. Различают *отрицательную обратную связь* (ООС), которая при отклонении объекта от равновесия вызывает нейтрализацию этого отклонения, и *положительную обратную связь* (ПОС), которая способствует переходу объекта в другое равновесное состояние.

Оператор может и прикрыть клапан — обратная связь сохранится, но превратится в ПОС. При этом уровень жидкости продолжит расти, режим дестабилизируется и возмущающее воздействие усилится. Однако эта не означает, что ПОС не используется в технике. Она применяется в тормозных системах различного рода усилителях.

Обратные связи могут быть естественными и искусственными. С введением обратных связей системы приобретают свойства, которых до этого не имели. Так, управление режимом насосной установки перепуском (байпасированием) является типичным примером использования обратной связи.

В системе ручного управления (см. рис. 1.4) информационный сигнал x' формируется в виде механического перемещения поплавка и управляющего воздействия $У$ — в виде механического перемещения штока клапана.

Для получения автоматического управляющего устройства (автоматического регулятора) необходимо согласовать эти воздействия таким образом, чтобы могла функционировать ООС. Например, в системе, изображенной на рис. 1.5, поплавок и шток клапана шарнирно соединены рычагом AOB . При повышении уровня на $\Delta x = x - x_0$ рычаг поворачивается в положение $A'OБ'$, шток перемещается на величину Δy , открывая проход жидкости, уровень в баке начинает понижаться и рычаг постепенно возвращается в исходное положение.

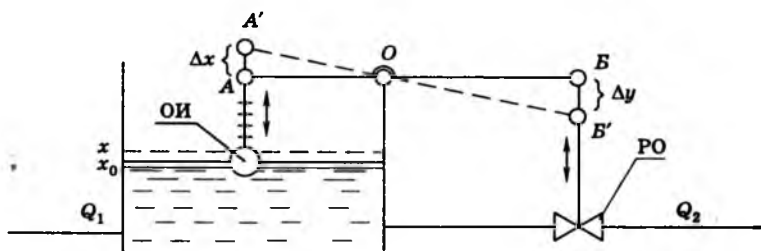


Рис. 1.5

Это пример автоматического регулятора (АР), который регулирует уровень воды и вместе с резервуаром (объектом регулирования) составляет автоматическую систему регулирования (АСР). АСР выполняет функции управления без участия человека.

Автоматический регулятор (рис. 1.5) приводится в действие за счет энергии регулируемой среды — изменения уровня жидкости. Такие устройства называют **регуляторами прямого действия** (РПД) или регуляторами без вспомогательного источника энергии. Их применяют, если усилия, развиваемого датчиком, достаточно для привода в действие регулирующего органа.

Относительно небольшое расстояние между датчиком и регулирующим органом сужает область применения регуляторов прямого действия и их применяют только в локальных АСР.

Этих недостатков лишены **регуляторы непрямого действия** (РНД), в которых для привода регулирующего органа используется энергия от постороннего источника. Энергоносителем (регулирующей средой) могут быть жидкости под давлением, сжатые газы, электроэнергия или их комбинации. В соответствии с этим РНД называют гидравлическими, пневматическими, электрическими, пневмогидравлическими и электропневматическими.

На рис. 1.6 приведена схема процесса непрямого регулирования уровня жидкости в резервуаре. Измерительное устройство — поплавков *1* — при помощи рычагов связано с подвижным электрическим контактом *2*, который может замыкаться с одним из неподвижных контактов: Б (больше) и М (меньше). В зависимости от того, с каким из этих контактов замкнут подвижный контакт, вал электродвигателя *3* вращается в ту или другую сторону. Через червячную зубчатую передачу *4* и *5*, а также тягу *7* электродвигатель открывает или закрывает регулирующий орган — клапан *6*, установленный на линии подвода жидкости Q_1 в бак.

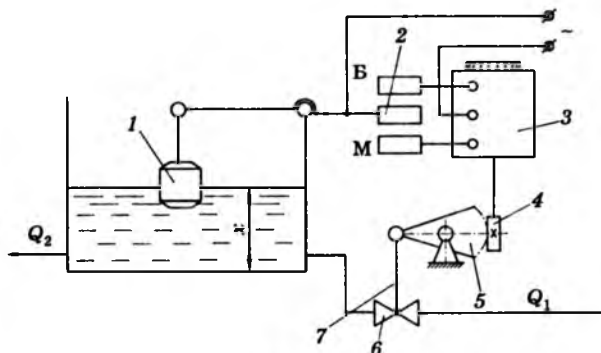


Рис. 1.6

Если расход жидкости Q_2 из резервуара увеличится, то уровень воды x в нем уменьшится и поплавок *1* опустится. При этом подвижный контакт *2* коснется неподвижного верхнего контакта Б. Электрическая цепь питания двигателя замкнется и двигатель включится. Его вал будет вращаться в направлении открытия регулирующего клапана *6*, тем самым увеличивая приток воды Q_1 в резервуар.

Если же расход воды Q_2 из резервуара уменьшится, то уровень воды в нем повысится. Поплавок поднимется, разомкнет цепь питания двигателя, двигатель остановится. При дальнейшем повышении уровня жидкости поплавки замкнет нижний неподвижный контакт М с подвижным контактом 2. При этом электродвигатель включится на закрытие клапана 6 и приток жидкости Q_1 станет уменьшаться.

Работа регулятора будет продолжаться до тех пор, пока в баке не восстановится заданный уровень жидкости и подвижный контакт не установится в нейтральном положении между неподвижными контактами Б и М. При этом цепь питания двигателя будет отключена.

В описанном РНД перемещение регулирующего органа (клапана) производится исполнительным электрическим механизмом, использующим энергию от внешнего источника.

Регуляторы непрямого действия обладают высокой чувствительностью, могут развивать достаточное усилие для изменения положения регулирующего органа и позволяют осуществить дистанционное управление регулирующим органом.

Системы регулирования, использующие РНД, называются *системами непрямого регулирования*.

Регулирующее воздействие регуляторов может быть прерывистым и непрерывным. Системы автоматического регулирования, у которых регулирующее воздействие на исполнительный механизм прерывается и регулирующий орган перемещается скачкообразно, называются *прерывистыми*. *Непрерывной* называется система автоматического регулирования, в которой непрерывному изменению регулируемого параметра соответствует непрерывное изменение состояния всех элементов схемы.

Работа РНД определяется *законом регулирования*, т.е. уравнением, по которому в объект вводится регулирующее воздействие, иначе говоря, зависимостью между отклонением регулируемого параметра и перемещением регулирующего органа.

Регуляторы непрерывного действия бывают пропорциональные, интегральные, пропорционально-интегральные и пропорционально-интегральные с предварением [2].

Пропорциональный регулятор (П-регулятор), называемый также *статическим регулятором*, осуществляет пропорциональную

зависимость между положением регулирующего органа y и отклонением регулируемого параметра x , т.е.

$$y = K_1 x,$$

где K_1 — статический коэффициент передачи (усиления) регулятора, который может изменяться в широких пределах.

Указанная пропорциональная зависимость достигается введением в структурную схему регулятора жесткой обратной связи, благодаря чему работа регулятора стабилизируется и время его работы сокращается. При этом каждому значению регулируемого параметра соответствует свое, вполне определенное положение регулирующего органа.

Недостатком П-регулятора является остаточное отклонение регулируемого параметра от заданного значения, сохраняющееся после затухания переходного процесса.

Интегральный регулятор (И-регулятор) — это регулятор, у которого при отклонении регулируемого параметра x от заданного значения регулирующий орган медленно перемещается все время в одном направлении, пока параметр не вернется к заданному значению.

В этом регуляторе регулирующее воздействие пропорционально интегралу от отклонения параметра x , регулируемого по времени, т.е.

$$y = K_2 \int x dt,$$

где K_2 — коэффициент передачи регулятора, характеризующий скорость исполнительного механизма.

В связи с тем что для И-регуляторов характерна замедленность работы, их называют также *астатическими (неустойчивыми)* и применяют в объектах с большим самовыравниванием, обладающих небольшим запаздыванием и небольшим изменением нагрузки.

Регулирующий орган (И-регуляторов) перемещается до тех пор, пока значение регулируемого параметра не установится на заданном значении, т.е. остаточное отклонение не станет равным нулю. В них нет зависимости между отклонением регулируемой величины и положением регулирующего органа.

Пропорционально-интегральный регулятор (ПИ-регулятор) сочетает положительные качества пропорционального и интегрального регуляторов. В первый момент после возникновения отклонения регулируемой величины ПИ-регулятор работает как П-регулятор, а затем как И-регулятор.

На основании этого закон регулирования ПИ-регулятора (с гибкой обратной связью) может быть выражен следующим уравнением:

$$y = K_1 x + K_2 \int x dt.$$

Уравнение содержит пропорциональную и интегральную составляющие.

ПИ-регуляторы позволяют осуществить регулирование без остаточного отклонения и применяются для регулирования процессов в объектах, обладающих значительным запаздыванием и отличающихся большими колебаниями нагрузки.

Пропорционально-интегральные регуляторы с предварением (ПИД-регуляторы) рекомендуется применять для многоемкостных объектов с очень большим временем запаздывания. Они отличаются от обычных ПИ-регуляторов наличием дифференцирующего звена, т.е. дополнительным регулирующим воздействием по первой производной от параметра, регулируемого по времени:

$$y_d = T_n \frac{dx}{dt},$$

где T_n — время предварения.

Дополнительное воздействие по первой производной от параметра, регулируемого по времени, создает предваряющий (упреждающий) импульс, который уже в первый момент времени после появления возмущения позволяет «догнать» и остановить параметр, а затем вернуть его к заданному значению.

В ПИД-регуляторе можно в зависимости от свойств объекта изменять время воздействия дифференцирующего устройства, так как время предварения является параметром настройки регулятора.

1.4. Объект управления и его свойства

Объекты управления можно систематизировать по общим физическим признакам, которые положены в основу их функционирования, и выявить математическую модель, пригодную также для исследования всей системы. Процесс регулирования во многом зависит не только от регулятора, но и от свойств объекта: емкости, характера изменения нагрузки, времени разгона, самовывравнивания и запаздывания.

Объектами регулирования в литейном производстве могут быть формовочные и стержневые машины, смесители, сушильные установки, бункеры-накопители и другие агрегаты, в которых необходимо поддерживать уровень, температуру, давление и т.д.

В каждом объекте может одновременно регулироваться несколько разных величин. Так, в сушильных установках регулируются подача теплоносителя, температура, влажность и др. Каждый объект имеет характеристики, которые могут или облегчить, или затруднить регулирование данного параметра.

При внедрении АСР сопоставляют свойства объекта, регулятора и остальных элементов системы. Используют только те из них, которые благоприятны для регулирования, а также в возможно большей степени ослабляют свойства, затрудняющие хорошую работу системы регулирования.

Свойство объекта накапливать энергию, вещество и информацию называют *аккумулирующей способностью*. Эту способность характеризует в полной мере емкость объекта. Под *емкостью объекта* понимают запас вещества или энергии, содержащейся в нем при заданном значении регулируемого параметра. Емкость может существовать только при наличии сопротивления выхода вещества или энергии из объекта [3].

Чем больше емкость объекта, тем меньше скорость изменения параметра при одном и том же изменении количества подаваемого (расходуемого) вещества (энергии). Емкость объекта характеризуется также изменением параметра во времени после однократного возмущения.

Объекты могут быть одноемкостными (рис. 1.7) и многоемкостными (рис. 1.8, схема двухемкостного объекта). В каждом

Для этих объектов уровень жидкости x при одинаковом открывании подводящих и сливных кранов будет изменяться с разной скоростью, т.е. каждый из объектов по-разному будет реагировать на одинаковое возмущение.

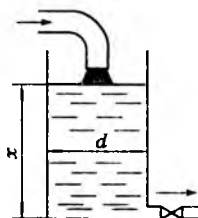


Рис. 1.7

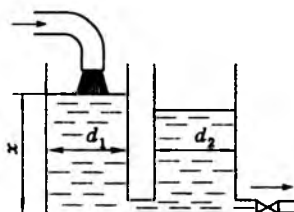


Рис. 1.8

К двухъячеечным объектам относятся теплообменное и другое оборудование, нагрев которого осуществляется теплоносителем через стенки.

Одной из наиболее существенных характеристик объекта регулирования является **кривая разгона**, показывающая изменение регулируемого параметра в каждый равный промежуток времени после однократного возмущения. Экспериментальные кривые разгона для объектов, в которых регулируется уровень, представлены на рис. 1.9. Кривая 1 характеризует возмущающее воздействие, кривые 2 и 3 — восстановление уровня соответственно в объектах, показанных на рис. 1.7, 1.8. Пунктирные линии характеризуют соответственно начальный (x_1) и установившийся (x_2) уровни.

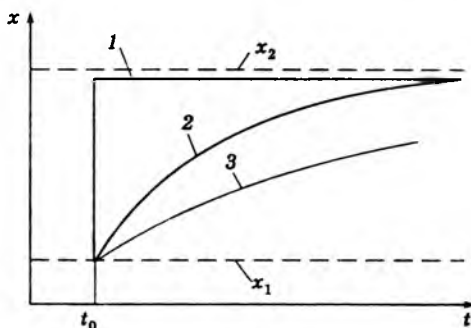


Рис. 1.9

Временем разгона объекта называют период, в течение которого регулируемый параметр изменяется от исходной величины до величины, соответствующей номинальной (расчетной) нагрузке объекта при условии, что скорость поступления регулирующей среды в течение этого времени остается постоянной. Время разгона объекта может определяться экспериментально или расчетным путем.

Регулируемый параметр объекта без вмешательства извне после нарушения равенства между притоком и расходом может самостоятельно через некоторое время принимать новое постоянное значение. Это явление называют **самовыравниванием** (саморегулированием). Самовыравнивание способствует устойчивости регулируемого параметра. Отсутствие самовыравнивания в объекте усложняет процесс регулирования и приводит к необходимости применять более сложные регуляторы.

Степень самовыравнивания является важным показателем свойств объекта. Она определяет величину отклонения параметра при данном возмущении и характер изменения параметра в переходных процессах. Чем больше степень самовыравнивания, тем меньше отклонение параметра при возмущении и время переходного периода в процессах самовыравнивания и регулирования.

Как правило, все объекты с тепловыми процессами обладают самовыравниванием, в том числе и те, в которых регулируется давление пара или газа.

Схема объекта без саморегулирования (астатический объект) представлена на рис. 1.10. Его равновесное состояние при уровне жидкости $x_0 = \text{const}$ соблюдается только когда $Q_1 = Q_2$, что в идеальном случае обеспечивается при равной частоте вращения одинаковых насосов: $n_1 = n_2$. При нарушении равновесия, т.е. при $n_1 < n_2$ и $Q_1 < Q_2$, бак начинает опорожняться; при $n_1 > n_2$ и $Q_1 > Q_2$ он переполняется. Начав изменяться, регулируемая переменная не возвращается к значению x_0 . Такой объект нуждается в управлении.

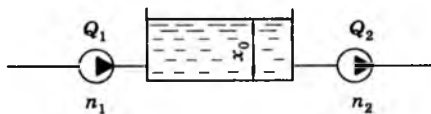


Рис. 1.10

Схема объекта с саморегулированием (статический объект)
представлена на рис. 1.11.

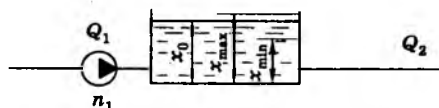


Рис. 1.11

Если на отводе вместо насоса (см. рис. 1.10) будет магистраль, через которую проходит такой же, как и в предыдущем случае, объем жидкости Q_2 , но самоизливом, то условие $x_0 = \text{const}$ будет соблюдаться при $n_1 = \text{const}$ и $Q_1 = Q_2$. Предположим, что n_1 возрастет, приток жидкости в бак увеличится, ее уровень начнет подниматься, но вместе с тем повысится гидростатическое давление жидкости, что в свою очередь приведет к возрастанию расхода через отводящую магистраль. Скорость повышения уровня жидкости постепенно начнет уменьшаться, и установится новое положение равновесия, но при значении $x_{\max} > x_0$. Если n_1 уменьшится, то также получим новое положение равновесия, но при $x_{\min} > x_0$. Рассматриваемый объект обладает саморегулированием со стороны отвода, но подобный эффект может быть получен и при ликвидации насоса на подводе или наличии двух насосов.

Саморегулирование позволяет в ряде случаев отказаться от регуляторов за счет использования физических свойств объекта.

Процесс регулирования, во время которого устраняется действие возмущения на регулируемый параметр (когда он возвращается к установленному значению), состоит из двух стадий: переходной и новой (установившейся).

Для исследования свойств системы структурную схему составляют из звеньев, которые характеризуются передаточными функциями. При изучении процессов в переходных режимах, происходящих в АСР, абстрагируются от технической природы конкретной регулируемой величины и устройств, входящих в схему, и рассматривают только математическую модель процесса регулирования.

Свойства звеньев определяются их статическими и динамическими характеристиками. *Статической характеристикой звена* называют зависимость между входной и выходной величинами

в различных установившихся состояниях равновесия. В общем случае связь между входными и выходными значениями определяют выражением

$$x_{\text{вых}} = f(x_{\text{вх}}).$$

Определить статические характеристики можно аналитически (расчетным путем) и экспериментально. Они могут быть представлены в виде таблиц или графиков, на которых по оси абсцисс откладывают значения аргумента $x_{\text{вх}}$, а по оси ординат — соответствующее значение функции $x_{\text{вых}}$.

Статическую характеристику называют *линейной*, если она описывается линейным уравнением. Линейную статическую характеристику оценивают углом ее наклона. Отношение выходной величины к входной для любой точки является постоянной величиной, выраженной через тангенс угла наклона $\operatorname{tg} \alpha = k$, где k — коэффициент усиления элемента. Элемент, имеющий такую характеристику, также называют линейным. Если статическая характеристика описывается нелинейным уравнением, то ее и соответственно элемент автоматизации называют *нелинейным*.

Динамической характеристикой элемента называют зависимость изменения во времени выходной величины от входной в переходном режиме. Эти характеристики элементов выражаются обычно дифференциальными уравнениями, называемыми *передаточными функциями*, а графически изображаются в виде кривых; на графиках по оси абсцисс откладывают время, а по оси ординат — значения $x_{\text{вых}}$.

Для определения динамических характеристик и сравнимости их друг с другом приняты типовые законы изменения входных величин, отражающие реальные условия работы системы. Одним из таких законов является закон скачкообразного изменения, когда $x_{\text{вх}}$ изменяется мгновенно на какую-то конечную величину (рис. 1.12). Из графика видно, что до момента времени t_0 входная величина была равна $x_{\text{вх}1}$. В момент t_0 она изменилась на $\Delta x_{\text{вх}}$ и стала равной $x_{\text{вх}2}$. В дальнейшем разность $\Delta x_{\text{вх}} = x_{\text{вх}2} - x_{\text{вх}1}$ остается неизменной.

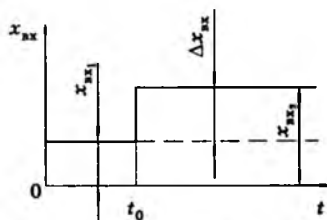


Рис. 1.12

Независимо от физической природы, назначения и устройства число звеньев с динамической точки зрения ограничено. Поэтому такие звенья называют *типовыми динамическими звеньями*. По характеристике передаточной функции каждому звену присвоено свое название.

Усилительным (пропорциональным) звеном называют звено, у которого выходная величина изменяется во времени по тому же закону, что и входная (рис. 1.13).

В любой момент времени между входом и выходом сохраняется пропорциональная зависимость, определяемая коэффициентом усиления k : $\Delta x_{\text{вых}} = k \Delta x_{\text{вх}}$.

Апериодическим звеном называют звено, у которого после скачкообразного возмущения выходная величина $x_{\text{вых}}$ изменяется аperiодически (по закону экспоненты), стремясь к новому установившемуся значению. Зависимость между входной и выходной величинами описывается дифференциальным уравнением первого порядка.

Графическое изображение переходного процесса апериодического звена представлено на рис. 1.14. Постоянной времени элемента с экспоненциальной динамической характеристикой T называется время, в течение которого выходная величина достигла бы установившегося значения, если бы она изменялась с постоянной скоростью, равной ее начальному значению после поступления единичного ступенчатого входного сигнала. В реальных случаях функции таких звеньев выполняют термпары, контуры из резистора и конденсатора и т.д.

Интегрирующим звеном называют звено, у которого выходная величина пропорциональна интегралу по времени от входной величины. Если на вход интегрирующего звена подать постоянное возмущение ($x_{\text{вх}} = \text{const}$), то на выходе получим величину, возрастающую с течением времени линейно (рис. 1.15).

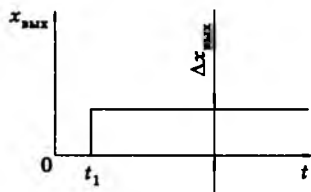


Рис. 1.13

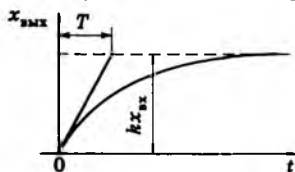


Рис. 1.14

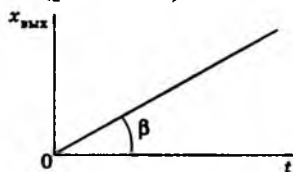


Рис. 1.15

Аналитически характер переходного процесса может быть выражен зависимостью

$$x_{\text{вых}} = kx_{\text{вх}}t.$$

В качестве примера такого звена можно привести процесс регулирования уровня жидкости в емкости (рис. 1.16), расход из которой Q_2 осуществляется насосом n_2 с постоянной производительностью.

Колебательным устойчивым называют звено, в котором при скачкообразном изменении величины на входе величина на выходе стремится к новому установившемуся значению, совершая затухающие колебания (рис. 1.17). Примером такого звена является движение поплавка в переходных режимах жидкостных дифференциальных манометров. Аналитически зависимость между входной и выходной величинами в этом звене может быть представлена дифференциальным уравнением второго порядка.

Дифференцирующим реальным называют звено, в котором величина на выходе пропорциональна первой производной от величины на входе. Дифференциальное уравнение такого звена имеет вид:

$$x_{\text{вых}} = \frac{kdx_{\text{вх}}}{dt}.$$

Как видно из уравнения, в случае подачи на вход скачкообразного возмущения возникает импульс бесконечно большой величины (рис. 1.18).

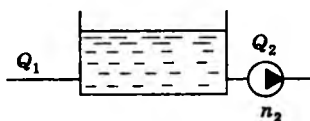


Рис. 1.16

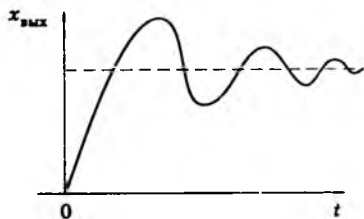


Рис. 1.17

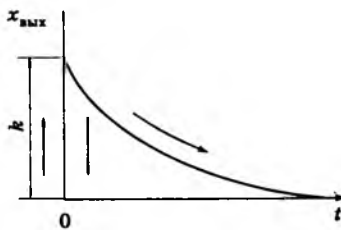


Рис. 1.18

Идеальным дифференциальным называют звено, в котором величина на выходе пропорциональна скорости изменения величины на входе. При единичном скачкообразном воздействии такое звено дает на выходе мгновенный импульс, площадь которого равна $kx_{вх}$. При $t > 0$ выходная величина равна нулю (рис. 1.19).

Инерционным с запаздыванием называют звено, которое передает воздействия с выхода не одновременно с воздействием входной величины, а с некоторым временем запаздывания τ . При этом сигнал на выходе звена нарастает постепенно (рис. 1.20). В реальных условиях запаздывание проявляется как в одно-емкостных, так и в двух-емкостных объектах (рис. 1.21).

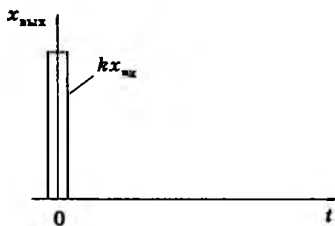


Рис. 1.19

При скачкообразном нанесении возмущения в момент времени t_0 изменение параметров процесса начинается не сразу, а с какого-то времени t_1 , т.е. через промежуток времени τ_0 (τ_0 — время передаточного запаздывания).

Передаточное запаздывание происходит из-за того, что всегда требуется некоторое время для прохождения сигнала от первичного преобразователя измерительной системы до регулятора, а затем от регулятора до объекта.

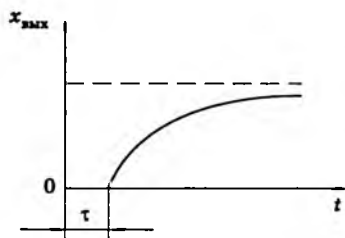


Рис. 1.20

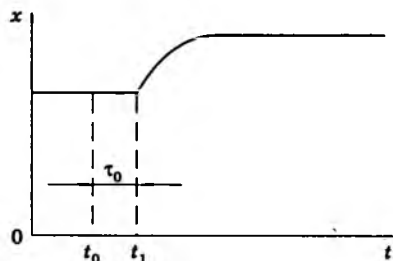


Рис. 1.21

В одноемкостном объекте (см. рис. 1.21) имеет место только передаточное запаздывание τ_0 . В двух-емкостном объекте кроме передаточного имеется также переходное запаздывание τ_n , так как емкости объекта разделены между собой сопротивлениями, вызывающими замедленный переход энергии или вещества из одной емкости в другую.

Время полного запаздывания представляет собой сумму τ_0 и τ_n . Оно зависит от конструкции технологического оборудования, не подлежащего переделкам при его автоматизации, и определяется экспериментально. Например, изменение состава или влажности оборотной смеси, подаваемой в смеситель, скажется на свойствах выпускаемой из него смеси только через некоторое время, необходимое для прохождения этой смеси через смеситель.

Контрольные вопросы

1. В чем отличие регулирования по окончанию от регулирования по возмущению?
2. В чем отличие отрицательной обратной связи от положительной обратной связи?
3. В чем отличие систем прямого регулирования от систем непрямого регулирования?
4. Назовите разновидности регуляторов и укажите, в чем их различие.
5. Из каких стадий состоит процесс регулирования?
6. В чем различие статических и динамических характеристик объектов регулирования?
7. Какие объекты литейного производства могут быть охарактеризованы в системах регулирования как объекты с запаздыванием?

Системы автоматике состоят из ряда связанных между собой элементов, выполняющих определенные функции и обеспечивающих в комплексе весь процесс управления: получение первичной информации, усиление и измерение сигналов информации, преобразование их в управляющие сигналы и воздействие посредством исполнительных механизмов на регулирующие органы.

Все элементы любой группы имеют вход и выход. На вход поступает информация, форма которой преобразуется в другую форму, необходимую для дальнейшего движения и воздействия. Входная величина элемента обозначается через X , а выходная — через Y .

Входной величиной элемента могут быть мгновенные значения физических величин (скорости, ускорения, давления, температуры, перемещения, освещенности, тока, напряжения и др.), амплитудные значения синусоидальных или импульсных электрических величин (ток или напряжение), частота физических величин и т.д.

Выходной величиной может быть электрический, пневматический, гидравлический сигналы, различные по величине и характеру. Входную величину часто называют **входным сигналом**, а выходную — **выходным сигналом**.

Режим работы элемента (системы) при постоянных во времени входной и выходной величинах называют **установившимся** или **статическим режимом**. Функциональная зависимость выходной величины y от входной x , выраженная математически или графически, называется **статической характеристикой элемента** $y = f(x)$.

Режим работы элемента при переменных во времени входной и выходной (или одной из них) величин называют **динамическим**.

По статической характеристике можно определить вид элемента (датчик, реле). Так, например, если статическая характеристика элемента непрерывна, т.е. величина y находится в определенной непрерывной зависимости от величины x , то такой элемент называют **первичным преобразователем** или **датчиком**.

Если статическая характеристика элемента изменяется скачком, т.е. включение или отключение осуществляется при достижении входной величиной x определенных, заранее установленных значений, то такой элемент называется *реле*.

Элементы автоматики характеризуются коэффициентом передачи, порогом чувствительности и погрешностью.

Коэффициент передачи элемента K представляет собой отношение выходной величины элемента y к входной величине x , т.е. $K = y/x$. Коэффициент передачи датчика называют также *чувствительностью*.

Если входная и выходная величины элемента имеют одинаковую физическую природу, то коэффициент передачи называют *коэффициентом усиления*.

Наименьшее (по абсолютной величине) значение входного сигнала, способное вызвать изменение выходного сигнала, называется *порогом чувствительности*.

Погрешность элемента появляется из-за неточной тарировки или градуировки (вследствие разброса параметров) элементов в процессе их изготовления (в пределах установленных допусков). Различают абсолютную, относительную и приведенную погрешности.

Под *абсолютной погрешностью* элемента понимают разность между полученным и действительным значениями выходной величины.

Относительная погрешность представляет собой отношение абсолютной погрешности к действительному значению выходной величины элемента, выраженной в относительных единицах или процентах.

Приведенная погрешность — отношение абсолютной погрешности к разности предельных значений выходной величины, выраженной в относительных единицах или процентах.

2.1. Первичные преобразователи

2.1.1. Преобразователи давления жидкостей и газов в перемещение

Для преобразования контролируемой величины (давления, расхода жидкости или газа) в линейное (угловое) перемещение или угловую скорость вращения выходного механического элемента применяют *гидромеханические* или *пневмомеханические преобразователи*, которые по принципу действия могут быть упругими и поплавковыми.

В свою очередь, упругие преобразователи по исполнению могут быть мембранными, сильфонными и трубчатыми. Основные области их применения — гидравлические и пневматические системы автоматического регулирования уровня, давления, расхода и т.п.

На рис. 2.1 представлена схема *мембранного преобразователя* с гибкой мембраной (диафрагмой) в виде круглой пластины 1, выполненной из упругого материала (стали, резины). Под воздействием приложенного давления p мембрана прогибается, заставляя шток 2 смещаться на величину, пропорциональную приложенному давлению. Для увеличения чувствительности преобразователей и увеличения хода штока мембраны выполняют гофрированными. Термин «диафрагма» употребляется обычно применительно к пластинам, выполненным из неметаллических материалов.

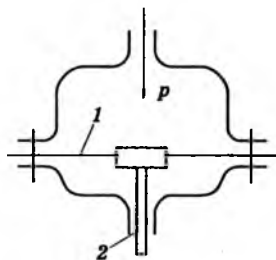


Рис. 2.1

Сильфонные преобразователи (рис. 2.2) используют в тех случаях, когда необходимо получить значительные перемещения, достигающие нескольких сантиметров. Под воздействием приложенного давления p сильфон (упругая гофрированная трубка) 1 и пружина 3 сжимаются, перемещая шток 2. При уменьшении давления сильфон распрямляется под действием пружины 3.

Трубчатые упругие элементы (трубки Бурдона) выполняют в форме незамкнутого кольца (рис. 2.3), один конец которого запаян. Сечение трубок может быть эллипсоидным или овальным. Жидкость или газ подается под давлением p в трубку. При этом

она стремится распрямиться, а запаянный незакрепленный конец трубки смещается на величину, пропорциональную приложенному давлению. Для увеличения хода свободного конца трубки делают многовитковыми (см. рис. 3.30).

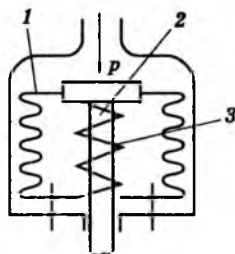


Рис. 2.2

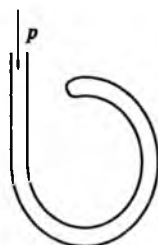


Рис. 2.3

2.1.2. Преобразователи расхода жидкостей и газов в давление

Гидравлические и пневматические преобразователи преобразуют контролируемую величину (скорость течения, расход) в давление или расход жидкости (газа). По принципу действия они могут быть струйными и дроссельными.

Примером *струйного преобразователя* является датчик скорости потока жидкости или газа, получившего название «трубки Пито» (рис. 2.4). Датчик представляет собой изогнутую трубку 1, входное сопло которой повернуто навстречу потоку 2. Давление в трубке складывается из статического давления p_0 и динамического давления p , пропорционального квадрату скорости потока v :

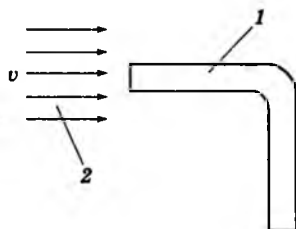


Рис. 2.4

$$v = \sqrt{\frac{2(p - p_0)}{\rho}}$$

откуда

$$p = p_0 + \frac{\rho}{2} v^2,$$

где ρ — плотность жидкости (газа).

Трубки Пито используются также в приборах для измерения скорости тел, движущихся в жидкости или газе, например самолетов.

Примером *дрессельного преобразователя* является сужающее устройство, например диафрагма 1, установленная в трубопроводе 2 (рис. 2.5). При протекании по трубопроводу потока жидкости (газа) возникает перепад давлений $\Delta p = p_1 - p_2$ до и после сужающего устройства. Перепад давлений Δp связан с объемным расходом $Q_{об}$:

$$Q_{об} = \alpha \xi S \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p},$$

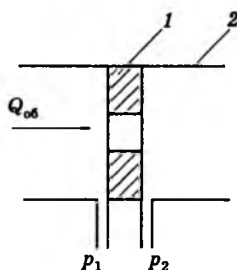


Рис. 2.5

где α — экспериментально определенный коэффициент расхода; ξ — коэффициент расширения, учитывающий изменение p за счет дросселирования потока в сужающем устройстве (для нежимаемых жидкостей $\xi = 1$); S — площадь проходного сечения сужающего устройства.

2.1.3. Преобразователи температуры в перемещение

Для преобразования температуры в перемещение применяют **биметаллические пластинчатые пружины**. Принцип действия таких преобразователей основан на однозначной зависимости между измеряемой температурой и деформацией чувствительного элемента первичного преобразователя — биметаллической пластины — под действием температуры (рис. 2.6).

Биметаллическая пластина состоит из двух соединенных пайкой или сваркой металлических слоев с различными коэффициентами линейного расширения. В качестве сплава 1 с малым коэффициентом линейного расширения обычно используют инвар (36 % Ni + 64 % Fe). Другим металлом 2 может быть латунь, медь, сталь. Слои тонколистовой двухслойной ленты соединяются контактной сваркой. Из ленты делают пластины

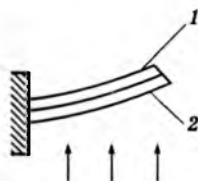


Рис. 2.6

плоские и пространственные (спирали), которые с повышением

температуры (на рис. 2.6 направление потока тепла показано стрелками) деформируются: загибаются или закручиваются в сторону материала с меньшим коэффициентом линейного расширения.

2.1.4. Преобразователи перемещения в электрический сигнал

В качестве преобразователей перемещения в электрический сигнал применяют реостатные, тензометрические, индуктивные, дифференциально-трансформаторные, емкостные и другие датчики.

Реостатный датчик (рис. 2.7) является преобразователем линейного или углового перемещения движка в пропорциональные значения постоянного или переменного напряжения, так как напряжение U_1 на сопротивлении нагрузки R_n зависит от положения x движка реостата (переменного резистора) R_0 . Благодаря простоте конструкции, широкому диапазону воспроизводимых характеристик и универсальности питаемого напряжения (постоянного и переменного) реостатные датчики широко распространены в схемах автоматики.

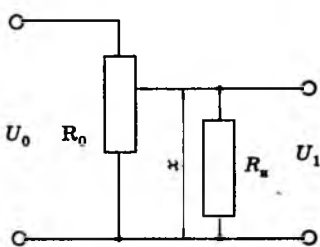


Рис. 2.7

Преимущества реостатных датчиков — достаточная точность, простая конструкция, высокий уровень выходного сигнала (порядка нескольких вольт). Недостатки — влияние температуры, ограниченная долговечность и невысокая надежность вследствие износа реостата. Применяются для измерения небольших перемещений, например прогиба мембраны в датчиках давления.

Разновидностью реостатных датчиков являются реохорды. **Реохорд** — это переменный резистор из проволоки с высоким сопротивлением, плотно намотанной в один ряд на изолированный каркас. Движок реохорда может быть механически связан со стрелкой, перемещающейся вдоль шкалы, отградуированной в единицах измерения температуры (например, в $^{\circ}\text{C}$).

Параметры реохордов и их конструкции определяются максимальным значением питающего напряжения, точностью,

сроком службы, допустимой величиной сопротивления. Для изготовления (намотки) реохорда обычно используется манганин.

Тензометрические датчики (тензодатчики) применяются для преобразования очень малых перемещений в электрический сигнал. В основу действия этих устройств положен тензорезистивный эффект, который проявляется в изменении электрического сопротивления металлической проволоки в зависимости от изменения ее длины при растяжении.

Тензометрические датчики (рис. 2.8) с металлическим проводочным чувствительным элементом 1 выполняются на бумажной подложке 2 и представляют собой петлеобразную конструкцию с выводами 3.

Тензодатчик с помощью слоя специального клея 4 наклеивается на исследуемую конструкцию 5, упругая деформация которой воспринимается чувствительным элементом датчика. Длина одной петли a называется базой тензодатчика. Промышленность серийно выпускает тензодатчики с базой 2...400 мм и сопротивлением 30...500 Ом. Изменение сопротивления в рабочем диапазоне датчика не превышает 1 %.

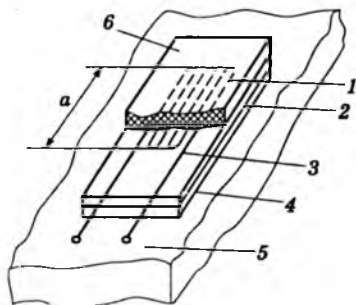


Рис. 2.8

Недостатком тензометрических датчиков является существенная зависимость их электрического сопротивления от температуры, достоинством — малые габариты. Они могут быть легко закреплены на любой детали машины для измерения усилия в ней. Известно о применении тензодатчиков при автоматическом контроле растяжения колонн машин литья под давлением для определения усилия запирающей машины.

Индуктивный датчик (рис. 2.9) является преобразователем перемещения подвижного элемента 1 в изменение индуктивности катушки 2 и соответственно силы тока в цепи, в которую включена эта катушка.

Главным недостатком индуктивных датчиков является нелинейная зависимость силы тока в цепи от перемещения. В процессе их функционирования возникают значительные ферродинамические усилия между подвижной и неподвижной частями датчика,

вносящие существенные погрешности в измеряемую величину. Поэтому на практике чаще применяют **дифференциально-трансформаторные датчики** (рис. 2.10), являющиеся преобразователями линейного перемещения плунжера в напряжение переменного тока за счет взаимного изменения индуктивности обмоток трансформатора. Датчик состоит из одной первичной обмотки 2 и двух одинаковых вторичных обмоток 3, соединенных так, чтобы наводимые в них электродвижущие силы действовали навстречу друг другу, т.е. были сдвинуты по фазе на 180° . В состав датчика входит подвижный сердечник 1, выполненный из магнитомягкого материала. Сердечник закреплен на штоке 4, соединенном с системой, в которой измеряется смещение сердечника x .

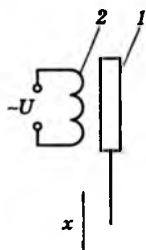


Рис. 2.9

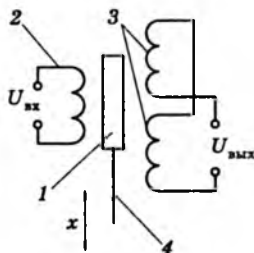


Рис. 2.10

Когда сердечник расположен симметрично относительно обеих вторичных обмоток, наводимые в них ЭДС равны по величине, но противоположны по направлению. В этом случае на выходных клеммах ЭДС будет равна нулю.

При смещении сердечника к одной из вторичных обмоток напряжение в ней увеличивается. Одновременно напряжение в другой обмотке уменьшается и на выходных клеммах появляется ЭДС, пропорциональная смещению сердечника.

Чувствительность таких датчиков может достигать 0,12... 0,80 мВ/мкм. Измеряются перемещения от 0,1 до нескольких десятков миллиметров. Погрешность составляет 0,5...1,0 %. Влияние температуры невелико.

В качестве преобразователей угловых перемещений рамки в пропорциональные значения ЭДС переменного тока применяются **ферродинамические преобразователи**. Они предназначены

для работы в компенсационной системе передачи показаний первичного прибора на вторичный прибор, а также для работы в системах регулирования, суммирования и умножения.

Емкостные датчики преобразовывают механическое перемещение в изменение электрической емкости. По своей конструкции и принципу действия емкостный датчик представляет собой конденсатор. Емкость C конденсатора

$$C = \frac{\epsilon S}{\delta},$$

где ϵ — диэлектрическая проницаемость; S — площадь поверхности взаимодействующих обкладок конденсатора; δ — расстояние между обкладками.

Изменение параметров, входящих в это выражение, приводит к изменению емкости конденсатора.

Емкостные датчики обладают высокой чувствительностью и позволяют преобразовывать быстро меняющиеся перемещения. Отсутствие электрических контактов обеспечивает надежную их работу в условиях литейного цеха при наличии пыли, высоких температур и других неблагоприятных воздействий.

Принцип действия емкостных датчиков лежит в основе конструкции **емкостных выключателей**. Активная поверхность емкостного выключателя образована двумя концентрически соориентированными металлическими электродами *1* и *2*, которые можно представить как электроды «развернутого» конденсатора. Емкостные бесконтактные выключатели срабатывают как от электропроводящих объектов, так и от диэлектриков. Объекты из электропроводящих материалов образуют по отношению к активной поверхности бесконтактного выключателя своеобразный противозлектрод. Таким образом формируются две емкости C_1 и C_2 , включенные последовательно (рис. 2.11).

Размещение изолятора (диэлектрика) *3* между пластинами конденсатора (рис. 2.12) также приводит к увеличению емкости между электродами, так как величина диэлектрической постоянной любого твердого или жидкого материала **выше** диэлектрической постоянной воздуха. При этом чем **больше** диэлектрическая постоянная, тем больше расстояние **срабатывания**.

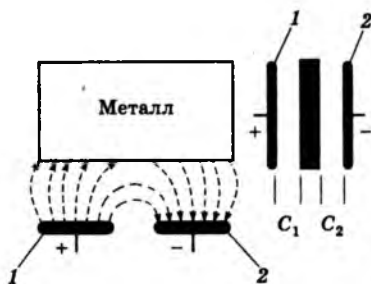


Рис. 2.11

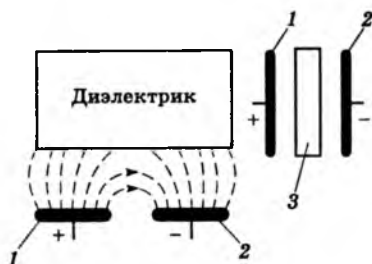


Рис. 2.12

Поверхности электродов 1 и 2 включают в цепь обратной связи высокочастотного автогенератора. Приближение объекта вызывает повышение емкости конденсатора. Автогенератор запускается и на его выходе формируется выходной сигнал.

2.2. Усилители

Усилителем называется устройство, предназначенное для повышения мощности входного сигнала за счет энергии постороннего источника питания. В зависимости от конструкции и вида источника дополнительной энергии усилители подразделяются на электронные, магнитные, гидравлические, пневматические и т.д. Усилители характеризуются коэффициентом усиления, инерционностью и стабильностью.

Коэффициент усиления — это отношение величин выходного и входного сигналов. Если усилитель состоит из нескольких каскадов, то общий коэффициент усиления равен произведению коэффициентов усиления отдельных каскадов.

Под **инерционностью усилителя** понимается время запаздывания при передаче входного сигнала в переходном режиме, под **стабильностью** характеристики усиления — постоянство коэффициента усиления выходного напряжения.

Современные усилители обладают высокой надежностью при работе в сложных условиях, имеют небольшую массу и малые размеры. Они могут монтироваться совместно с различными приборами, легко извлекаются при ремонте и заменяются исправными приборами.

Основу *электронных усилителей* составляют полупроводниковые приборы — полупроводниковые триоды (плоскостные транзисторы). На рис. 2.13 приведена схема электронного усилителя низкочастотных колебаний на транзисторе Т ($U_{\text{вх}}$, $U_{\text{вых}}$ — соответственно входное и выходное напряжение; E — ЭДС источника тока; R — ограничительный резистор, $R_{\text{н}}$ — нагрузка).

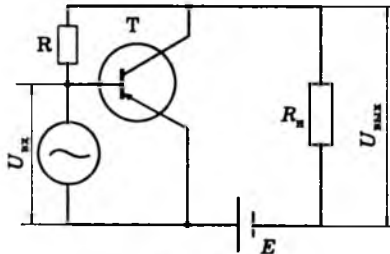


Рис. 2.13

Параметры транзистора ощутимо изменяются при изменении температуры окружающей среды, что является весьма существенным недостатком при работе усилителей в условиях литейного производства.

Магнитные усилители представляют собой электромагнитные аппараты для управления относительно большой мощностью переменного тока посредством малой мощности постоянного тока или переменного тока другой частоты.

Простейший магнитный усилитель (рис. 2.14) представляет собой дроссель с двумя обмотками: управляющей (ω_1), подключенной к источнику постоянного напряжения, и управляемой (ω_2), подключенной к источнику переменного напряжения.

При отсутствии тока в управляющей обмотке индуктивное сопротивление управляемой обмотки большое. Соответственно протекающий через нее ток мал и так же мало напряжение $U_{\text{вых}}$ на нагрузке.

После подключения управляющей обмотки к источнику постоянного тока в сердечнике возникает магнитный поток. При этом с увеличением насыщения уменьшается индуктивность управляемой обмотки и ее полное сопротивление. Уменьшение полного сопротивления приводит к увеличению напряжения на нагрузке.

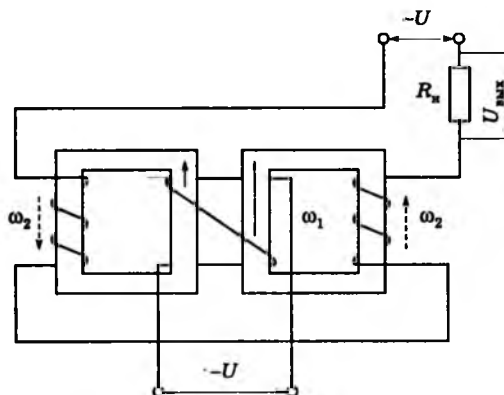


Рис. 2.14

Если в цепь управляемой обмотки последовательно включить нагрузку R_n (например, электродвигатель), то мощность постоянного тока, расходуемая в цепи управляющей обмотки, будет значительно меньше мощности, выделяемой на нагрузке. Поэтому такое устройство называется усилителем.

Магнитные усилители нечувствительны к кратковременным перегрузкам, имеют высокий коэффициент усиления, возможность суммирования отдельных сигналов и большой срок службы. Они надежно работают в широком диапазоне температур, давлений и влажности, пожаро- и взрывобезопасны, позволяют создавать бесконтактные системы автоматического управления. Существенным недостатком магнитных усилителей является инерционность, определяемая главным образом параметрами управляющей обмотки.

Гидравлические усилители предназначены для усиления сигналов, поступающих от датчиков. В практике автоматического регулирования применяются несколько типов гидравлических усилителей: со струйной трубкой, с соплом и заслонкой, с золотником.

Схема струйного усилителя представлена на рис. 2.15. Внутри корпуса 1 расположена струйная трубка 2 с сопловой

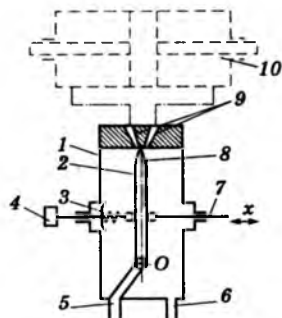


Рис. 2.15

насадкой 8 на конце. С одной стороны на трубку воздействует опирающийся на нее толкатель **7**, соединенный с датчиком или другим элементом, механическое перемещение x которого и есть входной сигнал малой мощности, подлежащий усилению. С другой стороны на трубку воздействует пружина задатчика **3**, работающая на сжатие. Ее начальное натяжение регулируется винтом **4**. Струйная трубка каналом **5** сообщается с источником питания и имеет возможность поворачиваться на небольшой угол вокруг оси O , расположенной перпендикулярно к плоскости рисунка. Сопловая насадка струйной трубки обращена к расширяющимся приемным соплам **9**, расположенным в плоскости вращения трубки. Сопла соединены трубопроводами с обеими полостями гидроцилиндра двойного действия (исполнительного механизма) **10**. По трубке **6** рабочая жидкость стекает в бак, где установлен насос.

При нейтральном (среднем) положении струйной трубки струя рабочей жидкости создает в приемных соплах **9** равные давления. При этом поршень исполнительного механизма **10** не перемещается.

При отклонении регулируемого параметра от заданного значения на струйную трубку действует разность усилий со стороны пружины **3** задатчика и толкателя **7** чувствительного элемента. Под воздействием усилия рассогласования струйная трубка отклоняется от среднего положения. При этом в одном из приемных сопел давление возрастает, а в другом — падает. Поршень исполнительного механизма **10** перемещается в соответствующую сторону до тех пор, пока не наступит равновесие.

Гидравлические усилители со струйной трубкой имеют высокую эксплуатационную надежность. Основным недостатком усилителей этого типа является неполное использование мощности потока рабочей жидкости, подводимой к усилителю.

Пневматические усилители предназначены для усиления сигналов в пневматических системах управления. Конструктивные варианты усилителей этого типа разнообразны, но общим для всех конструкций является то, что мощный поток энергии, предназначенный для приведения в действие регулирующего органа, управляется небольшим потоком поступающего воздуха, который изменяется по величине в управляющем элементе.

На рис. 2.16 дана схема пневматического усилителя, в котором сжатый воздух, поступающий по воздухопроводу 1, делится на два потока. Один из них через дроссель постоянного сечения 2 поступает к системе сопло 3 — заслонка 4. Другой, основной, поток воздуха через отверстие 7 поступает по трубопроводу 8 к исполнительному механизму.

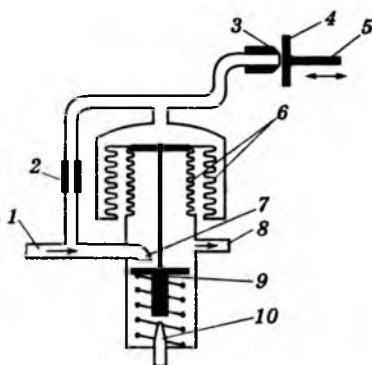


Рис. 2.16

При увеличении давления в системе пневмопривода толкатель 5 чувствительного элемента приближает заслонку 4 к соплу 3. Внутри усилителя давление повышается, сильфоны 6 сжимаются и перемещают вниз тарельчатый клапан 9. При этом открывается отверстие 7 для входа воздуха и прикрывается выпускное сопло 10. Давление воздуха, подаваемого к исполнительному механизму по трубопроводу 8, увеличивается.

Если давление в системе пневмопривода уменьшается, толкатель 5 удаляет заслонку 4 от сопла, сильфоны 6 разжимаются, открывается выпускное отверстие и закрывается входное. Давление воздуха, подаваемое к исполнительному механизму, уменьшается. Значение внутреннего и наружного давлений, действующих на сильфоны, подбирается в соответствии с их размерами.

Такой усилитель обеспечивает повышение давления воздуха, подаваемого к исполнительному механизму, от 0,04 до 0,1 МПа, а также сохраняет линейную зависимость между давлением и входным сигналом.

Для управления электроприводами, состоящими из машин постоянного тока, применяются системы, включающие электромашинные усилители (ЭМУ).

Электромашинным усилителем (рис. 2.17) может служить обычный генератор постоянного тока с независимым возбуждением. Сигнал об изменении тока, подлежащего усилению, подается на обмотку возбуждения 1 генератора 2. Это приводит

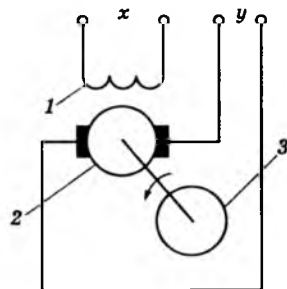


Рис. 2.17

к изменению магнитного потока генератора и ЭДС в его якоре. Выходное напряжение приближенно можно считать пропорциональным управляющему току при постоянной скорости вращения якоря машины от электродвигателя 3.

Таким образом, с помощью ЭМУ можно управлять мощным электрическим приводом посредством слабого управляющего сигнала x . Однако электромашинные усилители имеют меньшую по сравнению с магнитными усилителями надежность, что объясняется наличием вращающихся частей, а также вредным воздействием на ЭМУ запыленности воздуха, вибраций и других неблагоприятных внешних условий.

2.3. Исполнительные механизмы

Исполнительным механизмом называется устройство, которое за счет внешнего источника энергии производит работу перемещения регулирующего органа в соответствии с сигналом, поступающим от управляющего устройства.

Исполнительные механизмы предназначены для привода элементов, регулирующих потоки энергии, жидкости, газа, сыпучих тел и т.д. Их классифицируют:

- по виду выполняемых перемещений на поступательные, поворотные в пределах одного оборота (кривошипные исполнительные механизмы) и многооборотные;
- по виду используемой энергии на электрические, электромагнитные, механические, гидравлические и пневматические.

Обычно исполнительные механизмы приводятся в действие от посторонних источников энергии.

Исполнительные механизмы, предназначенные для выполнения простейших операций (например, открыть — закрыть), называют *двухпозиционными*, для многопозиционного и плавного регулирования — *пропорциональными*. В исполнительном механизме, как и в других элементах автоматики, различают вход и выход. Импульсы, поступающие от предыдущих элементов автоматической цепи на вход исполнительного механизма, могут быть механическими, пневматическими и гидравлическими. Такими же могут быть и импульсы, поступающие от выхода исполнительного механизма в управляемый объект.

Исполнительные механизмы, применяемые в системах автоматики, называют *сервоприводами (серводвигателями)*. Любой исполнительный элемент воздействует на тот поток вещества или энергии, который должен изменяться регулирующим органом.

Электрические двигатели автоматических устройств широко используются в схемах управления, регулирования и контроля в качестве силовых и преобразующих элементов.

Электродвигатели в схемах автоматики могут работать как исполнительные — для преобразования электрического сигнала во вращение вала двигателя и как вспомогательные механизмы, предназначенные для привода во вращение отдельных узлов автоматических систем (например, диаграммной бумаги в самопишущем приборе).

Исполнительный электрический механизм (рис. 2.18) содержит электродвигатель 1 с жесткой скоростной характеристикой, редуктор 2, тормоз 3, преобразователь 4 угла поворота выходного вала в электрический сигнал, механическую передачу 5 для связи с регулирующим органом РО и конечные выключатели 6 [4].

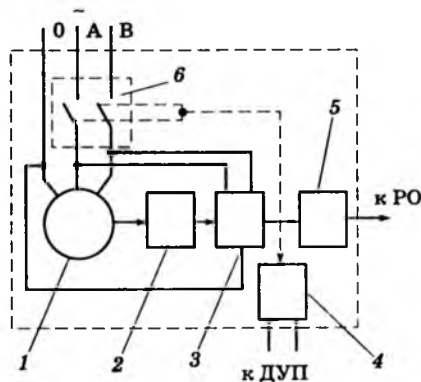


Рис. 2.18

При контактном управлении исполнительным механизмом включение электродвигателя 1 осуществляется замыканием одного из выходных контактов регулятора. В случае бесконтактного управления выход регулирующего устройства связан с входом исполнительного механизма через магнитный усилитель. Редуктор 2 (обычно многоступенчатый) обеспечивает понижение

частоты вращения и, соответственно, увеличение вращающего момента на выходном валу. Выходной вал сочленяется с РО посредством шатунно-кривошипной или иной механической передачи 5. Электрический сигнал преобразователя 4 используется для дистанционного указателя положения (ДУП) выходного вала исполнительного механизма, а в некоторых разновидностях регуляторов служит сигналом дополнительной обратной связи.

При достижении выходным валом предельных положений во избежание поломки РО или механической связи с ним конечные выключатели 6 размыкают цепь питания электродвигателей исполнительного механизма. Для предотвращения выбега выходного вала по инерции после отключения электродвигателя исполнительные электрические механизмы оснащаются электромагнитным тормозом 3.

Исполнительные электрические механизмы различаются по мощности электродвигателя, наличию или отсутствию электромагнитного тормоза и выходного преобразователя, вращающему моменту, числу полных оборотов выходного вала и времени одного полного оборота. Кроме исполнительных механизмов с выходным вращательным движением выпускаются также прямоходные исполнительные механизмы с выходным механическим элементом в виде зубчатой рейки.

Исполнительный механизм можно использовать как при автоматическом управлении регулирующим органом, так и при ручном. В последнем случае вместо командных контактов регулятора включаются контакты ключей или кнопок управления.

В исполнительном электромагнитном механизме (рис. 2.19) используется соленоид 1, который после включения в сеть электропитания втягивает сердечник 2. Последний, преодолевая упругое противодействие пружины 3, перемещает выходной шток. Выходной шток связывают с регулирующим органом.

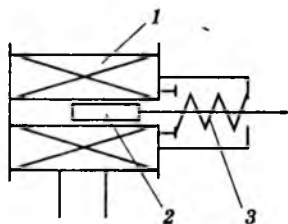


Рис. 2.19

Электромагнитные исполнительные механизмы применяются в системах позиционного регулирования, а также для привода запорной арматуры на трубопроводах.

Электрические и электромагнитные исполнительные механизмы по сравнению с гидравлическими и пневматическими

имеют следующие преимущества: сигналы и управляющие воздействия могут быть переданы на значительные расстояния по легким и дешевым трассам, для одновременной передачи нескольких сигналов может быть использован один канал. Недостатками исполнительных электрических механизмов являются громоздкость и наличие контактных устройств, затрудняющих их применение во взрывоопасной среде.

Для управления механизмами, требующими больших перестановочных усилий, применяют *исполнительные гидравлические механизмы* (гидродвигатели), которые по виду движения выходного звена разделяются на прямоходные с поступательным движением штока и кривошипные с вращательным движением рабочего органа. Перемещение поршня в гидродвигателях происходит за счет разности давлений жидкости, находящейся с обеих сторон поршня. В качестве рабочей жидкости, как правило, используется техническое масло.

Исполнительный гидравлический кривошипный механизм (рис. 2.20) соединяется с гидравлическим усилителем маслопроводами при помощи штуцеров 1 и 4. Внутри цилиндра 3 находится поршень 2, который при помощи шатуна и кривошипа соединен с выходным валом, сочлененным с регулирующим органом.

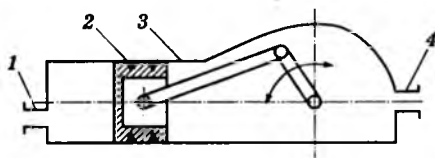


Рис. 2.20

Достоинствами исполнительных гидравлических механизмов являются простота, надежность и относительно малые габариты, а также возможность получения значительных крутящих моментов на выходном валу. Кроме того, в исполнительных гидравлических механизмах легко изменять скорость перемещения регулирующего органа в зависимости от величины управляющего сигнала.

К недостаткам исполнительных гидравлических механизмов можно отнести сложность преобразующих устройств для некоторых регулируемых параметров, ограниченное расстояние, на

которое может передаваться управляющее воздействие, наличие баков, насосов, прямых и обратных трубопроводов.

В исполнительном пневматическом механизме мембранного типа (рис. 2.21) давление p сжатого воздуха вызывает прогиб мембраны 1, выполненной из прорезиненной ткани. Мембрана, оснащенная жестким центром 2, посредством выходного штока 3 передает усилие на регулирующий орган. Благодаря наличию уравновешивающей пружины 4 перемещение центра мембраны оказывается прямо пропорциональным давлению сжатого воздуха на выходе регулятора. При значении регулирующего параметра, соответствующем заранее заданному, усилие пружины уравновешивает давление воздуха и рычаг удерживает регулирующий орган в соответствующем положении. Для регулировки исполнительного механизма имеется винт, воздействующий на пружину (на схеме не показан).

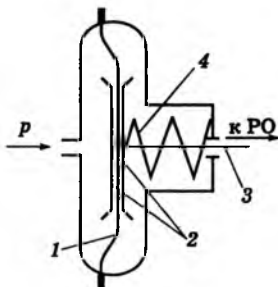


Рис. 2.21

2.4. Регулирующие органы

Регулирующим органом называется устройство, непосредственно воздействующее на объект регулирования для поддержания заданного значения регулируемой величины (или изменения ее по заданному закону).

Регулирование технологических процессов осуществляется при помощи регулирующих органов посредством изменения количества вещества (энергии), протекающего через установку в единицу времени. Регулирующие органы приводятся в движение или удерживаются в определенном положении исполнительными механизмами.

Способы управления регулируемыми органами можно разделить на две группы: местное и дистанционное. *Местное управление* осуществляется обслуживающим персоналом непосредственно у места установки регулирующего органа, *дистанционное* — с помощью вспомогательных приборов, питаемых от постороннего источника энергии.

Выбор регулирующего органа определяется физическими свойствами регулирующей среды и характером воздействия на нее.

В качестве регулирующих органов для сыпучих сред применяются *дозаторы и питатели*. Регулирующие органы для жидких и газообразных сред выполняют в виде клапанов и заслонок различной конструкции. Клапаны могут быть тарельчатые, конические, одно- и двухседельные.

Односедельные прямоходные клапаны (рис. 2.22, а) имеют корпус 1, в котором находится седло 2, плунжер 3 и шток 4.

Регулируемая среда поступает через входной фланец в нижнюю часть корпуса и выходит в верхнюю часть корпуса через зазор между седлом и плунжером.

При перемещении штока 4 вверх (вниз) под воздействием исполнительного механизма (на схеме не показан) изменяется величина проходного отверстия клапана. При этом увеличивается (уменьшается) объем проходящей через клапан среды.

Односедельные клапаны называют неразгруженными потому, что регулируемая среда постоянно воздействует на нижнюю поверхность клапана и стремится его поднять.

Двухседельные клапаны (рис. 2.22, б) называют разгруженными, так как регулируемая среда при работе действует одновременно на нижнюю и верхнюю поверхности плунжера. Такие клапаны могут применяться для сред, находящихся под большим давлением.

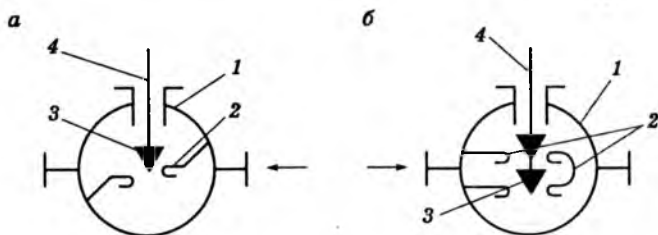


Рис. 2.22

Сочленение клапана с исполнительным механизмом может осуществляться с помощью тяг, кулачкового привода или непосредственно.

Поворотные заслонки 1 (рис. 2.23) получили широкое распространение для регулирования потоков газа, пара или воздуха, проходящего по трубопроводу 2 при небольшом избыточном давлении (до 1000 мм вод. ст.).

Для регулирования газовых потоков в трубопроводах большого диаметра применяются поворотные многолопастные заслонки.

В зависимости от расположения и конструкции газопровода можно устанавливать заслонки с вертикальным или горизонтальным расположением осей.

Кроме поворотных заслонок в качестве регулирующих органов применяют шиберы. *Шибером* называют устройство, в котором регулирующее полотно перемещается перпендикулярно движущемуся потоку. При этом создается требуемое местное сопротивление. Шиберы, работающие при высокой температуре, снабжаются водяной рубашкой для охлаждения.

Поворотные заслонки и шиберы просты, имеют достаточно хорошие регулировочные свойства.

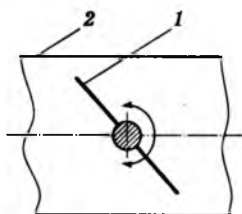


Рис. 2.23

2.5. Вспомогательные элементы

К *вспомогательным элементам* автоматики можно условно отнести электромагнитные и тепловые реле, полупроводниковые приборы (тиристоры, симисторы, оптроны), трансформаторы и т.п. Основными функциями таких элементов являются преобразование сигналов и гальваническая развязка электрических цепей микроЭВМ и исполнительных устройств.

В системах автоматики широко используют *реле*, в которых непрерывному изменению входной величины соответствует скачкообразное изменение выходной величины. Реле применяют для включения и выключения электрических цепей.

В практике автоматизации литейного производства применяют электромагнитные реле с поворотным якорем, реле с магнитоуправляемыми контактами (герконовое), тепловые и фотореле, моторные и другие реле.

Электромагнитное реле с поворотным якорем (рис. 2.24) имеет входную и выходную электрические цепи. Входная электрическая цепь представлена обмоткой 1, на которую подается $U_{вх}$. Выходная электрическая цепь включает группу изолированных друг от друга замкнутых и разомкнутых контактов 2.

Магнитная цепь реле состоит из сердечника 3, корпуса 4 и подвижного якоря 5. При подаче напряжения $U_{вх}$ якорь притягивается к сердечнику. При этом разомкнутые контакты замыкаются, а замкнутые — размыкаются. Соответственно подключаются или отключаются потребители, цепи питания которых включают эти контакты.

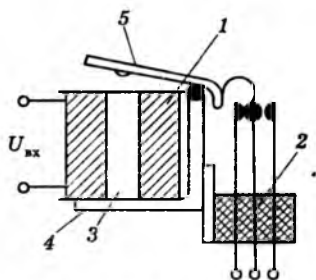


Рис. 2.24

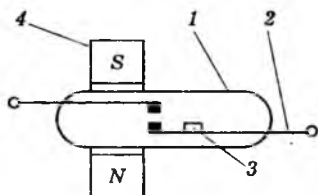


Рис. 2.25

Герконовое реле (рис. 2.25) состоит из герметичного стеклянного корпуса 1 с электродами 2 и постоянных магнитов 3 и 4 [6]. Постоянный магнит 3 закреплен на одном из электродов. В исходном положении контакты электродов 2 разомкнуты. При перемещении постоянного магнита 4 вдоль корпуса магнит 3 притягивается к нему, и контакты на хорошо пружинящих электродах 2 замыкаются.

Из-за малой массы контактных пружин герконовое реле имеет высокую скорость срабатывания (не более 1 мс).

В качестве реле может быть использован датчик ЭДС Холла (рис. 2.26). Датчик представляет собой полупроводниковую пластину, к которой припаяны две пары металлических электродов 1 и 2. К одной паре электродов подводится напряжение питания $U_{пит}$, с другой — снимается сигнал $U_{сиг}$, когда датчик оказывается в магнитном поле.

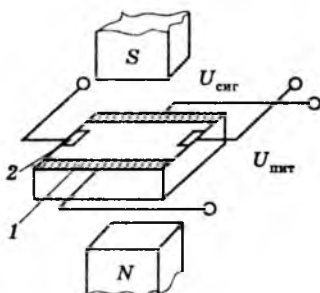


Рис. 2.26

Тепловые реле (рис. 2.27) применяют для защиты электрических двигателей от перегрева при длительных перегрузках. В качестве чувствительного элемента в тепловых реле используются биметаллические пластинки из металлов с различными коэффициентами линейного расширения.

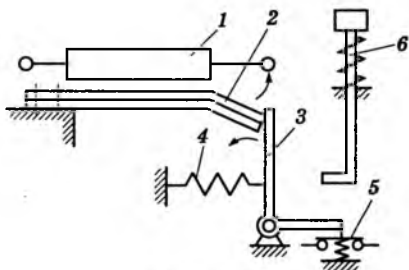


Рис. 2.27

Биметаллическая пластина 2 теплового реле нагревается в результате теплообмена с нагревателем 1, включенным последовательно в силовую цепь питания защищаемого объекта, например электродвигателя. При токе питания, не превышающем номинальный ток, тепла, выделяемого нагревателем, недостаточно для срабатывания реле. При длительной перегрузке объекта ток в силовой цепи питания возрастает, соответственно повышается температура нагревателя и пластина 2, изгибаясь, освобождает рычаг 3. Рычаг, поворачиваясь под действием пружины 4, размыкает контакт 5, который в цепи управления электродвигателем обычно подключают последовательно с кнопкой «Стоп», поэтому его размыкание вызывает отключение электродвигателя. Возвращение реле в исходное положение происходит при нажатии кнопки 6 после охлаждения биметаллической пластины.

Фотореле — устройство, которое может реагировать на изменение освещенности, интенсивности светового потока или частоты световых колебаний.

Воспринимающей частью фотореле являются фотосопротивление, фотодиод или другие фотоэлементы. Поскольку мощность получаемого от фотореле сигнала очень мала, сигнал предварительно усиливают, а затем подают на электромагнитное реле, контактную систему которого используют для включения управляющих устройств оборудования.

В литейном производстве фотореле применяют для включения исполнительных устройств в системах автоматизации заливочных, формовочных и выбивных операций.

Фотореле (рис. 2.28) включает фотоэлемент 1, осветительную лампу 2 и электромагнитное реле 3. Контакты реле (на схеме не показаны) включают в цепь питания средств сигнализации, блокировки или других устройств. Фотоэлемент проводит электрический ток, когда на него попадает свет от лампы, и не проводит ток, когда между ним и лампой находится непрозрачный предмет.

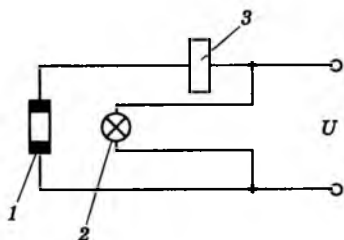


Рис. 2.28

Кроме рассмотренных в системах автоматизации применяют реле времени. Например, моторное программное реле времени для автоматического управления технологическим процессом по заданной циклограмме, т.е. для регулирования продолжительности выполняемых операций и времени между концом одних и началом других операций.

Для автоматического управления оборудованием по заданной циклограмме применяют также командные электроприборы.

Командный электроприбор (рис. 2.29) имеет вал 1 с установленными на нем кулачками (эксцентриками) 2. Вращение вала осуществляется однофазным синхронным двигателем 3, передающим вращение валу через редуктор 4. Скорость вращения вала (время цикла) изменяется поворотом регулировочного диска 5 редуктора.

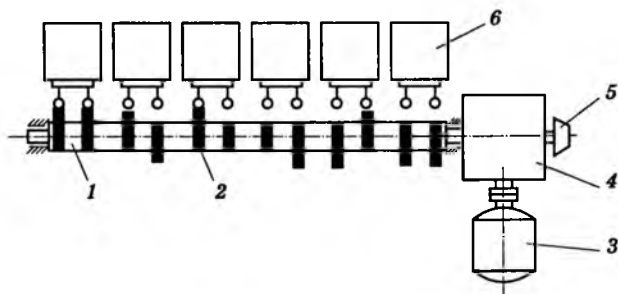


Рис. 2.29

Для включения и выключения каждой операции технологического процесса служит отдельный кулачок. Положение кулачков на валу устанавливается в зависимости от длительности операции. При вращении вала кулачки последовательно включают и выключают быстродействующие переключатели 6.

Командные электроприборы (КЭП) маркируются в зависимости от числа пар контактов: КЭП-3, КЭП-6, КЭП-10 и КЭП-12У.

Основные функции *полупроводниковых приборов* — тиристоров, симисторов и оптронов — выполнение операций включения, выключения и переключения электрических цепей.

Тиристор — полупроводниковый прибор, по устройству и принципу работы очень похожий на полупроводниковый диод, но в отличие от него управляемый. Существует несколько видов тиристоров. Наиболее распространены *динисторы* — тиристоры с двумя выводами и *тринисторы* — с тремя выводами.

Тринистор представляет собой пластинку полупроводника (обычно из кремния) с четырьмя чередующимися слоями различной электрической проводимости, образующими три $p-n$ -перехода (рис. 2.30). Крайний слой пластинки с дырочной проводимостью (p -типа) называют анодом А, крайний слой, имеющий электронную проводимость (n -типа), — катодом К. Тринистор имеет вывод от одного из средних слоев пластинки полупроводника У (управляющий электрод).

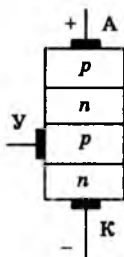


Рис. 2.30

Особенностью тиристора является его способность переходить из непроводящего в проводящее состояние при наличии слабого входного сигнала на управляющем электроде от постороннего источника постоянного тока. Тиристоры применяют для коммутации цепей постоянного тока

Промышленность выпускает тиристоры с рабочими параметрами от 1 мА до 10 кА — по току, и от десятков вольт до нескольких киловольт — по напряжению.

В практике автоматизации литейного производства часто приходится коммутировать переменный ток. Для этих целей применяют *симисторы* — симметричные тиристоры (рис. 2.31).

Тиристоры и симисторы обладают высокой механической прочностью и характеризуются бесшумностью при работе.

Недостатком тиристоров и симисторов является наличие гальванической связи между входной и управляемой цепями.

Для гальванической развязки управляющей и силовой электрических цепей используют полупроводниковые приборы — оптроны (рис. 2.32). *Оптрон* — прибор, состоящий из излучателя света и фотоприемника, связанных друг с другом оптически и помещенных в общем корпусе. В качестве излучателя обычно применяют полупроводниковый светоизлучающий диод, в качестве фотоприемника — фотодиод, фоторезистор, фототранзистор и т.д. В фотодиоде оптрона полупроводниковый $p-n$ -переход силовой цепи открывается под воздействием светового потока, излучаемого при прохождении тока по цепи управления светоизлучающим диодом. Таким образом, цепь управления в оптроне гальванически не связана с силовой цепью. Это позволяет подключать исполнительные электрические механизмы непосредственно к выходам ЭВМ.

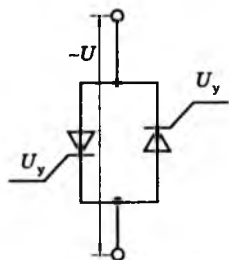


Рис. 2.31

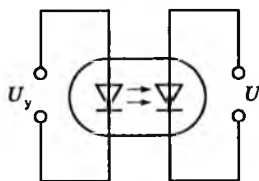


Рис. 2.32

Кроме рассмотренных видов реле в системах автоматического управления и регулирования применяются универсальные переключатели и кнопки управления.

Универсальными переключателями называют аппараты, которые служат для одновременных переключений в нескольких независимых электрических цепях управления. Они могут быть использованы для переключения цепей как постоянного, так и переменного тока. Применяются в автоматизированных системах для переключения с ручного (кнопочного) управления на автоматическое управление и наоборот.

Универсальный переключатель состоит из набора контактных секций, закрепленных на валике и изолированных одна от другой пластмассовыми перегородками. На конце валика закреплена пластмассовая рукоятка управления.

Схема контактной секции представлена на рис. 2.33. При повороте рукоятки управления контакты 2 и 3 внутри секции замыкаются или размыкаются переключкой 1.

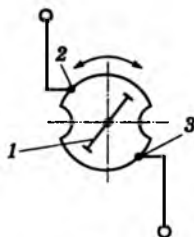


Рис. 2.33

Кнопки управления монтируются на щитах и пультах управления и применяются для дистанционного управления электромагнитными аппаратами, работающими на постоянном и переменном токе. Они состоят из одного или нескольких кнопочных элементов и контактного устройства, изготавливаются на электрическое напряжение до 660 и 440 В соответственно для цепей переменного и постоянного тока; допустимая сила тока 15 А.

На рис. 2.34 показан кнопочный элемент устройства управления, который состоит из штока 1 и корпуса 2, контактов 3 и 4, замыкаемых и размыкаемых при перемещении штока вниз, а также пружин 5 и 6. Кнопочный элемент крепится к пульту управления гайкой 7.

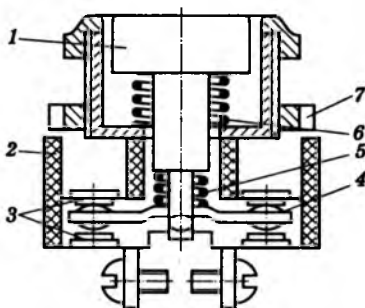


Рис. 2.34

Головки кнопок для удобства обслуживания снабжены надписями «Пуск», «Стоп», «Вперед», «Назад» и окрашены в различные цвета (кнопка «Стоп» — обычно красная).

2.6. Измерительные приборы

Измерительным прибором называют устройство, служащее для прямого или косвенного сравнения измеряемой величины с единицей измерения и вырабатывающее информационные сигналы в форме, доступной для восприятия человеком.

Главным элементом измерительного прибора является *первичный измерительный преобразователь (датчик)*, часто называемый первичным прибором (ПП).

Для передачи, обработки, отображения и хранения информации применяют промежуточные преобразователи.

Измерительный прибор, показания которого отражают непрерывную функцию измеряемой величины, называют *аналоговым*. Прибор, показания которого представляются в дискретной форме, называют *цифровым*.

Различают приборы показывающие и регистрирующие. У *показывающих приборов* предусмотрена только возможность считывания показаний, а у *регистрирующих* — запись или печать.

Приборы подразделяются также по роду измеряемой величины, характеру использования (оперативные и учетные), условиям работы (стационарные и переносные), габаритам (нормальные, малогабаритные и миниатюрные), принципу действия (механические, химические, радиоактивные) и т.д.

При автоматическом управлении объектом сигнал от чувствительного элемента датчика, находящегося под непосредственным воздействием измеряемой величины, должен поступать к вторичному прибору в форме, удобной для использования в каналах АСР или АСУ.

Многообразие технологических производственных процессов определяет и разнообразие технических средств автоматизации.

Организационно-технической базой для разработки и совершенствования АСУ является *государственная система приборов* (ГСП), представляющая комплекс унифицированных и взаимозаменяемых устройств, предназначенных для получения, обработки и отображения информации.

Унификация приборов по техническим характеристикам позволила реализовать *блочно-модульное построение систем автоматизации* технологических процессов.

Основу блочно-модульного построения систем автоматизации составляет принцип унификации выходных сигналов. Применение принципа унификации выходных сигналов обеспечивает взаимозаменяемость, типизацию конструктивных решений и гибкость комплектации систем автоматизации. Изделия ГСП комплектуются на основе базовых конструкций с унифицированными структурами, параметрами модулей и сигналами. При этом под *модулем* понимается конструктивная типовая легкозаменяемая часть прибора.

Блок прибора — это конструктивно оформленная отделимая часть прибора, состоящая из модулей и деталей. Основными требованиями к конструктивному оформлению блока является удобство производства, монтажа и эксплуатации.

По функциональному признаку изделия ГСП делятся на четыре группы:

- обеспечивающие получение информации о состоянии технологического объекта управления (датчики);
- обеспечивающие преобразование информации о состоянии технологического объекта (преобразователи сигналов и кодов, коммутаторы измерительных цепей, устройства телеизмерения и телесигнализации);
- осуществляющие хранение и обработку информации с формированием управляющих воздействий (запоминающие устройства, задатчики, регуляторы, микропроцессоры и управляющие вычислительные системы и др.);
- обеспечивающие исполнение команд — устройства выдачи управляющей информации (электрические, пневматические, гидравлические и комбинированные исполнительные механизмы).

По способу представления информации изделия ГСП подразделяются на аналоговые и дискретные.

Приборы с аналоговой формой представления информации перерабатывают непрерывно изменяющиеся во времени электрические, пневматические и другие сигналы.

Дискретные сигналы, обрабатываемые изделиями ГСП, представляются в импульсной форме. Дискретные цифровые сигналы бывают с параллельным и последовательным представлением кодов. Характерной особенностью параллельной передачи и обработки дискретных цифровых сигналов с параллельным кодом является выделение линии связи с технологическим объектом управления для каждого разряда. При последовательной передаче цифровых сигналов используется одна линия связи, а множество дискретных сигналов передается друг за другом с распределением во времени.

По виду носителей информации изделия ГСП можно разделить на две группы: энергетическую и вещественную. В рамках энергетической группы (энергии) носителя сигналов изделия ГСП делятся на ветви: электрическую, пневматическую, гидравлическую и автономную. Приборы, использующие автономную энергию, получают ее от объекта измерения. Наиболее распространенной является электрическая ветвь изделий ГСП.

Вещественный вид носителей информации реализуется с использованием перфолент, перфокарт, магнитных лент и дисков, бланков и т.п.

Общей тенденцией развития процессов автоматизации является растущее число измерений неэлектрических величин, преобразованных в электрические величины. Для измерения электрических величин применяют измерительные приборы, часто называемые *вторичными приборами*. Они используются для получения сигнала измерения с выхода первичного измерительного преобразователя и преобразования этого сигнала в форму, удобную для дальнейшей передачи и использования.

Измерительные приборы являются важной составной частью многих измерительных систем. Их применяют с генераторными и параметрическими датчиками. В состав измерительных приборов часто входят усилители и другие вторичные преобразователи.

Измерительные приборы применяемые с генераторными датчиками, предназначены для восприятия сигнала с выхода генераторного датчика, т.е. сигнала, как правило, слабого и требующего от измерительного прибора высокой чувствительности. К таким приборам относятся *милливольтметры*, которые применяются, например, для измерения термоэлектродвижущей силы (термоЭДС) на выходе термопары.

Действие милливольтметра (рис. 2.35) основано на взаимодействии электромагнитного поля подвижной многовитковой рамки 1 из тонкой изолированной медной проволоки и магнитного поля постоянного магнита 2. Рамка связана с показывающей стрелкой (на схеме не показана). При прохождении электрического тока по виткам рамки возникает вращающий момент, который поворачивает рамку и соответственно стрелку относительно шкалы, отградуированной в градусах Цельсия. Угол поворота стрелки пропорционален термоЭДС, генерируемой термопарой. После отключения термопары рамка возвращается в исходное положение за счет противодействующего момента, создаваемого спиральными пружинами (на схеме не показаны).

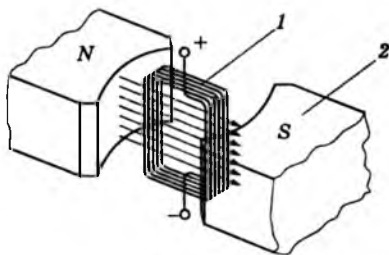


Рис. 2.35

Милливольтметры (показывающие и самопишущие) снабжаются корректорами для установки стрелки на нулевую отметку или на отметку, соответствующую температуре «холодного спая» термопары. Точность показаний милливольтметра невысокая и зависит от сопротивления соединительных проводов.

Для точных измерений применяют измерительные схемы, представляющие собой небалансные и балансные электрические мосты. Электрические мосты могут работать на постоянном и переменном токе.

В небалансных схемах используют непосредственные измерения выходной величины датчика. В балансных схемах выходную величину датчика уравнивают с помощью равной ей величины такого же рода. При этом совокупные действия этих величин полностью уравниваются — компенсируются. Поэтому такие схемы часто называются также *компенсационными*.

В небалансной мостовой схеме (рис. 2.36) для равновесия моста необходимо соблюдение равенства произведений сопротивлений накрест лежащих плеч моста: $R_1 R_3 = R_2 R_4$. В этом случае разность потенциалов в диагонали db будет равна нулю.

Если один из резисторов, например R_4 , будет переменным, то напряжение в диагонали db будет изменяться соответственно с изменениями его электросопротивления. Для измерения напряжения в измерительную диагональ db включают измерительный прибор, шкалу которого градуируют в единицах измеряемой неэлектрической величины, например в градусах Цельсия.

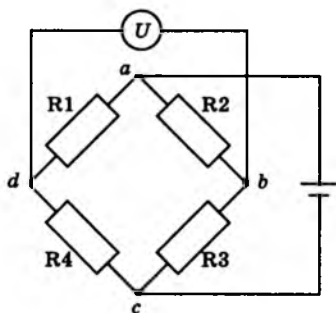


Рис. 2.36

Такая измерительная схема является примером небалансной системы, предназначенной для непосредственного измерения неэлектрической величины, например температуры выходной электрической величины датчика.

Балансная мостовая схема (рис. 2.37) всегда настраивается так, чтобы ток, проходящий через измерительный прибор, был равен нулю. Например, при изменении электросопротивления резистора R_4 при постоянных значениях сопротивления реохорда R_1 ,

резисторов R_2 и R_3 равновесие моста нарушится. Однако для каждого значения R_4 можно, перемещая движок реохорда R_1 , подобрать такое значение электросопротивления, при котором равновесие моста восстанавливается. Шкалу реохорда градуируют в единицах измеряемой неэлектрической величины, например температуры. В этом случае температуру среды, в которую помещен резистор R_4 , определяют по положению движка реохорда R_1 относительно шкалы.

В мостовых компенсаторах уравнивание мостовой схемы производится автоматически при помощи электродвигателя.

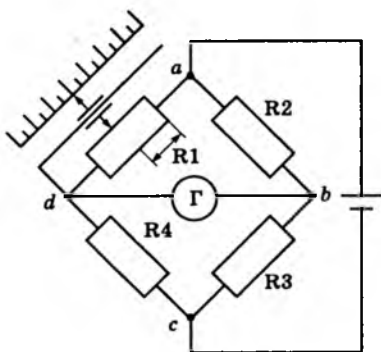


Рис. 2.37

Контрольные вопросы

1. В чем отличие статических характеристик первичных преобразователей и реле?
2. С какой целью трубчатые упругие элементы (трубки Бурдона) делают многовитковыми?
3. В чем принципиальная разница между струйными и дроссельными преобразователями расхода жидкостей (газов)?
4. Чем отличаются индукционные дифференциально-трансформаторные датчики от индукционных датчиков?
5. Какие виды энергии от посторонних источников питания применяют в усилителях?
6. Какие преимущества у электрических и электромагнитных исполнительных механизмов по сравнению с гидравлическими и пневматическими исполнительными механизмами?
7. Чем отличаются электромагнитные реле от электромагнитных контакторов?
8. В чем отличие тиристоров от симисторов?
9. Для чего предназначены оптроны?
10. В чем принципиальная разница между небалансными и балансными мостовыми измерительными системами?

ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Для управления объектами необходимо иметь сведения о количественных и качественных характеристиках технологических процессов. Эти сведения от средств контроля и сигнализации могут поступать в виде информации человеку для принятия соответствующих решений, а также быть использованы и без его участия автоматическими устройствами.

Работа АСУ начинается с измерений параметров. От того, с какой точностью измерена исходная величина, зависит результат дальнейшего преобразования в последующих элементах системы.

В литейном производстве измеряют температуру, давление, расход жидкостей, газов и сыпучих материалов, влажность газов и формовочных материалов, силу и массу, контролируют состав газов и плотность жидкостей, гранулометрический состав формовочного песка, уровень жидких и сыпучих материалов, скорость и положение деталей механизмов и машин. Применяют также приборы для автоматического контроля загрязнения воздуха, промышленных газов и сточных вод, для экспресс-анализа металлов и шлаков.

3.1. Принципы, методы и точность измерений

От точности измерения исходной величины зависит результат дальнейшего преобразования в последующих элементах системы управления.

Величины, измеряемые в системах автоматизации, можно классифицировать следующим образом:

- тепловые — температура, теплоемкость, энтальпия, теплота сгорания;
- силовые — сила, момент, давление, механическое напряжение;

- скоростные — скорость, ускорение, расход;
- физические — масса, плотность, влажность, влагосодержание, вязкость;
- структурные — твердость, пластичность, хрупкость;
- геометрические — положение тела, размер, форма, уровень;
- фотометрические — параметры волновых процессов (цвет, блеск);
- временные — промежуток, частота;
- электрические — напряжение (ЭДС), сила тока, проводимость, индуктивность, емкость;
- радиационные — интенсивность теплового, ядерного, акустического, электромагнитного излучения;
- химические.

Под *измерением* понимают определение числового соотношения между измеряемой величиной и некоторым ее значением, принятым за единицу сравнения (эталон). Измерения могут быть прямыми и косвенные.

При *прямых измерениях* величину x и результат ее измерения y находят из опытных данных и выражают в одних единицах.

При *косвенных измерениях* искомую величину y функционально связывают со значениями величин, измеряемых прямыми способами: $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Измерения производят с помощью измерительных приборов. Основные *методы измерений*: метод непосредственной оценки, метод сравнения с мерой (компенсационный) и нулевой метод.

Наиболее распространен метод непосредственной оценки, когда значение измеряемой величины определяют по отсчетному устройству прибора. В компенсационном методе измеряемую величину сравнивают с мерой. Сущность нулевого метода заключается в уравнивании измеряемой и известной величины. Этот метод используется в мостовых схемах измерений.

В зависимости от расстояния между местом проведения измерения и показывающим устройством различают локальные (местные), дистанционные и телеизмерения.

Характер протекания технологических процессов во времени может оцениваться по результатам периодических и непрерывных измерений. В последнем случае обычно пользуются записывающими измерительными устройствами.

Пассивный контроль параметров чаще производят по окончании технологического процесса на соответствие заданным значениям. При **активном контроле** полученные данные немедленно используются в ходе управления режимом работы управляемого объекта.

В зависимости от числа измеряемых величин методы могут быть подразделены на единичные и множественные.

Под **точностью измерения** понимают степень соответствия результата измерения истинному значению измеряемой величины (принятому за эталон). Различают лабораторные (точные) и технические измерения.

Погрешности измерений обусловлены неточностью измерительных средств. Различают абсолютную и относительную погрешности.

Абсолютной погрешностью называется разность $\Delta y(t)$ между измеренным и истинным значением величины,

$$\Delta y(t) = y(t) - A(t),$$

так как показание прибора $y(t)$ всегда будет отличаться от истинного значения измеряемого параметра $A(t)$.

При изменении истинного значения $A(t)$ по линейному закону (рис. 3.1) значения $y(t)$ в силу влияния погрешностей могут быть больше и меньше истинных значений. Система измерения (контроля) считается технически приемлемой, если максимально допустимые погрешности $\pm y_{\max}$ лежат в заданных пределах.

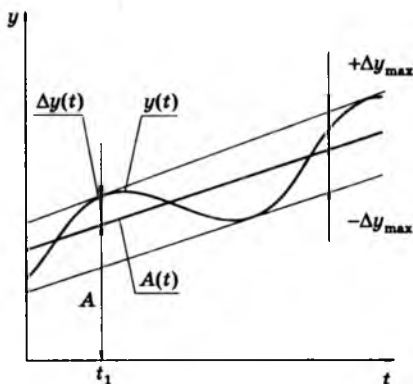


Рис. 3.1

Для упрощения методик измерения используют *относительную погрешность* ε , которая выражается отношением

$$\varepsilon = \frac{\Delta y(t)}{A(t)}.$$

При $\Delta y(t) \ll y(t)$

$$\varepsilon = \frac{\Delta y(t)}{y(t) - \Delta y(t)} = \frac{\Delta y(t)}{y(t) \left(1 - \frac{\Delta y(t)}{y(t)} \right)} \approx \frac{\Delta y(t)}{y(t)}.$$

Приведенная относительная погрешность ξ определяется в зависимости от используемого при измерении конкретного прибора с верхним пределом измерений N :

$$\xi = \Delta y(t) / N.$$

Класс точности прибора K численно равен наибольшей приведенной относительной погрешности, выраженной в процентах. Например, для манометра с диапазоном измерения 100 кПа и абсолютной погрешностью по всей шкале 2,5 кПа $\xi = 2,5 \%$ и соответственно $K = 2,5$. Класс точности указывают на шкале прибора обычно в окружности, выбирая из ряда: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0.

Различают измерения в нормальных условиях (атмосферное давление (760 ± 20) мм рт. ст., температура окружающей среды $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, относительная влажность $(60 \pm 20) \%$ при отсутствии вибрации, электрических и магнитных полей) и измерения в условиях, отличных от нормальных.

Погрешности измерений в нормальных условиях, когда воздействие возмущающих факторов на процесс измерения минимальное, называют *основными погрешностями*. При отклонении условий от нормальных появляются *дополнительные погрешности*, которые в зависимости от повторяемости подразделяют на систематические и случайные.

Систематические погрешности возникают по причинам постоянным или меняющимся по известной закономерности. Основные причины, вызывающие систематические погрешности, — неправильная установка приборов, дефекты градуировки, влияние

постоянных воздействий внешней среды (магнитные поля, вибрация) и т.п. Систематическая ошибка присутствует по всей серии измерений, ее значение постоянно или известен закон ее возрастания (убывания).

Случайными называются погрешности, не определенные по природе возникновения и значению. Это может быть параллакс при наблюдении, трение, появление зазоров (люфтов) в сопряженных деталях, изменение условий внешней среды и т.д.

Грубые погрешности (промахи) возникают вследствие субъективных причин, чаще всего по невнимательности исследователей.

Особыми видами погрешностей являются *методические погрешности*, появляющиеся в результате несовершенства метода измерения, и *инструментальные*, являющиеся следствием конструктивных недостатков средств измерения.

Оценка и учет погрешностей обычно производятся методами теории вероятностей и математической статистики.

3.2. Измерение температуры

Среди многочисленных параметров технологических процессов литейного производства одним из основных является температура. От температуры зависят литейные свойства расплавленного металла, структура отливок и ряд других показателей.

Температура — величина, характеризующая степень нагрева тела, представляющая собой меру внутренней энергии беспорядочного теплового движения молекул.

Единицей термодинамической температуры (T) является кельвин (K). Допускается также применение в качестве единицы температуры (t) — градус Цельсия ($^{\circ}C$). Между этими величинами существует соотношение: $t = T - T_0$, где $T_0 = 273,15 K$.

В системах автоматизации применяют приборы измерения температуры на основе первичных преобразователей с механическими и электрическими выходными сигналами и бесконтактные.

3.2.1. Приборы на основе преобразователей с механическими выходными сигналами

К средствам измерения температуры на основе преобразователей с механическими выходными сигналами (термометрам расширения) относят жидкостно-стеклянные, биметаллические, dilatометрические и манометрические термометры. Все перечисленные приборы различаются устройством первичных преобразователей, имеющих разные чувствительные элементы.

Жидкостно-стеклянные термометры являются местными измерительными приборами неавтоматического действия, предназначенными для измерения температур и визуального контроля непосредственно в технологических объектах (сушильных шкафах, воздушных коробах, емкостях с жидкостью и т.п.).

Достоинствами таких термометров являются невысокая стоимость, точность, надежность и простота эксплуатации. К недостаткам относятся: невозможность передачи показаний на расстояние и записи результатов измерений, а также затруднения при снятии показаний.

Приборостроительная промышленность выпускает термометры трех основных типов: технические, лабораторные и электроконтактные. Каждый из этих типов имеет ряд модификаций.

В системах автоматизации применяют технические и электроконтактные термометры.

Технический термометр состоит из стеклянной защитной оболочки, имеющей верхнюю выступающую и нижнюю погружную (хвостовую) части (рис. 3.2). Резервуар 1 соединен с капиллярной трубкой 2, имеющей малый внутренний диаметр. При нагревании резервуара заполняющая его жидкость увеличивается в объеме и поднимается вверх по капилляру. По высоте столбика жидкости относительно шкалы 3 определяют температуру контролируемой среды. Чем тоньше капилляр, тем чувствительнее термометр.

Жидкостные технические термометры используют в основном как показывающие приборы местного действия в интервале температур от -200 до 750 °С. В качестве термометрических жидкостей в них используются ртуть, толуол, этиловый спирт, керосин, эфир, ацетон, пентан и др.

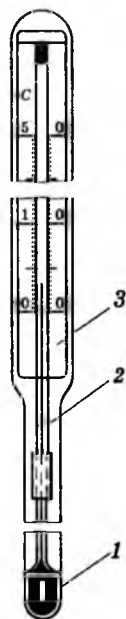


Рис. 3.2

Погружная часть термометра может быть прямой или согнутой под углом (рис. 3.3). При измерении температуры обязательным условием является погружение всей нижней части термометра в контролируруемую среду.

Ртутные термометры с преобразованием механического перемещения в электрический сигнал — *электроконтактные термометры* — применяют главным образом в качестве датчиков температуры. Ртуть является подвижным контактом. Вторым контактом могут быть вольфрамовые нити, впаянные (рис. 3.4, а) или опускаемые (рис. 3.4, б) в капилляр термометра. В последнем случае нить иногда снабжается задающим винтовым устройством. Сила электрического тока, проходящего через контакты, не должна превышать 0,5 мА при напряжении не более 0,3 В.

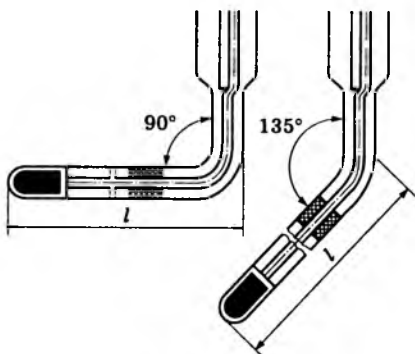


Рис. 3.3

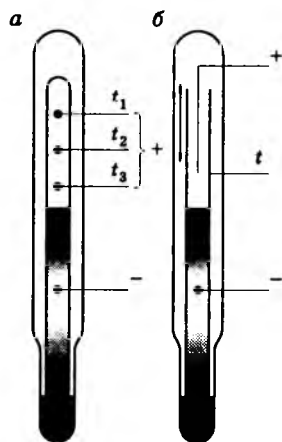


Рис. 3.4

Биметаллическими термометрами называют местные первичные преобразователи температуры с аналоговыми или дискретными электрическими и пневматическими выходными сигналами. Их используют в качестве показывающих приборов, а также сигнализаторов с одним и двумя электрическими контактами.

Действие таких термометров основано на однозначной зависимости между измеряемой температурой и деформацией чувствительного элемента — биметаллической пружины.

Схема устройства биметаллического реле температуры приведена на рис. 3.5. Реле состоит из биметаллической пластины 1 с электрическим подвижным контактом 2, винта-задатчика (неподвижного контакта) 3, предназначенного для изменения пределов срабатывания, изолирующей пластины 4, клемм 5 и защитных кожухов 6 и 7. Часть устройства, закрытую кожухом 7, погружают в измеряемую среду. При повышении температуры среды биметаллическая пластина искривляется и при заданной температуре происходит замыкание контактов 2 и 3. Соединительную линию системы контроля или управления подключают к клеммам 5.

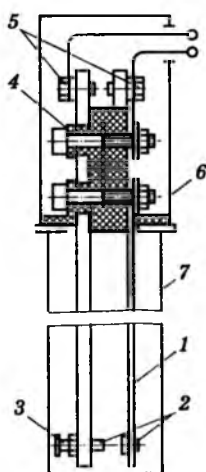


Рис. 3.5

Чувствительность таких реле определяется из выражения [3]

$$S = f/\Delta t,$$

где S — чувствительность, мм/°С; f — величина перемещения биметаллической пластины, мм; Δt — приращение температуры, °С.

Диапазон рабочих температур биметаллических реле 50...400 °С. Однако приборы изготавливают только на часть общего диапазона измерения, равную 30, 40, 50 °С и т.д. Погрешность измерений термометра $\pm 1,5...4,0$ %.

Достоинствами биметаллического термометра являются простота устройства и эксплуатации, дешевизна, высокая надежность, значительная разрывная мощность контактного устройства. К недостаткам относятся сравнительно большая инерционность, отсутствие дистанционной передачи показаний.

Дилатометрическими термометрами называют местные преобразователи температуры с дискретными электрическими и пневматическими выходными сигналами.

Действие термометров основано на разном изменении линейных размеров деталей чувствительного элемента первичного преобразователя в зависимости от температуры среды, в которую он погружен.

Схема dilatометрического реле температуры показана на рис. 3.6. Чувствительным элементом является металлическая трубка 1, изготовленная из материала с достаточно большим коэффициентом линейного расширения. Внутри трубки находится жестко соединенный с ней стержень 2 из материала с малым коэффициентом расширения. Другим концом стержень шарнирно соединен с рычагом 5, представляющим собой подвижный контакт замкнутой контактной группы 3. При погружении чувствительного элемента в измеряемую среду металлическая трубка при повышении температуры будет увеличивать свою длину в большей степени, чем стержень. Поэтому стержень 2, перемещая рычаг 5, при заданной температуре разомкнет контакты 3, связанные посредством клемм 4 с соединительной линией системы контроля или управления.

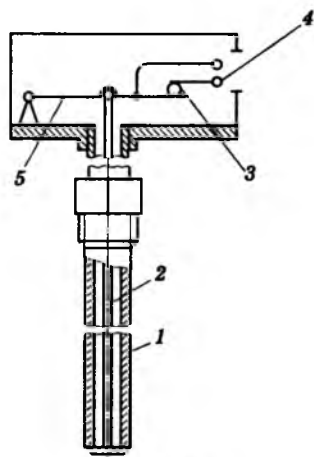


Рис. 3.6

Чувствительность dilatометрического термометра определяют из выражения [3]

$$S = \frac{l_n(\alpha_t - \alpha_c)}{1 + t_n(\alpha_t - \alpha_c)},$$

где S — чувствительность, мм/°С; t_n — начальная температура, °С; l_n — рабочая длина чувствительного элемента при температуре t_n , мм; α_t , α_c — температурные коэффициенты линейного расширения соответственно трубки и стержня.

Диапазон измеряемых температур $-30 \dots 1000$ °С разделен для каждого прибора на отдельные поддиапазоны: от -30 до 40 °С; от 0 до 100 °С и т.д. Погрешность срабатывания $\pm 1,5 \dots 4,0$ %.

Dilatометрические термометры дешевы, просты и надежны. В литейном производстве их применяют в системах контроля температуры в различных емкостях, бункерах и для позиционного регулирования.

Манометрические термометры являются техническими приборами, предназначенными для местного и дистанционного измерения температуры.

Принцип действия таких термометров основан на однозначной зависимости между измеряемой температурой и давлением термометрического вещества, заключенного в замкнутой системе постоянного объема. Манометрический термометр (рис. 3.7) состоит из первичного преобразователя 1 (термобаллона), соединительной металлической капиллярной трубки 2 с внутренним диаметром 0,2...0,3 мм, которая является средством передачи информации, и измерительного прибора 3 — манометра (показывающего или самопишущего). Все элементы термометра соединены между собой так, что их внутренние полости составляют один общий объем.

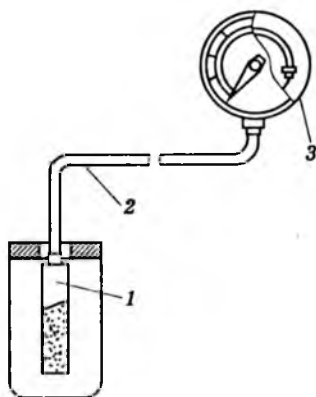


Рис. 3.7

Термобаллон 1 погружают в контролируемую среду, термометрическое вещество воспринимает значение измеряемой температуры, преобразует ее в давление внутри термобаллона, которое по капиллярной трубке 2 передается измерительному прибору 3. Прибор измеряет давление в этой замкнутой системе, но воспроизводит его в единицах температуры, в которых отградуирована его шкала.

В литейном производстве такие термометры применяют для измерения температуры в емкостях с мазутом, водой или компонентами формовочных смесей, а также температуры воздуха в сушильных шкафах.

В зависимости от свойств заполнителя манометрические термометры разделяют на газовые (азот), жидкостные (керосин, силиконовые жидкости и др.), конденсационные, или парожидкостные (ацетон, хладон-22, хлорметил, пропилен).

Общий диапазон температур, измеряемых техническими термометрами, составляет $-100...600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однако для уменьшения погрешности измерения рабочие шкалы приборов делают с короткими интервалами температур, например $-30...30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0...100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Погрешность термометров составляет $\pm 1,5...2,5\%$.

Соотношение между измеряемой температурой и давлением внутри термосистемы зависит от вида термометрического веще-

ства. *Газовые манометрические термометры* имеют наибольшее распространение из-за простоты заполнения термосистемы. Давление определяется из выражения [3]

$$P_{t_2} = P_{t_1} [1 - \beta(t_2 - t_1)],$$

где P_{t_2} — давление газа при температуре t_2 ; P_{t_1} — давление, соответствующее начальной отметке шкалы прибора; β — температурный коэффициент давления газа; t_1, t_2 — соответственно начальное и конечное значения измеряемых температур.

Жидкостные манометрические термометры менее распространены в промышленности из-за сложностей их производства. В них в качестве рабочих жидкостей для диапазона измеряемых температур $-40 \dots 150$ °C применяют метиловый спирт, $-30 \dots 600$ °C — ртуть.

Зависимость между измеряемой температурой и давлением внутри термосистемы жидкостных манометрических термометров является линейной:

$$P_{t_2} = P_{t_1} + \frac{\alpha}{\mu}(t_2 - t_1),$$

где P_{t_2} — давление жидкости внутри термосистемы при температуре t_2 ; P_{t_1} — начальное давление; α — коэффициент объемного теплового расширения при постоянном давлении; μ — коэффициент сжимаемости жидкости.

Преимуществами манометрических термометров являются большая чувствительность и малая инерционность, недостаток — дополнительные погрешности при расположении термобаллона выше или ниже измерительного прибора.

Парожидкостные манометрические термометры имеют меньшее распространение по сравнению с газовыми из-за трудностей изготовления. Их термосистема заполнена жидкостью и парами этой жидкости. Давление в термосистеме равно парциальному давлению паров жидкости.

Аналитически давление паров выражено быть не может. Термометры имеют неравномерную измерительную шкалу, что является их недостатком.

Достоинством всех описанных манометрических термометров является то, что для измерительной системы не требуется дополнительной энергии.

Описанные манометрические термометры являются приборами с ограниченной длиной дистанционной передачи показаний и не удовлетворяют требованиям комплексной автоматизации. Для увеличения дальности их действия до 1...2 км выпускают манометрические преобразователи с унифицированными электрическими и пневматическими выходными сигналами.

3.2.2. Термометры на основе преобразователей с электрическими выходными сигналами

К средствам дистанционного измерения температуры в сушильных, нагревательных и других подобных аппаратах относятся термометры сопротивления и термоэлектрические термометры.

Термометры сопротивления. Действие термометра сопротивления основано на зависимости электрического сопротивления металлических проводников от температуры.

Первичный *проволочный преобразователь сопротивления* (термосопротивление) состоит из платиновой или медной проволоки 2, бифилярно намотанной на слюдяную пластинку 1 (рис. 3.8, а). Сверху на пластинку наложены два защитных слоя слюды 3 и все это скреплено вместе металлической лентой. К выходным концам проволоки 2 припаяны металлические отводы 4, идущие внутри соединительной трубки 7 к зажимам, размещенным в головке 8 (рис. 3.8, б). Проволока является чувствительным элементом первичного преобразователя температуры. Выбор материала проволоки обусловлен пределами измеряемых температур: $-50...180\text{ }^{\circ}\text{C}$ — медь; $-200...500\text{ }^{\circ}\text{C}$ — платина.

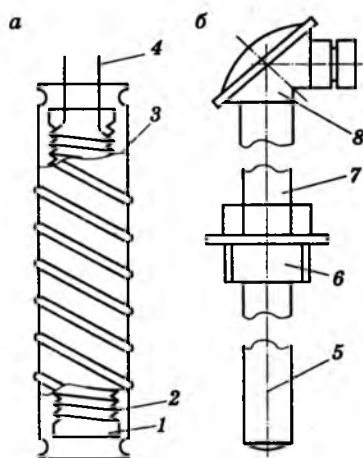


Рис. 3.8

Для предохранения от повреждений при эксплуатации чувствительный элемент устанавливают в защитный стальной трубчатый кожух 5 приваренный к штуцеру 6, который служит для резьбового крепления первичного преобразователя в стенке

теплового объекта таким образом, чтобы трубка 7 и головка 8 были с наружной стороны теплового объекта.

Зависимость между электрическим сопротивлением и температурой для платинового чувствительного элемента в диапазоне температур 0...500 °С определяют из выражения [3]

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2),$$

где R_t , R_0 — сопротивление соответственно при температуре 0 °С; A , B — постоянные коэффициенты, значения которых определяют градуировкой при температурах кипения кислорода и воды; t — температура.

В термометрах сопротивления, кроме проволочных преобразователей сопротивления, применяют полупроводниковые преобразователи сопротивления (термисторы). Полупроводниковые преобразователи отличаются по характеристикам от металлических. При значительно меньших размерах их температурный коэффициент сопротивления может быть в десятки раз больше.

Термисторы представляют собой твердые полупроводники (германий, оксиды меди, марганца, титана). Их сопротивление при нагреве резко снижается. Термисторы применяются при температурах до 600 °С. Использование термисторов позволяет изготавливать очень малые по размерам чувствительные элементы. В литейных технологических процессах их используют в переносных вспомогательных приборах для быстрого измерения температуры отливок.

В качестве *измерительных приборов* в термометрах сопротивления применяют логометры и компенсаторы мостовые.

Логометр — прибор магнитоэлектрической системы, расположенной в закрытом корпусе, на лицевой стороне которого находится профильная шкала с подвижной стрелкой. Подвод питания и подключение первичного преобразователя осуществляются при помощи зажимов, размещенных на задней стенке. В закрытом корпусе прибора размещена также мостовая небалансная схема.

Небалансная измерительная схема вместе с магнитоэлектрической системой логометра является разновидностью мостовой схемы (рис. 3.9).

В магнитоэлектрической системе логометра подвижная часть 4 имеет две рамки 1 и 2, расположенные в магнитном поле посто-

янного магнита 3. Рамки 1 и 2 включены в мостовую схему. При прохождении электрического тока через рамки они создают противоположно направленные крутящие моменты M_1 и M_2 , равные друг другу при равных токах. В исходном состоянии равенство токов обеспечивается соответствующим подбором резисторов R_1 , R_2 и R_t .

Резистор R_t является первичным преобразователем температуры в электрическое сопротивление и помещается в тепловом объекте. Поэтому при изменении температуры объекта меняется сопротивление резистора R_t и соответственно токи в рамках становятся неравными. Возникает разность моментов M_1 и M_2 , и подвижная система, связанная с показывающим или регулирующим устройством, поворачивается на соответствующий угол до тех пор, пока моменты не уравниваются. Шкала логометра градуируется в единицах температуры ($^{\circ}\text{C}$).

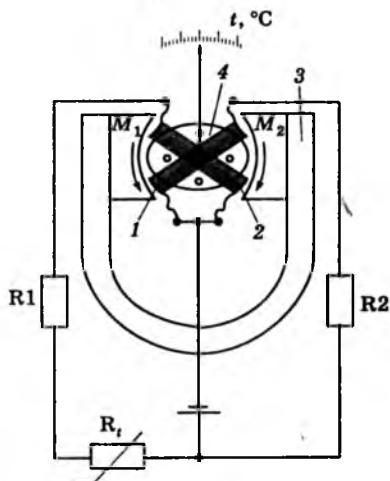


Рис. 3.9

При необходимости автоматического контроля температуры с высокой точностью в термометрах используются балансные мостовые измерительные схемы (рис. 3.10). Значение разбаланса, получившегося в результате измерения температуры, поступает на входные клеммы электронного усилителя ЭУ.

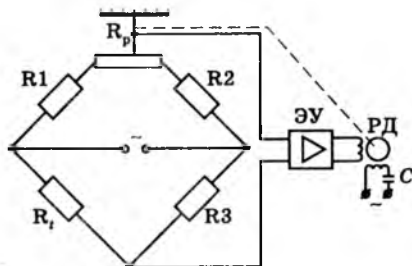


Рис. 3.10

Усиленный по напряжению и мощности сигнал проходит по управляющей обмотке реверсивного двигателя РД, что вызывает вращение ротора. Ротор изменяет положение подвижного контакта реохорда R_p , приводя систему в состояние равновесия. Таким образом система уравнивается автоматически при помощи реверсивного электродвигателя.

Автоматические уравновешенные мосты — *компенсаторы мостовые* показывающие и самопишущие являются стационарными одно- и многоточечными автоматическими приборами. Они различаются размерами, конструкциями регистрирующих и дополнительных устройств, количеством подключаемых к ним первичных преобразователей. Например, компенсаторы самопишущие мостовые КСМ-2 и КСМ-3. КСМ-2 является одновременно показывающим и самопишущим прибором. Запись производится на движущейся диаграммной ленте. Скорость перемещения ленты может иметь несколько значений. Изменение скорости производится перемещением рычажной системы, размещенной за открывающейся передней крышкой прибора. КСМ-3 также является показывающим и самопишущим, но запись измеряемой величины производится в течение суток на круглой диаграмме. Имеются также компенсаторы показывающие малогабаритные и с широкой диаграммной лентой.

Класс точности компенсаторов составляет 0,25, 0,50 и 1,00 в зависимости от их типа. Электрические схемы всех компенсаторов схожи между собой.

Термоэлектрические термометры. Упрощенная схема термоэлектрического термометра (рис. 3.11) включает термопару — два разнородных проводника 1 и 3, имеющих спай 2, и измерительный прибор 5 (гальванометр или милливольтметр), подключенный к проводникам в точках 4. Спай 2 называют *горячим спаем*, а точки 4 — *холодным спаем термопары*.

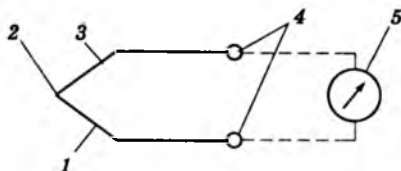


Рис. 3.11

Работа термопары основана на зависимости контактной разности потенциалов (между двумя разнородными металлами) от температуры (табл. 3.1). В первом приближении термоЭДС термопары является линейной функцией разности температур $\Delta t = t_1 - t_2$ (t_1 и t_2 — температура соответственно горячего и холодного спаев термопары). Величина термоЭДС при разности температур 100 °С составляет несколько милливольт. Так как температура t_2 постоянна, результаты измерения фактически являются функцией температуры горячего спае t_1 . Положительным считают электрод, по которому ток протекает от горячего спае к холодному.

Таблица 3.1

Характеристики некоторых типов термопар

Тип термопары	Обозначение	Рабочий диапазон длительного режима работы, °С	Максимальная температура крат- ковременного ре- жима работы, °С
Медь-копелевая	МК(М)	-200...100	—
Хромель-копелевая	ХК(Л)	-50...600	800
Хромель-алюмелевая	ХА(К)	-200...1000	1300
Платинородий (10 % родия)-платиновая	ПП(С)	0...1300	1600
Платинородий (30 % родия)-платиноро- диевая (6 % родия)	ПР 30/6(В)	-300...1600	1800
Вольфрамрений (5 % рения)-вольфрамре- ниевая (20 % рения)	ВР 5/20-1(А)	0...2200	2500

Примечание. Используют также медь-копелевые, медь-медноникелевые (типа Т) и близкие к ним медь-константановые термопары (рабочий диапазон 200...400 °С), железо-медноникелевые и близкие к ним железо-константановые (типа J) термопары (рабочий диапазон 200...700 °С).

В термоэлектрических термометрах используют термопары (рис. 3.12), представляющие собой два электрода из проволоки диаметром 0,5...3,2 мм. Концы 1 электродов 3, скрученные и сваренные между собой, помещены в изоляционный фарфоровый

наконечник 2. Электроды изолированы друг от друга одноканальными или двухканальными фарфоровыми бусами 4. Для защиты термопары от механических воздействий она помещается в защитный кожух (чехол) 5.

Чехлы для термопар при измерении температур до 1000°C изготавливают из стальных трубок. Металлические чехлы обеспечивают защиту от механических повреждений, тепловых ударов и окисления. Однако в присутствии печных газов такой защиты может быть недостаточно. Поэтому для защиты термопары от газов иногда применяют еще одну трубку из плавленого кварца, помещенную в наружную трубку из металла, карбида кремния или керамики.

При измерении температур выше 1300°C применяются фарфоровые или карборундовые чехлы. К недостаткам фарфоровых чехлов следует отнести малую сопротивляемость резким перепадам температуры.

Для кратковременных измерений температуры жидкого металла применяют кварцевые чехлы, для длительных — чехлы из окисной керамики, графита, карбида кремния и др.

В связи с тем что механическая прочность чехлов из неметаллических материалов невысока, термопары часто выходят из строя вследствие их разрушения.

В головке термопары 6 (см. рис. 3.12) помещается пластмассовая панель 7, к которой прикреплены клеммы 8. На одной из них указана положительная полярность. Для защиты клеммы термопары от пыли и влаги головка ее закрывается крышкой 9, а соединительные провода выводятся через штуцер 10 с асбестовым уплотнением. Штуцер 11 служит для резьбового крепления термопары в стенке оборудования таким образом, чтобы ее элементы 6–9 были с наружной стороны.

Термопару подключают к измерительному прибору компенсационными проводами. В измерительный прибор обычно входит узел стабилизации температуры холодного спая. Компенсационные провода выполняют из тех же материалов, что и термопару.

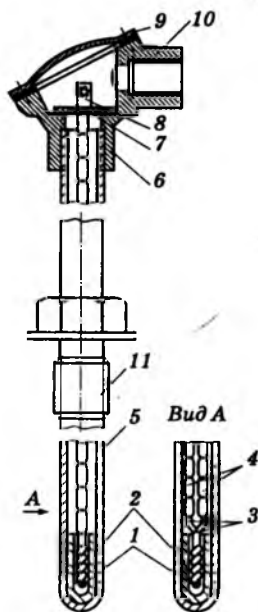


Рис. 3.12

В термоэлектрических термометрах, предназначенных для измерения температуры поверхности объекта, используют термопары, электроды которых представляют тонкие ленты. В этом случае рабочий спай сварен встык и раскатан (рис. 3.13). Упругость ленты обеспечивает хороший контакт между термопарой и поверхностью, температура которой измеряется.

Градуировка термоэлектрического термометра производится по критическим точкам металлов или солей, температуры плавления и затвердевания которых точно известны. На рис. 3.14 показана схема установки для определения критических точек металлов и сплавов. Установка состоит из тигельной электропечи 1, термопары 2, милливольтметра 3 и термостата 4.

Плавление металлов, например олова, свинца, цинка или сурьмы, производят в тигельной электропечи. Для предотвращения окисления поверхность жидкого металла обычно засыпают слоем толченого угля.

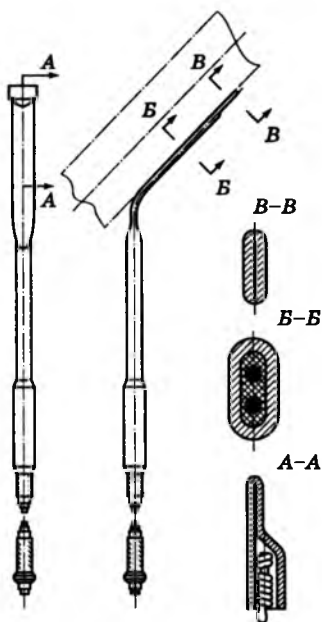


Рис. 3.13

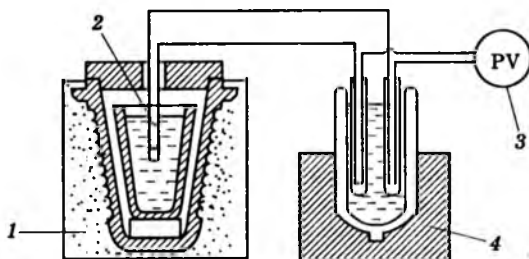


Рис. 3.14

В расплавленный и немного перегретый металл погружают горячий спай термопары. Проволоки термопары изолируют от расплавленного металла и друг от друга фарфоровыми или

кварцевыми трубками. Холодный спай термопары погружается в термостат, в котором поддерживается постоянная температура — 0°C . Соединительные провода подключаются к милливольтметру.

После установки термопары печь выключают и происходит охлаждение металла. Через определенные короткие одинаковые промежутки времени (15...30 с) записывают показания милливольтметра. Охлаждение расплавленного металла идет в соответствии с кривой охлаждения. При кристаллизации температура металла не изменяется и показания милливольтметра будут соответствовать температуре затвердевания. Таким же образом снимают показания для других металлов. Температура плавления олова 232°C , свинца 327°C , цинка 419°C и серебра 960°C . По показаниям милливольтметра строят градуировочную кривую данного термоэлектрического термометра (рис. 3.15).

В зависимости от техники измерения термопары соединяют последовательно, параллельно и встречно.

Последовательное соединение термопар (рис. 3.16) применяют для получения большей термоЭДС (например, при измерении температур $100\ldots150^{\circ}\text{C}$). Последовательно соединенные термопары называются *термобатареей*.

Для измерения средней температуры в нескольких точках одновременно применяют параллельное соединение нескольких термопар (рис. 3.17).

При необходимости получения разности температур в двух точках объекта термопары включаются одна навстречу другой. Такая термопара называется *дифференциальной* (рис. 3.18).

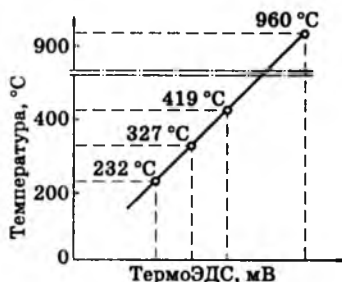


Рис. 3.15

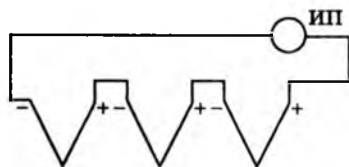


Рис. 3.16

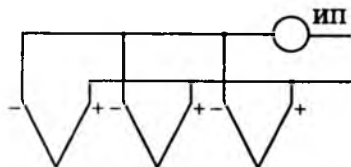


Рис. 3.17

Термоэлектрические термометры используют для сигнализации и регулирования.

К достоинствам термоэлектрических термометров можно отнести простоту конструкции, возможность передачи показаний на значительное расстояние, а также возможность автоматической записи показаний. Недостатком таких термометров является влияние температуры свободных концов термопары на результаты измерения.

Измерительные приборы, работающие с термоэлектрическими термопарами, — пирометрические милливольтметры и автоматические мостовые компенсаторы.

Пирометрические милливольтметры — дистанционные измерительные приборы. По внешнему виду шкалы они подобны логометрам. Милливольтметры бывают показывающие и самопишущие.

С помощью стандартного щеточного переключателя к одному милливольтметру можно поочередно подключать до 20 термопар одного типа, размещенных на различных расстояниях от прибора.

Магнитоэлектрическая система прибора по конструкции узлов идентична с устройствами вольтметров и амперметров постоянного тока.

Класс точности пирометрического милливольтметра 1,5; шкалы имеют диапазоны: 0...300 °C, 0...500 °C и т.д.

Пирометрические милливольтметры применяют в тех случаях, когда отсутствует вибрация и не требуются измерения высокой точности.

Компенсационный метод измерения термоЭДС разработан с учетом недостатков пирометрического милливольтметра. Основан на уравнивании термоЭДС термопары и известного падения напряжения на калиброванном сопротивлении (реохорде), используемом в потенциометрах.

Упрощенная принципиальная схема потенциометра показана на рис. 3.19. Уравнивающее напряжение в этой схеме создается с помощью ЭДС бата-

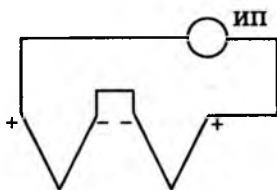


Рис. 3.18

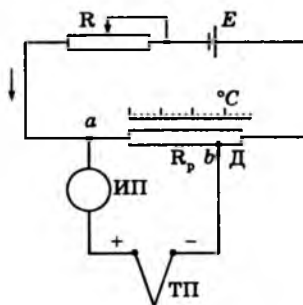


Рис. 3.19

реи E . Падение напряжения на реохорде R_p сравнивается с термоЭДС термопары ТП. Для поддержания неизменного по величине тока в цепи источника питания служит реостат R .

Термопару ТП присоединяют таким образом, чтобы измеряемая термоЭДС была направлена навстречу напряжению, снимаемому с реохорда. Передвигая движок D реохорда, добиваются такого положения, при котором напряжение между точкой a и подвижным контактом b движка будет равно измеряемой термоЭДС. Признаком достижения компенсации будет отсутствие тока на измерительном приборе ИП (стрелка прибора покажет ноль), а положение точки b относительно шкалы, отградуированной в градусах Цельсия, будет соответствовать измеряемой температуре.

В системах автоматизации применяются компенсаторы потенциметрические показывающие (КПП) и самопишущие (КПС) — стационарные приборы для измерения температуры в одной или нескольких точках технологического объекта. Переключение измерительных цепей и регистрация измерений осуществляются без участия человека. Электрические схемы всех типов компенсаторов и входящие в них блоки и модули однотипны.

Упрощенная принципиальная электрическая схема *автоматического мостового компенсатора* представляет собой четырехплечий мост (рис. 3.20). С одной диагонали моста ab снимается сигнал измеряемой величины, в другую диагональ cd подводят питание от стабилизированного источника постоянного тока (ИПС). В электрической цепи различают два контура прохождения тока:

- рабочий, включающий в себя резисторы R_1 , R_2 , служащие для подгонки начала и конца шкалы, и реохорд R_p ;
- вспомогательный, состоящий из резисторов R_3 и R_4 . Резистор R_3 служит для компенсации температуры холодных спаев, резистор R_4 — для ограничения тока питания.

В рабочем контуре ток проходит против часовой стрелки, во вспомогательном — по часовой.

Принцип действия электрической схемы основан на уравнивании напряжения, развиваемого термопарой ТП, падением напряжения на реохорде R_p . В связи с тем что в потенциометре использован стандартный усилитель переменного тока $У$, а термопара генерирует постоянный ток, то на входе усилителя для

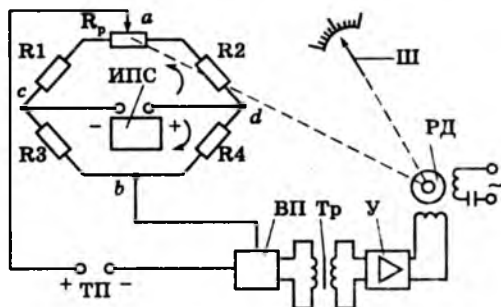


Рис. 3.20

преобразования постоянного тока в переменный установлен вибрационный преобразователь ВП, работающий в комплексе с трансформатором Тр. Изменение температуры измеряемой среды приводит к разбалансу в электрической схеме. Для приведения схемы в равновесное состояние служит РД, который с помощью механической передачи (показана пунктиром) перемещает движок по реохорду до достижения состояния равновесия. Одновременно с перемещением реохорда перемещается и стрелка прибора, которая на шкале Ш, отградуированной в градусах Цельсия, показывает величину измеряемой температуры. Число подключаемых к компенсатору преобразователей может быть 1, 3, 12 и 24. Класс точности в зависимости от вида потенциометра составляет 0,25; 0,5; 1.

Измерительная система компенсаторов может иметь различные дополнительные устройства.

Основными преимуществами компенсационного метода измерения термоЭДС по сравнению с измерением с помощью милливольтметра являются большая точность и чувствительность.

3.2.3. Бесконтактные приборы

Большинство измерений температуры в технологических процессах литейного производства осуществляют при помощи приборов с контактными первичными преобразователями. Однако иногда их применение становится малоэффективным из-за разрушения чувствительного элемента под воздействием высоких (выше 600 °С) температур. В таких случаях применяют бесконтактные приборы — *пирометры излучения*. Действие пирометров

основано на зависимости параметров излучения от температуры измеряемого тела или среды. Пирометры бывают яркостные, радиационные и цветовые.

К тепловому (инфракрасному) излучению относят электромагнитные колебания с длиной волны $\lambda = 0,8 \dots 80,0$ мкм (видимая красная часть спектра имеет $\lambda = 0,4 \dots 0,8$ мкм).

Излучение реальных тел зависит от их температуры, длины волны (на которой измеряется температура) и состояния поверхности этих тел.

Пирометры излучения удобно применять для измерения температуры твердых тел и жидкостей с непрерывным спектром излучения. При измерении температуры газов и паров, имеющих линейчатые или полосовые спектры, используют огнеупорные «черные» трубки (рис. 3.21), которые помещают в измеряемую среду. Пирометром 1 измеряют температуру трубки 2 и, следовательно, температуру окружающей ее среды.

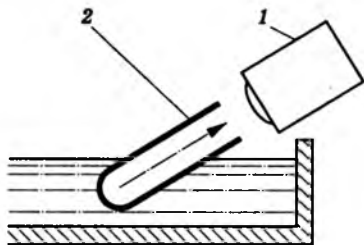


Рис. 3.21

Пирометр изготавливают в виде ручного или стационарно устанавливаемого прибора, состоящего из оптической системы, чувствительного элемента (приемника излучения), воспринимающего излучение, и измерительной схемы. В качестве *приемника излучения* в пирометрах используют фотоэлементы, фототранзисторы, фотодиоды, фотоумножители, термопары или термобатарей из нескольких последовательно включенных термопар.

Прибор визируется на поверхность, излучающую тепло: нагреваемые изделия или струю жидкого металла. Тепловое излучение направляется на приемник излучения оптической системой. Для уменьшения поглощения излучения в оптической системе используют тонкие стекла из кварца и других материалов, прозрачных для инфракрасного и ультрафиолетового излучения. Для выделения в световом потоке какой-либо части спектра применяют светофильтры.

На точность измерения оказывает влияние состояние промежуточной среды, находящейся между объектом измерения и пирометром. Частичное поглощение излучения пылью, дымом и па-

рами, содержащимися в среде между измеряемым телом и пирометром, ослабляет излучение. Существенное влияние на показания пирометров оказывает изменение *коэффициента излучения* измеряемого тела.

Коэффициент излучения одного и того же материала тела в зависимости от состояния его поверхности может различаться в 2...3 раза (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Значения коэффициента излучения некоторых материалов при разном состоянии поверхности тел

Материал	Температура, °С	Коэффициент излучения
Жидкий чугун:	1100...1300	0,90...0,95
поверхность покрыта оксидами		
поверхность свободна от оксидов	Выше 1375	0,40
Жидкие шлаки	—	0,65
Сталь неокисленная жидкая	—	0,37...0,40
Сталь окисленная	800	0,98

Примечание. Коэффициент измерен при $\lambda = 0,65$ мкм.

Погрешность, вызываемая изменением коэффициента излучения, у радиационных пирометров может достигать сотен градусов. В то же время для пирометров спектрального отношения она не превышает десятков градусов.

В *визуальном яркостном пирометре* с исчезающей нитью (рис. 3.22) с помощью оптической системы 2 и окуляра 5 фокусируется изображение исследуемого тела 1 на плоскость, в которой

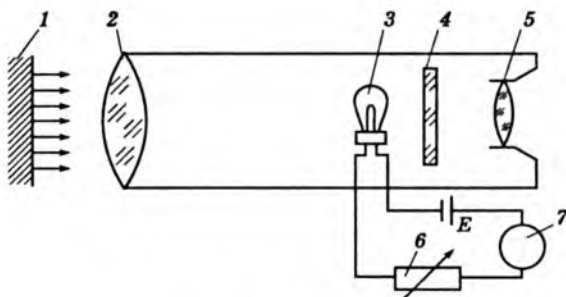


Рис. 3.22

расположена нить эталонной лампы накаливания 3. Изменяя ток накала нити реостатом 6, добиваются выравнивания яркостей нити лампы накаливания и исследуемого тела. Ток накала фиксируют миллиамперметром 7 (его шкала обычно отградуирована в °С). В состав пирометра входят также источник питания *E* и красный фильтр 4. Измеряемая температура находится в пределах от 600 до 2000 °С.

Современные яркостные пирометры бывают квазимонохроматические и монохроматические. *Квазимонохроматические пирометры* обычно работают в инфракрасном спектре. Они измеряют энергию излучения одной волны, используя для этого силиконовые или тонкопленочные детекторы (датчики).

Монохроматические пирометры работают на длине волны от 0,65 до 8,80 мкм. На точность их показаний могут влиять сильные электромагнитные поля и загрязнение (запыление, задымление или влажность) окружающей среды.

Радиационные пирометры, или пирометры полного излучения, служат для определения температуры поверхности нагретых тел измерением мощности полного излучения.

Комплект пирометра состоит из телескопа и вторичного измерительного прибора (рис. 3.23). В корпусе телескопа 6 находится оптическая система (линза 1 и диафрагма 2), служащая для направления и фокусирования потока лучистой энергии от исследуемого объекта на термопреобразователь 3. Для фокусирования термопреобразователя на точку с характерной температурой предусмотрен окуляр 5 с затемненным стеклом 4.

В качестве термопреобразователя используют батарею миниатюрных термопар, преобразователей сопротивления или различные полупроводниковые фоторезисторы. Электрический сигнал

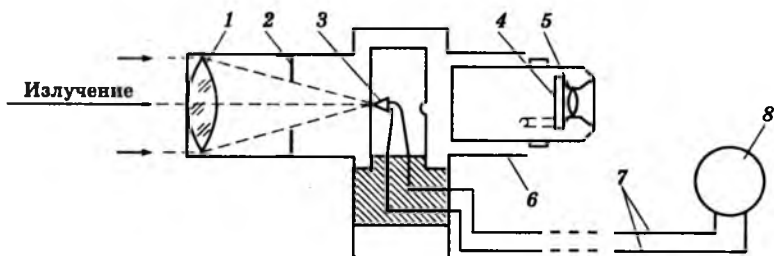


Рис. 3.23

от термопреобразователя по соединительной линии 7 передается вторичному измерительному прибору 8, которым может быть потенциометрический (мостовой) компенсатор или прибор токовой унифицированной системы. Поскольку радиационные пирометры градуируют по излучению абсолютно черного тела, устанавливать первичные преобразователи в технологические объекты следует в специальных керамических стаканах. Измерительные приборы монтируют по месту или на щитах.

Действие *цветовых пирометров* основано на использовании зависимости цветového излучения поверхности нагретого тела от его температуры. В первичных преобразователях пирометров монохроматический световой поток разделяется на два потока с разными длинами волн. Разделение осуществляется с помощью вращающегося с постоянной частотой диска, в который вмонтированы два разных узкополосных светофильтра. Оба потока волн улавливаются отдельными чувствительными элементами и в виде электрических сигналов направляются на промежуточный преобразователь, с которого в форме одного суммированного сигнала направляются к стандартному измерительному прибору (рис. 3.24). Поток излучения тела 1 направляется оптической системой на кубическую призму 3, где разделяется на два потока. Один поток поступает на визирующее устройство 4, а другой (преломленный) — проходит через фокусирующие линзы и термостатирующее устройство на фотосопротивление 9. Диск 11 с красным и синим узкополосными светофильтрами вращается

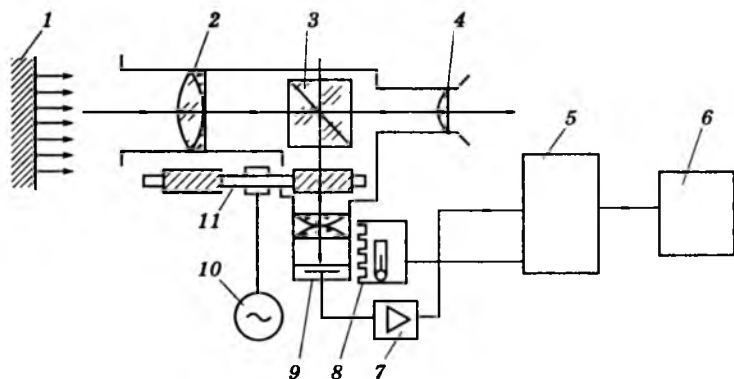


Рис. 3.24

микроэлектродвигателем 10. Амплитуды импульсов напряжения U_1 и U_2 , полученные с фотоэлемента, пропорциональны потокам излучения, прошедшим через светофильтры от излучаемого тела. Усилителем 7 сигнал передается на детекторно-суммирующее устройство 5 и преобразуется в аналоговую ЭДС, измеряемую потенциометрическим прибором 6. Сигнал от термостатического устройства 8 вносит поправку на температуру.

Цветовые пирометры предназначены для измерения температуры выше $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ с основной погрешностью $\pm 1\%$. На результаты измерения влияет наличие пыли с частицами размером меньшим, чем эффективная длина волны.

В современных пирометрах обработка данных, полученных при измерении, выполняется встроенными вычислительными устройствами. При этом возможно внесение различных поправок, уточняющих результат измерения.

Существуют и разрабатываются пирометры спектрального отношения, в которых тепловое излучение разделяется на несколько частей при пропускании через несколько установленных друг за другом полупроводниковых фильтров. Применение таких конструкций позволяет избежать влияния пыли, дыма, газов и паров, присутствующих в окружающей среде, на показания пирометров.

Использование оптоволоконных кабелей (световодов) для передачи светового потока приемнику излучения позволяет проводить измерения в труднодоступных местах или в тех случаях, когда измеряемая поверхность находится не в прямом поле зрения. Кроме того, оптоволоконный кабель не подвержен влиянию сильных электромагнитных полей, устойчив к большим давлениям или вакууму. Однако максимальная температура эксплуатации оптоволоконного кабеля в промышленных образцах приборов не превышает $130\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.3. Измерение давления и разности давлений

Давлением называется равномерно распределенная сила, действующая перпендикулярно на единицу площади тела.

Различают давление: атмосферное (барометрическое), избыточное (манометрическое), меньше атмосферного (вакуум, или разрежение) и абсолютное (полное).

Атмосферное давление — это давление воздушного столба земной атмосферы.

Избыточное давление в замкнутом пространстве — это избыточное по сравнению с атмосферным давлением.

Абсолютное давление $p_{абс}$ в замкнутом пространстве определяется по формулам

$$p_{абс} = p_б + p_и,$$

$$p_{абс} = p_б - p_в,$$

где $p_б$ — давление барометрическое; $p_и$ — давление избыточное; $p_в$ — давление вакуумметрическое.

В СИ единица измерения давления — **паскаль**. Паскаль (Па) равен давлению, вызываемому силой 1 Н, равномерно распределенной по нормальной к ней поверхности площадью 1 м², т.е. 1 Па = 1 Н/м². В технике единица измерения давления 1 кгс/см² = 1 ат (атмосфера техническая). Допустимо измерять давление в миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.) и миллиметрах водяного столба (мм вод. ст.); 1 мм рт. ст. = 133 Па, 1 мм вод. ст. = 9,80638 Па.

Приборы для измерения давления классифицируют по величине измеряемого давления и по принципу действия.

В зависимости от величины измеряемого давления приборы делятся:

- на манометры — для измерения избыточного давления;
- дифференциальные манометры — для измерения разности давлений;
- вакуумметры — для измерения вакуума;
- мановакуумметры — для измерения избыточного давления и вакуума;
- тягомеры — для измерения небольшого разрежения;
- напоромеры — для измерения небольшого избыточного давления;
- тягонапоромеры — для измерения давления в диапазоне от -2500 до 2500 мм вод. ст.;
- микроманометры — для измерения давления в диапазоне от -250 до 250 мм вод. ст.

По принципу действия приборы разделяются на следующие группы:

- жидкостные, в которых давление (разрежение) уравновешивается давлением столба жидкости, заполняющей прибор;

- пружинные, в которых давление определяют по величине деформации упругого элемента — трубчатой пружины, мембраны, сильфона (гармониковой мембраны);
- поршневые, в которых давление определяется внешней силой (грузом), действующей на поршень определенной площади.

3.3.1. Жидкостные приборы

В основу работы жидкостных приборов для измерения давления положен гидростатический принцип.

Наиболее простым по конструкции является *жидкостный U-образный манометр* (рис. 3.25), представляющий собой прозрачную стеклянную трубку, согнутую в форме латинской буквы U, укрепленную на вертикальном основании со шкалой и до половины заполненную жидкостью (ртутью, водой и др.). Один конец трубки соединяют с объектом, в котором необходимо измерить давление, а другой оставляют открытым. В отсутствие избыточного давления среды уровень жидкости в обоих коленях находится на нулевых отметках. В зависимости от величины $p_{абс}$ уровень жидкости в одном колене манометра опустится, а в другом поднимется на такую же величину.

Давление (разрежение) определяют по формуле

$$p = h \rho,$$

где h — разность высот рабочей жидкости в трубках (мера измеряемого давления); ρ — плотность рабочей жидкости.

Высота h в таком манометре зависит только от давления и плотности жидкости и не зависит от формы и сечения трубок.

U-образные манометры применяют для измерения давления газов и жидкостей до 0,1 МПа, а также малых отрицательных давлений и разности давлений.

Наибольшая абсолютная погрешность U-образных манометров вследствие неточности отсчета высоты столба жидкости в двух коленях составляет ± 1 мм столба рабочей жидкости.

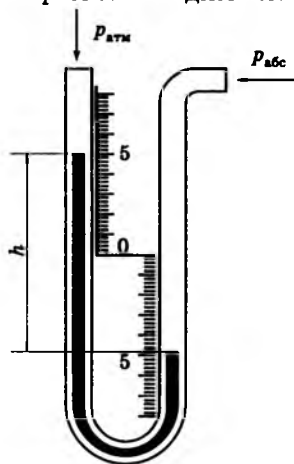


Рис. 3.25

Более удобным является *чашечный (однотрубный) манометр* (рис. 3.26), который состоит из измерительной трубки 1, соединенной с сосудом большего диаметра 2. Газ под давлением подводится к сосуду 2, а конец трубки остается открытым. При этом объем жидкости, вытесненной из сосуда, равен объему жидкости, поднявшейся в трубке. При измерении давления отсчет производится по измерительной трубке.

Для измерения малых давлений (разрежений) порядка нескольких десятков миллиметров вод. ст. применяются *чашечные микроманометры (напоромеры)* с наклонной трубкой.

К достоинствам жидкостных манометров можно отнести малую погрешность, простоту устройства, дешевизну, быстроту установки и пуска, взрывобезопасность.

Недостатками этих приборов являются хрупкость, плохая видимость шкалы, необходимость введения поправки при отклонении температуры окружающей среды от градуировочной, а также малый диапазон измерения, невозможность дистанционной передачи и автоматической записи показаний. Кроме того, возможен выброс рабочей жидкости при внезапном увеличении давления.

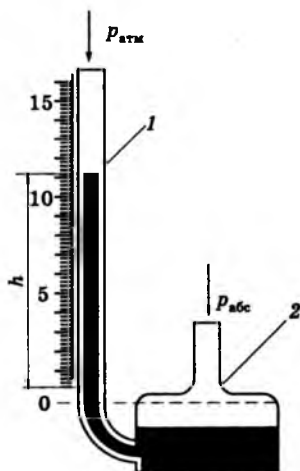


Рис. 3.26

3.3.2. Пружинные приборы

Пружинные приборы используют для измерения избыточного давления и разрежения.

Действие пружинных приборов основано на деформации упругих элементов под действием измеряемого давления. Давление (разрежение) определяется по величине упругой деформации чувствительного элемента.

Манометры с одновитковой трубчатой пружиной (рис. 3.27) служат для измерения избыточного давления жидкости или газа в технологическом оборудовании. Чувствительными элементами этих приборов являются упругие трубки овального или эллипти-

ческого сечения, изогнутые по окружности на $180...270^\circ$. Величина перемещения запаянного конца трубчатой пружины под воздействием давления составляет несколько миллиметров.

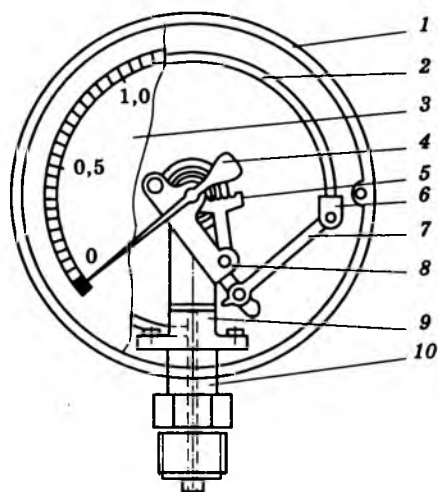


Рис. 3.27

Основными частями технического манометра [3] являются круглый корпус 1, во внутренней части которого установлен кронштейн 9. К кронштейну припаяна одновитковая трубчатая пружина 2. Ее внутренняя полость сообщается с внутренним каналом штуцера 10. По этому каналу жидкость или газ подводится во внутреннюю полость пружины, которая, воспринимая давление, упруго деформируется. Свободный конец пружины 2 вместе с серьгой 6, воздействуя на тягу 7, поворачивает зубчатый сектор 5 на некоторый угол относительно оси 8. Одновременно сектор 5 своей зубчатой передачей поворачивает ось со стрелкой 4, которая показывает значение измеряемого давления на шкале 3.

Манометры с одновитковой трубчатой пружиной выпускают с пределами измерения от 1 до 1000 МПа.

Манометры аналогичной конструкции применяются также и для измерения вакуума. Шкалы вакуумметра градуируются в мм рт. ст. с пределом измерения 760 мм рт. ст.

Технические манометры изготавливают с электрическими контактными устройствами, которые используют для сигнализации о достижении предельных значений давлений.

Манометры с одновитковой трубчатой пружиной благодаря простоте устройства, надежности действия и большому диапазону измерения широко используются в литейных цехах для измерения давления газов (кислород, аммиак, ацетилен и др.), а также воздуха, пара и мазута в трубопроводах.

Технические манометры устанавливают непосредственно на рабочих аппаратах (по месту) и на щитах автоматизации. В последнем случае длина подводящей трубы не более 50 м. При необходимости передачи показаний на расстояние более 50 м применяют приборы с устройствами для дистанционной передачи показаний.

Наибольшее распространение получили манометры с электрической дифференциально-трансформаторной системой [3]. Схема такого дистанционного манометра показана на рис. 3.28. Чувствительным элементом бесшкального первичного преобразователя 7 является одновитковая трубчатая пружина 9, во внутреннюю полость которой импульсной трубой подводится жидкость или газ под измеряемым давлением p . К свободному концу пружины присоединен сердечник дифференциально-трансформаторного преобразователя 8. Первичный преобразователь 7 и измерительный

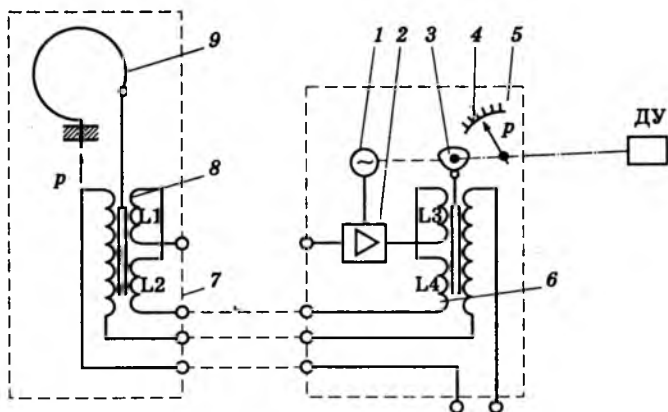


Рис. 3.28

прибор 5 соединяются между собой четырехжильным кабелем так, что обмотки возбуждения соединены последовательно и питаются переменным током (напряжение 28 В, частота 50 Гц). Вторичные обмотки дифференциально-трансформаторных преобразователей 6 и 8 включены встречно, поэтому в исходном положении на входе усилителя 2 напряжение равно нулю.

При каждом изменении величины измеряемого давления чувствительный элемент 9 перемещает сердечник дифференциально-трансформаторного преобразователя 8 и на вход усилителя 2 будет подаваться соответствующая этому перемещению индуктируемая в обмотках L1 и L2 разность потенциалов. Разность потенциалов усиливается до величины, достаточной для вращения вала реверсивного двигателя 1. Двигатель с помощью кулачкового диска 3 будет перемещать сердечник дифференциально-трансформаторного преобразователя 6 до тех пор, пока разность индуктируемых в обмотках L3 и L4 напряжений не приблизится к нулевому значению. В момент, когда разность индуктируемых напряжений станет равной нулю, двигатель остановится. С валом двигателя жестко связана стрелка, перемещающаяся относительно шкалы 4, проградуированной в единицах давления, а также дополнительные устройства ДУ прибора, которые будут подавать сигналы подключенным к ним средствам регулирования, сигнализации или ЭВМ.

Погрешность показаний прибора при длине соединительной линии до 250 м составляет $\pm 1\%$.

Манометры с многовитковой трубчатой пружиной предназначены для измерения и записи избыточного давления и вакуума в различных аппаратах технологического процесса (рис. 3.29). Действие прибора основано на уравнивании измеряемого давления силой упругой деформации многовитковой трубчатой пружины (рис. 3.30).

Корпус манометра приспособлен для установки его на щитах автоматики. Такие манометры являются

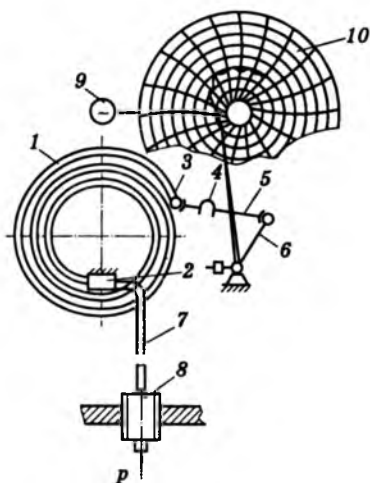


Рис. 3.29

показывающими и самопишущими приборами с записью на дисковой диаграмме и с сигнализацией избыточного давления.

Чувствительным элементом манометра является многovitковая трубчатая пружина 1. Одним концом пружина жестко закреплена в корпусе 2. Второй конец пружины 3 запаян и шарнирно присоединен к тяге 5. На тяге установлен биметаллический компенсатор 4, предназначенный для автоматического введения поправки в показания в случае повышения температуры механизма прибора выше допустимого значения. Тяга 5 с помощью рычага 6 соединена с механизмом перемещения пера. Микродвигатель 9 служит для равномерного вращения диаграммы 10. Манометр включает также штуцер 8 и соединительную трубку 7.



Рис. 3.30

В системах автоматизации измерение напоров вентиляционных систем и разрежений воздухопроводов сушильных аппаратов и топок производят манометрами низкого давления, называемые соответственно *напоромерами* и *тягомерами*. Эти приборы выпускают нескольких типов и модификаций: показывающими аналоговыми и бесшкальными с электрическими дискретными выходными сигналами.

Действие напоромера основано на уравнивании измеряемого давления p силой упругой деформации S мембранной коробки, состоящей из двух круглых гофрированных мембран, спаянных краями (рис. 3.31). В соответствии со схемой напоромера (рис. 3.32) [3] измеряемое давление p через штуцер 16 подают во внутреннюю полость мембранной коробки 13. В результате мембранная коробка упруго деформируется, увеличиваясь в объеме. Деформация вызывает перемещение жесткого центра 14

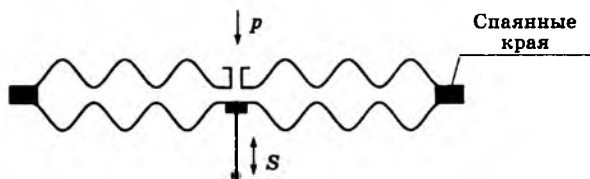


Рис. 3.31

мембраны, которое толкателем передается плоской пружине. Пружина, изгибаясь, перемещает тягу 5, которая поворачивает двуплечий рычаг 3. Вторым концом рычаг с помощью поводка 9 поворачивает шарнирно соединенный с ним рычаг 8. С рычагом 8 жестко соединен вал 7, на котором укреплена стрелка 1. Угол поворота стрелки является функцией измеряемого давления, на которое отградуирована шкала 2 напоромера. Следовательно, каждому давлению соответствует определенное положение стрелки 1. Приведенные на схеме винт 10, пружина 11, стойка 12 и рычаг 4 предназначены для установки стрелки на нулевую отметку (коррекции нуля). Кронштейн 15 является платой для крепления механизма в корпусе прибора.

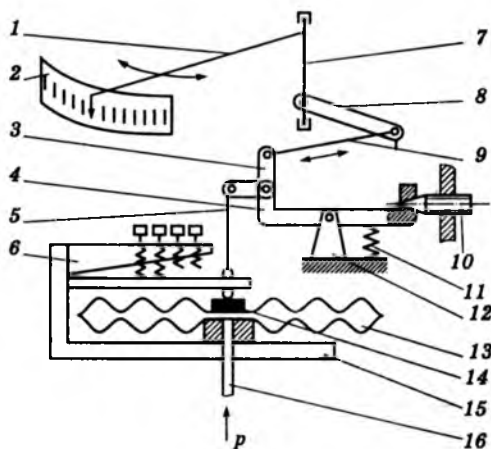


Рис. 3.32

В связи с тем что плоские и даже гофрированные чувствительные мембранные элементы имеют нелинейную зависимость между значением измеряемого давления и перемещением жесткого центра, применяют разные способы для линеаризации выходной величины. У напоромеров ее осуществляют с помощью пластинчатой пружины, кривизну изгиба которой регулируют винтами, установленными на гребенке 6.

3.3.3. Приборы для измерения перепада давления

Для измерения разности (перепада) давлений предназначены **дифференциальные манометры (дифманометры)**.

Дифманометры являются приборами с аналоговыми входными сигналами. Каждому дифманометру присваивают свой номинальный перепад: от нуля до какой-то вещественной максимальной величины.

Чувствительный элемент и измерительное устройство дифманометра могут быть размещены в одном корпусе или разобщены. В последнем случае дифманометр состоит из беспшкального первичного преобразователя и измерительного регистрирующего прибора, которые соединены электрической или пневматической импульсной линией связи.

По устройству чувствительного элемента дифманометры разделяют на жидкостные, пружинные, компенсационные и поршневые. Более подробно рассмотрим жидкостные и пружинные дифманометры.

К жидкостным дифманометрам относят поплавковые и кольцевые. Измеряемый перепад давления в жидкостных дифманометрах контролируется высотой столба рабочей жидкости.

У поплавковых дифманометров в одном блоке соединены вместе первичный преобразователь и измерительный прибор (рис. 3.33). Измерительный прибор имеет устройство для крепления на щите или на стене. К блоку вентиля трубами подводится жидкость или газ. Большее давление обозначено «+», меньшее — «-». Ноль представлен на среднем уравнительном вентиле. Длина двухтрубной соединительной линии не должна превышать 30 м.

Основными узлами дифманометра (рис. 3.34) являются две металлические гидравлические камеры 1 и 4, внутренние полости которых соединены трубкой 5. Камеры до определенного уровня заполняют

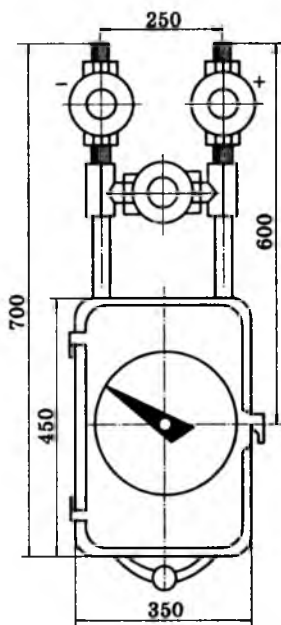


Рис. 3.33

жидкостью (ртуть, трансформаторное масло). В камере 1 находится поплавков 2, шарнирно связанный со стрелкой 3. Размеры камеры 1 у всех дифманометров одинаковые, поэтому величина хода поплавка h_2 постоянная. В поплавковых дифманометрах сосуд 4 сменный. Для каждого перепада давления устанавливают свой сосуд с характерными для него размерами d_1 и h_1 . Соответственно будет изменяться габаритная высота дифманометра.

При равенстве давлений в измеряемых средах $p_1 = p_2$ измерительная система находится в покое, а стрелка — на начальном делении шкалы. При $p_1 > p_2$ уровень жидкости в «плюсовом» и «минусовом» сосудах установится, например, так, как показано на рис. 3.34. Тогда поплавок 2 с помощью шарнирной передачи изменит положение стрелки 3, которая покажет значение перепада давления, который уравнивается разностью высот столбов жидкости в сосудах 1 и 4.

Кольцевые дифманометры выпускают в разобщенном исполнении. Чаще всего в них применяют электрическую унифицированную дистанционную передачу.

В пружинных дифманометрах перепад давления определяется и уравнивается деформацией упругого пружинного элемента. Пружинные дифманометры делают с металлическими мембранными коробками, с сильфонами и мембранами из прорезиненных тканей.

Мембранные дифманометры более компактные и чувствительные по сравнению с жидкостными поплавковыми при одинаковых значениях измеряемых перепадов давления [3].

Широкое распространение получил бесшкальный дифманометр типа ДМ (рис. 3.35; общий вид). Чувствительными элементами такого дифманометра (рис. 3.36) являются мембранные

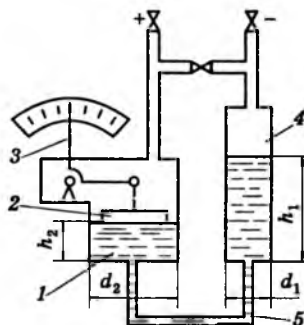


Рис. 3.34

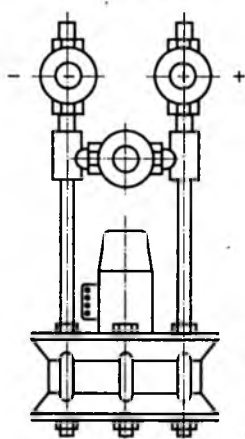


Рис. 3.35

коробки 9 и 10, установленные в корпусе 8. Внутренние полости мембранных коробок заполнены дистиллированной водой и соединены между собой каналом в перегородке корпуса.

К жесткому центру верхней мембранной коробки 9 присоединен сердечник 5. Снаружи сердечника через разделительную перегородку 4 установлен дифференциально-трансформаторный преобразователь с обмоткой возбуждения 2 и двумя вторичными обмотками 6. Снаружи дифференциально-трансформаторный преобразователь защищен кожухом 3. Трубки 1 и 7 предназначены для подвода жидкости или газа.

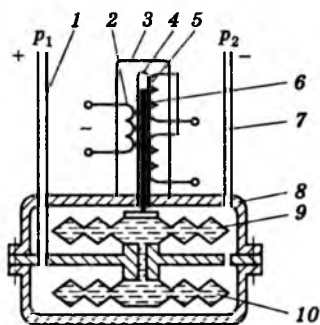


Рис. 3.36

При подключении дифманометра к объекту при $p_1 > p_2$ нижняя мембранная коробка 10 сжимается и жидкость из нее перетекает в верхнюю коробку 9, вызывая перемещение жесткого центра мембраны, а вместе с ней и сердечника 5 в магнитном поле дифференциально-трансформаторного преобразователя. В результате этого возникает сигнал рассогласования, который от дифференциально-трансформаторного преобразователя по соединительной линии передается измерительному прибору, а от него может быть введен в ЭВМ.

Измерение расхода и количества жидких,

3.4. газообразных и сыпучих материалов

Расход — объем или масса вещества, протекающие через поперечное сечение транспортного устройства в единицу времени. Приборы для измерения расхода называются *расходомерами*. Величину $Q_{об}$ ($\text{м}^3/\text{с}$, $\text{м}^3/\text{ч}$) называют *объемным расходом*, а Q_m ($\text{кг}/\text{с}$, $\text{кг}/\text{ч}$) — *массовым расходом*.

В отличие от расхода, **количество вещества** представляет суммарный объем V (м^3) или массу M (кг) вещества, прошедшие через поперечное сечение транспортного устройства за любой промежуток времени. Приборы для измерения количества вещества называют *счетчиками количества*.

Некоторые средства измерения сочетают в себе возможности и расходомера и счетчика количества.

Измерение расхода жидких, газообразных и других сред, протекающих через трубопроводы, а также веществ, транспортируемых конвейерами, имеет большое значение при автоматизации литейного производства.

Для измерения расхода жидких материалов обычно используют:

- расходомеры переменного перепада давления, действие которых основано на дросселировании потока вещества, протекающего через трубопровод;
- расходомеры постоянного перепада (ротаметры), в основу действия которых положены измерения динамических сил потока контролируемой среды;
- электромагнитные расходомеры, в основу действия которых положено измерение ЭДС, наведенной в магнитной системе преобразователя потоком движущейся электропроводной жидкости;
- счетчики расхода, действие которых основано на измерении скорости потока вещества или отборе из него равных объемов с последующим их подсчетом;
- дозаторы, в основу действия которых положен метод непосредственного взвешивания или определения объемов перемещающихся в потоке материалов.

3.4.1. Расходомеры жидкостей и газов

Наиболее распространенным методом измерения расхода жидкостей, газов и паров является *метод сужения потока*. Этот метод зарекомендовал себя как сравнительно простой и, вместе с тем, обеспечивающий достаточно высокую точность измерения, которая в большинстве случаев удовлетворяет требованиям производства (основная приведенная погрешность порядка 2...3 %). Метод сужения потока реализуется в двух вариантах: при переменном и постоянном перепадах давлений. *Метод дросселирования потока* используется для измерения расхода пара, жидкостей и газов, протекающих по трубопроводам.

В *расходомерах переменного перепада давлений* в качестве первичных преобразователей применяют устройства, вызывающие местное сужение потока (см. п. 2.1.2) и перепад давления до и после сужающего устройства.

У диафрагм загрязнение входной кромки способно вызвать значительные изменения коэффициента расхода и внести неопределенную погрешность в результат измерения. Поэтому используются другие дроссельные устройства: сопла (рис. 3.37, *а*), трубы Вентури и Фостера (рис. 3.37, *б*, *в*).

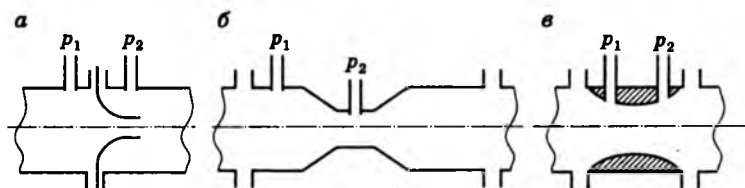


Рис. 3.37

При одинаковых расходах и перепадах давлений сопла (в том числе сопла Вентури) и трубы Вентури обеспечивают более высокую точность измерений. При прочих одинаковых условиях остаточная потеря давления последовательно снижается в направлении от диафрагмы к трубе Вентури. Вместе с тем диафрагма по сравнению с другими стандартными сужающими устройствами характеризуется наибольшей простотой.

Для измерения перепада давления и соответственно расхода жидкости или газа к сужающему устройству 1, закрепленному между фланцами 2 трубопровода 3, подключают дифманометр 6 (рис. 3.38).

Перепад давлений на диафрагме, являющийся функцией расхода $\Delta p = f(Q)$, импульсными трубами 4 передается на показывающий дифманометр 6. Вентили 5 служат для периодической продувки соединительной линии. Для данного варианта расходомера максимальное расстояние между диафрагмой и дифманометром не должно превышать 30 м. Когда

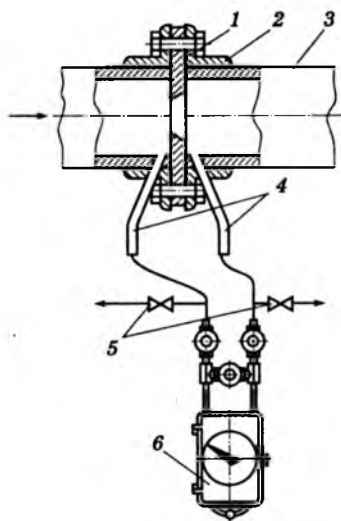


Рис. 3.38

это расстояние больше 30 м, применяют бесшкальные дифманометры с электрической или другими видами дистанционных передач. Такие приборы могут иметь регулирующие устройства и выполнять одновременно функции регистрации и регулирования. Расчет размеров стандартного сужающего устройства производится пользователем исходя из верхних пределов расхода и перепада давлений дифманометра, а также физических свойств измеряемой среды и диаметра трубопровода.

В реальных условиях трубопроводы, на которых устанавливают сужающие устройства, могут быть разных диаметров, расположены горизонтально, вертикально и наклонно. Расстояния между диафрагмами и дифманометрами тоже бывают разными, поэтому измерительные комплекты получаются различными.

На выбор рационального типа сужающего устройства оказывает влияние ряд факторов. Наиболее существенные из них: требуемая точность измерения, допустимая остаточная потеря давления, максимальный расход.

При отклонении температуры T и давления p измеряемой среды, а также влажности газа от их расчетных значений при использовании метода измерения расхода по перепаду давлений на сужающем устройстве появляется дополнительная погрешность измерения. Для одного и того же перепада давлений на дифманометре справедливо соотношение

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}},$$

где Q_1 , ρ_1 — действительный расход и расчетное значение плотности; Q_2 , ρ_2 — показание расходомера и фактическая плотность измеряемой среды.

Плотность газа ρ определяется по формуле

$$\rho = \frac{\rho_n p T_n}{p_n T},$$

где ρ_n — плотность при нормальных температуре T_n и давлении p_n ; T , p — соответственно абсолютная температура и давление в условиях измерения.

Введение поправок возможно при использовании специальных дифманометров или путем расчета по приведенным выше уравнениям.

Расходомеры постоянного перепада (ротаметры) применяют для измерения расхода турбулентного движущегося потока газов и жидкостей, имеющих невысокие температуры.

Технические ротаметры бывают двух видов: неавтоматического действия и автоматические. К ротаметрам *неавтоматического действия* относят стеклянные ротаметры, в которых совмещены чувствительный элемент и измерительное устройство.

Ротаметр (рис. 3.39) состоит из стеклянной конусной трубки 2, расширяющейся кверху. На ее наружной поверхности нанесена шкала. Трубка зажата в патрубках 1 и 4. Внутри трубки помещен поплавок 3.

Принцип работы расходомеров постоянного перепада основан на уравнивании поплавка, помещенного в коническую трубу, динамическим напором струи жидкости или газа.

Рабочее положение ротаметра должно быть строго вертикальным. Поток измеряемого вещества поступает в нижний патрубок 4 и перемещается снизу вверх по конусной трубке 2, поднимая поплавок 3 до полного уравнивания действующих на него сил. Каждому расходу соответствует свое положение поплавка. Высота подъема поплавка пропорциональна расходу жидкости или газа, проходящих через ротаметр. Показания ротаметра непосредственно отсчитываются по шкале или передаются по дистанционной системе измерений.

Снизу на поплавок действует усилие P_1 , равное произведению давления под поплавком p_1 на площадь его поперечного сечения S_{π} , т.е.

$$P_1 = p_1 S_{\pi}.$$

Сверху на поплавок действует усилие P_2 , равное произведению давления над поплавком p_2 на площадь его поперечного сечения. С учетом веса поплавка q

$$P_2 = p_2 S_{\pi} + q.$$

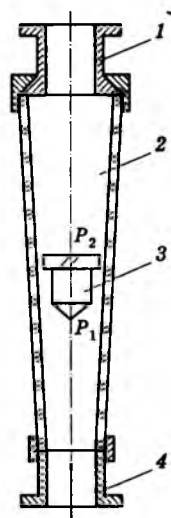


Рис. 3.39

Равновесие поплавка наступит тогда, когда сумма всех сил, действующих на него, будет равна нулю, т.е. при

$$P_1 = P_2,$$

или

$$p_1 S_{\pi} = p_2 S_{\pi} + q.$$

Откуда разность давлений равна

$$p_1 - p_2 = \frac{q}{S_{\pi}}.$$

В правой части этого уравнения находятся величины, не меняющиеся при изменении расхода, — вес поплавка и площадь его поперечного сечения; следовательно, в момент равновесия разность давлений всегда постоянна, поэтому такие приборы и получили название расходомеров постоянного перепада.

При увеличении расхода поплавки поднимаются вверх, что увеличивает кольцевой зазор. В результате этого каждому расходу соответствует свое проходное сечение, а перепад давления во всех измеряемых диапазонах остается постоянным. Ротаметры делают на условные проходы D_y от 6 до 100 мм. Минимальный расход, который можно измерить ротаметром, составляет $0,025 \text{ м}^3/\text{ч}$, основная погрешность стеклянного ротаметра $\pm 2,5 \%$.

Автоматические ротаметры (рис. 3.40) состоят из первичного преобразователя и измерительного прибора [3]. Оба элемента соединены между собой линией связи. Первичный преобразователь состоит из корпуса 1 и поплавка 2. Поплавки связан тягой 3 с сердечником 4 дифференциально-трансформаторного преобразователя. При увеличении расхода поплавки поднимаются и перемещают сердечник, который преобразует линейное перемещение поплавка 2 в электрический сигнал, передаваемый по соединительной линии измерительному прибору 5 (прибор 5 аналогичен описанному в п. 3.3.2, см. рис. 3.28).

Электромагнитные (индукционные) расходомеры применяют для измерения объемного расхода электропроводных жидкостей, растворов и пульп с мелкодисперсными неферромагнитными частицами, щелочных растворов и т.п.

Удельная электрическая проводимость измеряемой среды должна быть не ниже $1 \cdot 10^{-3} \text{ Ом/м}$, что соответствует электропроводности водопроводной воды.

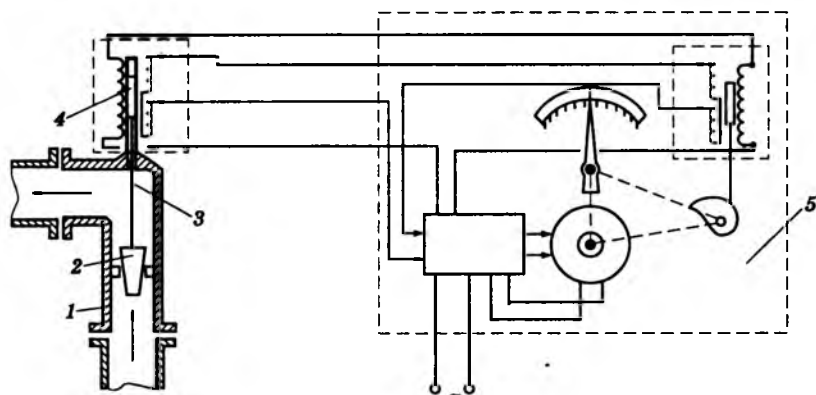


Рис. 3.40

Действие расходомеров основано на законе электромагнитной индукции, согласно которому в каждом проводнике, пересекающем силовые линии магнитного поля (постоянного или переменного), индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости движения проводника. При этом направление тока, возникающего в проводнике, будет перпендикулярно направлению его движения и направлению магнитного поля.

Расходомер (рис. 3.41) состоит из первичного преобразователя и измерительного прибора. Первичный преобразователь включает участок трубопровода 1, выполненного из немагнитного материала, с встроенными токоотводящими электродами 2 и 3, а также постоянный магнит. Он связан проводами 4 с измерительным прибором 5.

В потоке протекающей электропроводной жидкости под действием магнитного поля возникает электродвижущая сила E , пропорциональная объемному расходу $Q_{об}$ [3]

$$E = \frac{4BQ_{об}}{\pi D},$$

где B — магнитная индукция; D — внутренний диаметр трубопровода.

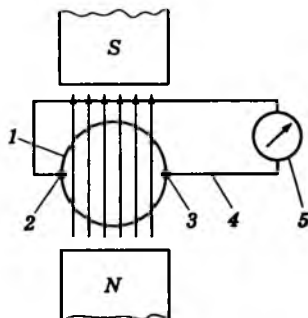


Рис. 3.41

Электромагнитные расходомеры выпускают на условный проход D_y 10...300 мм и на объемный расход от 0,4 до 400 м³/ч.

Преимущества электромагнитных расходомеров заключаются в том, что с их помощью можно измерять потоки, имеющие ламинарный и турбулентный характер, а первичные преобразователи не создают потерь рабочего давления при прохождении через них рабочей среды. Показания индукционных расходомеров не зависят от характера течения потока, а также от физических свойств (плотности, вязкости) измеряемой среды.

3.4.2. Счетчики количества жидкостей и газов

Измерение объемного V или массового M количества жидких и газообразных сред возможно с помощью непосредственного суммирования отдельных порций вещества, проходящего через измеритель, или интегрированием сигнала расхода по времени t :

$$V = \int_0^t Q_{об}(t) dt;$$

$$M = \int_0^t Q_{м}(t) dt.$$

Отдельные порции измеряемой среды, величина каждой из которых известна и является постоянной, суммируют с помощью механических счетчиков количества объемного типа. Объемные счетчики предназначены только для визуального снятия показаний и используются как источники хозрасчетной информации.

На визуальное снятие показаний рассчитано также большинство счетчиков количества, действие которых основано на интегрировании расхода по времени. Этот принцип реализован в различных вариантах:

- механическое интегрирование (скоростные счетчики количества);
- электромеханическое интегрирование (с помощью специальных устройств, встроенных во вторичные измерительные приборы).

Автоматическая дистанционная передача текущего значения сигнала количества («нарастающим итогом») может осуществ-

ляться посредством специальных частотных интеграторов. Для этого необходимо преобразование расхода измеряемой среды в частотный сигнал во вторичном приборе расходомера или путем применения отдельных преобразователей выходного сигнала расходомера (электрического или пневматического). Выходной сигнал подается на вход частотного интегратора.

Счетчики могут быть местными и дистанционными. У местных счетчиков чувствительный элемент и суммирующее устройство объединены в одном общем корпусе. Суммирующее и показывающее устройства дистанционных счетчиков выполнены в отдельном корпусе, соединены линиями связи. Все счетчики предназначены для измерения расхода одной какой-либо жидкости или газа.

Счетчик работает по принципу действия и точностью. Измеряемое количество воды — вертикальной вертушкой (измеряемый расход — 40 мм (измеряемый расход — 3.42).

Работа счетчиков основана на подсчете оборотов вертушки, приводимой в движение жидкостью, протекающей через корпус счетчика, вращением вертушки пропорциональна расходу жидкости. Основными частями такого счетчика являются корпус 1, вертушка 2, зубчатая передача 3, суммирующий стрелочный счетчик 4.

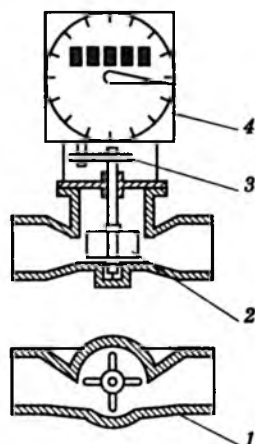


Рис. 3.42

Действие *ротационного* счетчика для газов основано на превращении части энергии газа в механическую энергию вращения лопастей, являющихся чувствительным элементом счетчика (рис. 3.43).

Счетчик состоит из корпуса 3, в котором на неподвижных осях размещены две (в виде восьмерок) подвижные лопасти 4, находящиеся в постоянном скользящем зацеплении. Газ под давлением p_1 поступает во входной патрубок 1, а из него в корпус 3 счетчика. Давление воспринимается обеими лопастями, но начальный вращательный момент создает левая лопасть,

которая, вращаясь против часовой стрелки, вращает правую лопасть по часовой стрелке. В момент вращения правая лопасть захватывает определенный объем газа, отсекает его от общего объема и перемещает в выходной патрубок 5. Одновременно левая лопасть, изменяя свое рабочее положение, становится ведомой, захватывает такую же порцию газа в левую рабочую полость и перемещает ее к выходу. За один рабочий цикл транспортируется четыре рабочих объема газа.

К одной из лопастей присоединен магнит (на схеме не показан), который вращается одновременно с ней. Магнитный момент через немагнитную перегородку передается муфте, подключенной к счетному устройству расходомера. Давление газа за счетчиком p_2 всегда меньше давления p_1 . Энергия напора тратится в приборе на преодоление сил трения, превращение потенциальной энергии в кинетическую (вращение и гидравлические сопротивления). Для контроля работы счетчика предназначен U-образный напоромер 2 (мигалка).

Объемные счетчики для газа изготавливают на расходы до $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, погрешность $\pm 2,5 \%$.

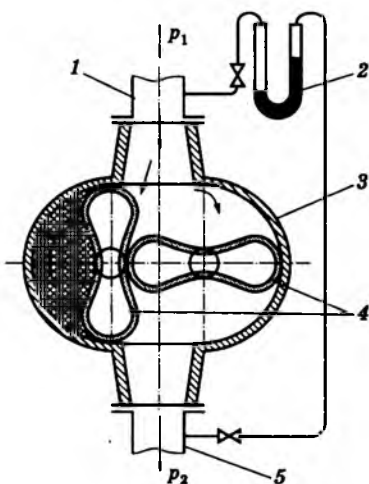


Рис. 3.43

3.4.3. Измерение расхода и количества сыпучих материалов

В условиях современного литейного производства измерения расхода и количества сыпучих материалов проводят при использовании конвейера и пневмотранспортера.

Устройство для измерения расхода и количества сыпучих материалов [4] при использовании конвейерного транспортера (рис. 3.44) включает взвешивающий транспортер 1, на ленту которого материал поступает из питающего бункера 2. Транспортер приводится в движение электродвигателем 3. Скорость

привода (и, следовательно, движения материала по ленте) измеряется с помощью тахометра 4. Масса материала на ленте транспортера определяется взвешивающим устройством 5 (с коррекцией на массу пустого транспортера). Преобразователи Пр1 и Пр2 формируют сигналы соответственно скорости v перемещения материала вместе с лентой взвешивающего транспортера и его массы m . Эти сигналы вводятся в блок перемножения сигналов ($\times$), который в определенном масштабе отображает массовый расход Q_m сыпучего материала ($Q_m = mv$).

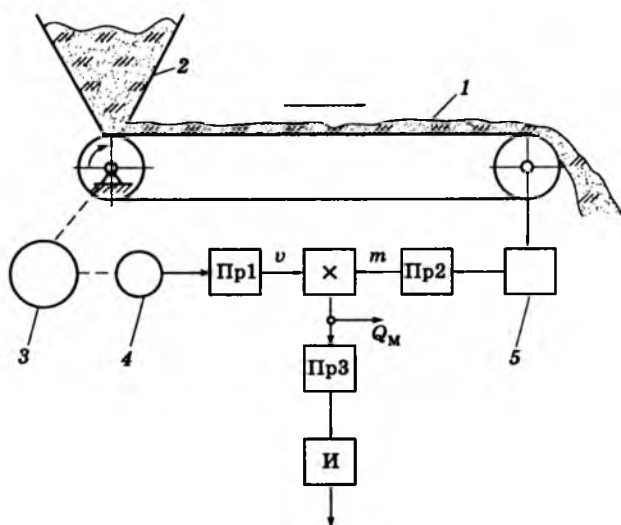


Рис. 3.44

Преобразователь Пр3 превращает сигнал расхода в соответствующий частотный сигнал, который вводится в частотный интегратор И для определения количества M ($M = \int f dt$) измеряемой среды, переданной транспортером за интервал времени t .

Функции блока перемножения сигналов и интегратора могут быть переданы ЭВМ, используемой в АСУ ТП на одном из участков литейного цеха. Это значительно повышает точность измерения как расхода, так и количества вещества при сокращении общего числа используемых приборов.

Функциональная схема процесса измерения расхода и количества сыпучих материалов при использовании пневмотранспортера представлена на рис. 3.45. Расход несущего газа Q_r измеряется на входе в пневмокамерный насос 1, а плотность аэросмеси $\rho_{см}$ — на выходе из него [6]. Расход несущего газа определяется расходомером, состоящим из сужающего устройства 2 и дифманометра 3, плотность аэросмеси (объемная масса твердого вещества в аэросмеси) — радиоизотопным плотномером, состоящим из первичного преобразователя 4 и вторичного измерительного прибора 5.

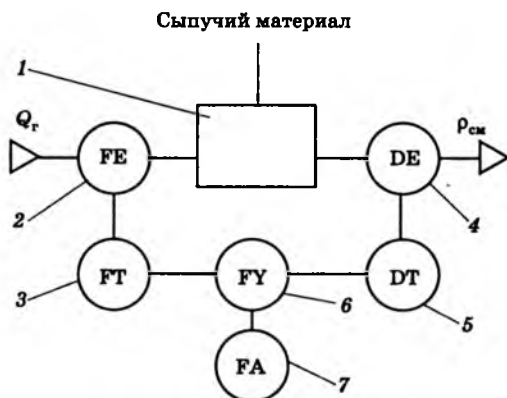


Рис. 3.45

Сигналы, поступающие с расходомера и плотномера на преобразователь 6, перемножаются, и определяется расход сыпучего материала: $Q = \rho_{см} Q_r$.

Прибор 7 показывает текущее значение расхода транспортируемого материала.

3.5. Контроль состава и свойств вещества

При автоматизации литейных процессов важная роль принадлежит источникам оперативной информации о составе шихтовых материалов и отходящих газов в процессе плавки, плотности вещества, влажности формовочных и стержневых смесей и др.

3.5.1. Измерение влажности воздуха

В литейном производстве осуществляют измерение влажности воздуха.

Для измерения влажности воздуха применяют *влагомеры* (психрометрические, гигроскопические, хлористолитиевые и др.).

Действие широко распространенных *психрометрических влагомеров* основано на определении разности показаний рядом расположенных «сухого» и «мокрого» термометров. «Мокрый» термометр находится в условиях 100 % относительной влажности. Испарение влаги с поверхности «мокрого» термометра приводит к понижению его температуры. В результате «сухой» и «мокрый» термометры показывают разную температуру. Разность показаний термометров называется *психрометрической разностью*. Она однозначно зависит от относительной влажности газовой среды, в которой находятся оба термометра.

Психрометрический автоматический влагомер является дистанционным самопишущим прибором. Комплект прибора (рис. 3.46) состоит из первичного преобразователя 2 и измерительного прибора 1, дистанционно соединенных между собой электрической линией [3].

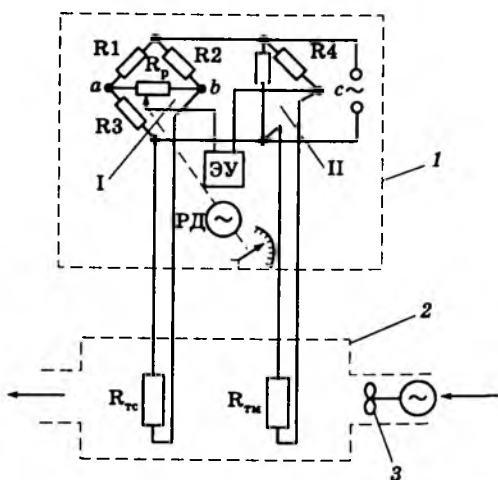


Рис. 3.46

Первичный преобразователь — это камера, в которую помещены два одинаковых термосопротивления: $R_{тс}$ — постоянно «сухой» и $R_{тм}$ — «мокрый», покрытый гигроскопической тканью, увлажняемой водой с помощью специального увлажнителя. В камере вентилятором 3 осуществляется непрерывная циркуляция контролируемого газа. Относительную влажность ϕ в зависимости от психрометрической разности ($t_c - t_m$) определяют по формуле

$$\phi = \frac{p_v - A(t_c - t_m)}{p_c},$$

где p_v — упругость паров воды, насыщающих испытуемую среду при температуре «мокрого» термометра t_m ; p_c — упругость паров воды, насыщающих испытуемую среду при температуре «сухого» термометра t_c ; A — психрометрический коэффициент, зависящий от скорости движения среды, развиваемой вентилятором преобразователя.

Электрические сигналы от обоих термосопротивлений подаются на вход двоярного автоматического моста I и II. Мост I образуют резисторы $R_1, R_2, R_3, R_{тс}$, мост II — резисторы $R_1, R_3, R_4, R_{тм}$. Оба моста работают в неравновесном режиме. Разность потенциалов на вершинах a и b диагонали моста I пропорциональна показаниям «сухого» термометра, на вершинах a и c диагонали моста II — показаниям «мокрого» термометра. Таким образом, на вершинах b и c диагонали двойного моста возникает разность электрических потенциалов, пропорциональная психрометрической разности. Она подается на вход электронного усилителя ЭУ и усиливается до величины, достаточной для вращения вала реверсивного двигателя РД. Работа двигателя будет продолжаться до тех пор, пока падением напряжения на реохорде R_p не будет скомпенсирована разность потенциалов на вершинах мостовой схемы. После этого в измерительной системе наступит равновесие. С валом РД связано регистрирующее устройство прибора, стрелка которого показывает значение измеряемой величины на шкале, отградуированной в единицах относительной влажности.

Пределы измерения влагомера 20...100 %, основная погрешность ± 3 %. Прибор может иметь встроенные электрические

контактные устройства для автоматического регулирования и сигнализации и выполнять одновременно функции регистратора и регулятора влажности.

3.5.2. Измерение влажности формовочных материалов

Влажность формовочной смеси является одним из основных факторов, влияющих на качество получаемых отливок. Поэтому в автоматизированных системах смесеприготовления для поддержания заданного значения влажности формовочной смеси осуществляют непрерывный контроль влажности как отдельных компонентов, так и готовой смеси.

Формовочные и стержневые смеси включают влагу в виде тонких пленок и вкраплений, адсорбированных на поверхности зерен материала и между ними, а также содержат избыточную влагу, что вызывает скольжение зерен друг относительно друга под действием внешних сил. Часть влаги входит в состав кристаллогидратов связующих веществ.

Наиболее точно влажность сыпучих формовочных материалов можно установить методом высушивания навески материала при нагревании до постоянной массы. Так как высушивание сопряжено со значительными (до 3 ч) затратами времени, оно не может быть использовано при автоматизации литейного производства. Этот метод применяют только при лабораторных исследованиях и арбитражном контроле для проверки правильности результатов, полученных автоматическими приборами.

Для определения влажности сыпучих формовочных материалов применяют влагомеры, использующие различные методы измерения: электрокондуктометрический, емкостный, метод диэлектрических потерь, нейтронный метод, метод ядерного магнитного резонанса, СВЧ-метод, метод определения влажности по технологическим характеристикам контролируемой смеси (формуемости).

Электрокондуктометрический метод — определение влажности материала по значению его электропроводности. Измерительный комплект состоит из двух электродов и омметра со шкалой, отградуированной в единицах влажности. Электроды помещают в контролируемую смесь на расстоянии не менее 25 мм друг от друга. Пробу смеси уплотняют под давлением $-0,4$ МПа до стандартной плотности.

Достоинством метода является простота реализации. К недостаткам следует отнести зависимость результата измерения от химического состава примесей, температуры и степени уплотнения пробы. При расстоянии между электродами менее 25 мм на результат измерения влажности влияет размер зерна. Измерение предпочтительно проводить на переменном токе во избежание поляризации вещества.

Электрокондуктометрические влагомеры применяют для материалов, имеющих постоянную концентрацию солей и кислот, и в тех случаях, когда не требуется большая точность измерения.

Емкостный метод — определение влажности материала по значению емкости конденсатора, между обкладками которого помещена проба. Измерительный комплект состоит из конденсатора с обкладками различной формы и емкостного моста со шкалой, отградуированной в единицах влажности.

Достоинство метода — простота реализации, недостатки — зависимость результата измерения от степени уплотнения пробы, необходимость уплотнения пробы под давлением $-0,4$ МПа до стандартной плотности. Кроме того, для повышения чувствительности и ослабления эффекта электрических утечек измерение необходимо проводить на токе повышенной частоты.

Метод диэлектрических потерь — определение влажности материала по значению диэлектрических потерь, которые превращаются в теплоту контролируемого образца, помещенного между электродами датчика. Измерительный комплект состоит из катушки индуктивности, в которую вводят пробу контролируемого материала, и специального измерительного прибора с колебательным контуром, образованным датчиком и подключенным к нему конденсатором.

Достоинства и недостатки метода такие же, как и у двух ранее описанных.

Нейтронный метод — использование явления замедления быстрых нейтронов ядрами атомов водорода молекул воды в контролируемом материале. Влагомер состоит из источника быстрых нейтронов, приемника ядерного излучения и прибора для измерения степени поглощения нейтронов.

Достоинствами метода являются простота реализации и отсутствие необходимости уплотнения пробы в соответствии со

стандартом, так как автоматически вводится поправка на плотность вещества, недостаток — радиационная опасность на расстоянии менее 1 м от источника быстрых нейтронов.

Метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР) — резонансное поглощение или излучение энергии высокой частоты ядрами атомов водорода, входящими в состав молекул воды, в постоянном магнитном поле. Измерительный комплект состоит из ЯМР-радиоспектрометра и вторичного измерительного прибора. Метод позволяет проводить раздельное измерение влаги в различных ее формах, в том числе и в составе кристаллогидратов. К недостаткам метода следует отнести сложность и высокую стоимость средств измерения.

СВЧ-метод — измерение величины поглощения микроволнового электромагнитного импульса (СВЧ-сигнала) исследуемым материалом в волноводе влагомера и преобразование этой величины в цифровой код, соответствующий уровню ослабления СВЧ-сигнала в децибелах.

Структурная схема и внешний вид универсального микроволнового прибора «Микрорадар 101.2», разработанного на кафедре «Машины и технология литейного производства» Белорусского национального технического университета, представлены на рис. 3.47 и 3.48.

Электромагнитные колебания от СВЧ-генератора 1, излучаемые антенной 2, проходят через исследуемый материал 13, принимаются антенной 3 и поступают в приемный детектор 4.

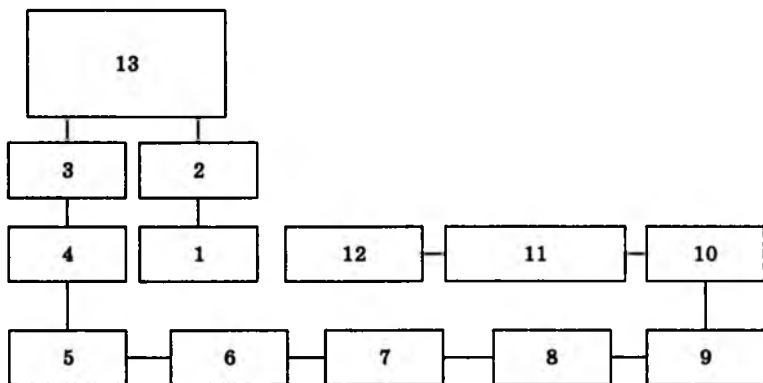


Рис. 3.47

Сигнал детектора логарифмируется в двухканальном логарифматоре 5, на один из входов которого также подается опорное напряжение. Выходные сигналы из логарифматора поступают в вычитатель 6, где вычитаются один из другого. Сигнал с выхода вычитателя усиливается усилителем 7, далее поступает через фильтр низких частот 8 и каскад усилителей 9 и 10 на плату микропроцессора 11 и отображается цифровым индикатором 12. Микропроцессор позволяет аппроксимировать результаты измерения с помощью стандартных математических кривых и хранить в памяти прибора несколько (до 9) последних измерений. Прибор оснащен стандартным выходом для связи с ПЭВМ (по RS-485), что позволяет вводить и обрабатывать результаты измерений непосредственно на компьютере.



Рис. 3.48

СВЧ-метод с успехом может быть использован для экспресс-контроля влажности (в интервале 2...8 %) различных формовочных и стержневых смесей как в лабораторных условиях, так и в цеху (более подробно см. в § 6.1).

Автоматический контроль влажности смесей осуществляется по их формуемости. Этот параметр наиболее просто контролировать по сыпучести. **Сыпучесть** — способность смеси просыпаться через калиброванную щель. Отклонение сыпучести от технологически заданного значения в системах управления устраняется добавкой воды в смеситель.

Устройство контроля формуемости (рис. 3.49) включает пробоотборник 1, разрыхлитель 2 и вибропитатель, лоток 3 которого подвешен на пластинах и снабжен приводом 7, а также весовой конвейер 4 с постоянной скоростью движения ленты, датчик расхода 5 и вторичный прибор 6. Лоток 3 вибропитателя имеет две деки с поперечными щелями А и Б, причем верхняя щель А шире нижней Б и расположена ближе к пробоотборнику.

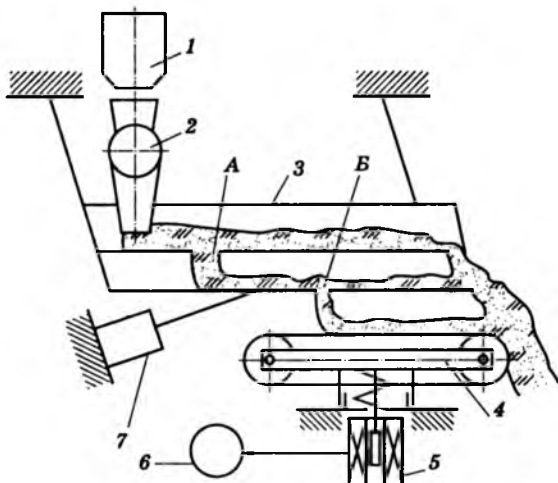


Рис. 3.49

Контролируемая смесь пробоотборником 1 подается в приемную воронку разрыхлителя 2, где измельчается и падает на верхнюю деку лотка 3. Смесь, перемещаясь по верхней деке, доходит до щели А, и часть ее поступает на нижнюю деку. При этом часть смеси проходит щель Б и попадает на весовой конвейер 4. Масса смеси на ленте конвейера контролируется весовым устройством, включающим дифференциально-трансформаторный датчик расхода 5 и вторичный прибор 6 со специально отградуированной шкалой.

Формуемость смеси высокая, если она просыпается через щель Б на ленту конвейера 4 (при этом масса конвейера со смесью максимальная), низкая — если смесь не просыпается даже через широкую щель.

3.5.3. Измерение состава газа

В литейном производстве контролируемые газообразными средами являются отходящие газы плавильных агрегатов, продукты сгорания топлива в печах для термической обработки отливок и установках для сушки литейных форм и стержней.

Газоанализаторами называют технические средства, предназначенные для количественного определения состава газа. В зависимости от назначения газоанализаторы подразделяют на переносные и технические.

Переносные газоанализаторы используют для лабораторных измерений, а также для проверки работы автоматических газоанализаторов, *технические* — для непрерывного производственного контроля и регулирования в системах автоматизации поточного режима работы объектов литейного производства.

В настоящее время промышленность выпускает ряд автоматических газоанализаторов, среди которых наиболее распространенными являются термокондуктометрические, термохимические, магнитные и оптико-акустические.

Современные газоанализаторы являются сложными автоматическими системами, которые помимо определения качественного и количественного состава газа выполняют *предварительную подготовку пробы газа* с помощью газоотборного устройства. В газоотборном устройстве проба газа подвергается охлаждению, механической и химической фильтрации. При этом стабилизируется расход и давление потока анализируемого газа через газоаналитическую систему.

Охлаждение пробы газа и стабилизация его температуры на уровне комнатной производится для торможения химических реакций и приведения пробы газа к расчетным параметрам газоаналитической аппаратуры. Для охлаждения используют змеевиковые холодильники, питаемые проточной водой, снабженные ловушками и отстойниками для сбора и удаления конденсата влаги.

Механическая фильтрация газовой пробы производится для очистки газа от мелких частиц пыли. Газ пропускают через слой микропористой пластмассы с размером пор порядка 5 мкм или пористой металлокерамики (с размером частиц 5...25 мкм, например, из спеченной бронзы или других материалов, обеспечивающих

100 % задержание пыли крупностью 0,6 мкм и 98 % — крупностью 0,04 мкм). Применяют также тканевые фильтры из синтетических волокон, прессованные дисковые фильтрующие элементы из стекловаты и эпоксидной смолы с задержанием 99,9999 % частиц пыли размером 0,3...0,6 мкм.

При химической фильтрации из пробы удаляют компоненты, агрессивные по отношению к элементам газоанализатора. Для этого применяют химические фильтры с селективно действующим поглотителем.

Осушка пробы производится для удаления влаги с целью повышения точности анализа и надежности газоанализатора. Адсорбцию влаги осуществляют гигроскопическими веществами (хлорид лития, триэтиленгликоль и др.) или поверхностно-активными твердыми поглотителями (силикагель, алюмогель, молекулярные сита).

Стабилизация расхода и давления потока анализируемого газа обеспечивает приведение пробы газа к расчетным параметрам газоаналитической аппаратуры, бесперебойную работу газоанализатора и повышение точности измерений. Для стабилизации расхода и давления применяют насосы, эжекторы и регуляторы давления.

Термокондуктометрические газоанализаторы применяют для определения содержания CO_2 в дымовых газах топок печей. Действие этих газоанализаторов основано на сравнении теплопроводностей CO_2 и воздуха [3].

Измерительная схема термокондуктометрического газоанализатора (рис. 3.50) состоит из первичного преобразователя и измерительного прибора ИП. Она представляет четырехплечий электрический небалансный мост, включающий одинаковые резисторы (платиновые нити) R_r и R_v . Резисторы R_r установлены в проточной ячейке 1 (рис. 3.51), через которую непрерывно пропускают исследуемый газ, а резисторы R_v — в непроточных ячейках 2, в которых находится атмосферный воздух. Переменные резисторы $R1$ и $R2$ предназначены для регулировки состояния равновесия и рабочего

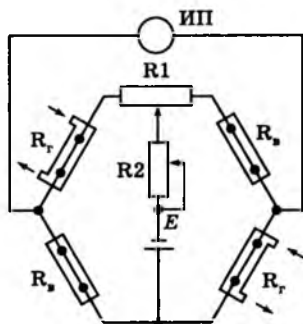


Рис. 3.50

напряжения в цепи электрического питания газоанализатора. Источник постоянного тока E и измерительный прибор ИП подключены к диагоналям мостовой схемы. Мощность источника постоянного тока рассчитана так, что каждая из нитей должна нагреваться до 100°C .

Дымовые газы имеют повышенное содержание углекислого газа. Теплопроводность CO_2 почти на 40 % ниже теплопроводности атмосферного воздуха, поэтому при прохождении дымовых газов через камеру 1 температура резисторов R_T начнет повышаться, а сопротивление будет увеличиваться. В диагонали, в которую включен измерительный прибор, появится ток разбаланса. Это вызовет отклонение стрелки измерительного прибора от нулевого положения на величину, пропорциональную процентному содержанию CO_2 в контролируемом газе. Измерительными приборами являются милливольтметры или компенсаторы со шкалой от 0 до 20 % CO_2 с основной погрешностью $\pm 1,5\%$.

На таком же принципе работают газоанализаторы для определения процентного содержания в газовых смесях водорода, аммиака, сернистого ангидрида и некоторых других газов.

Термохимические газоанализаторы применяют в литейном производстве для определения содержания продукта неполного сгорания углерода (CO) — монооксида углерода — в дымовых газах. Действие анализатора основано на повышении электрического сопротивления платиновой нити при нагревании ее теплом, выделяющимся при сжигании пробы газа.

Электрическая схема термохимического газоанализатора представляет небалансный мост, имеющий четыре симметрично расположенных плеча (рис. 3.52). Переменные резисторы R_1 и R_2 предназначены для регулировки

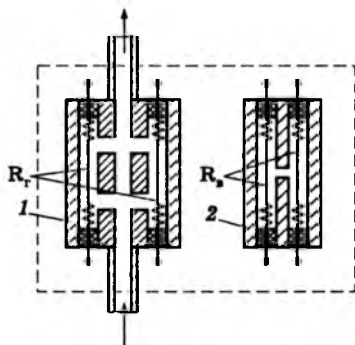


Рис. 3.51

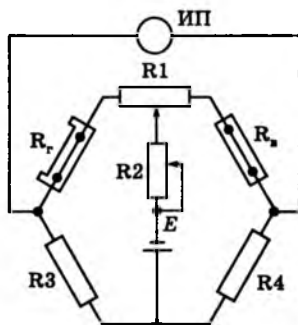


Рис. 3.52

состояния равновесия и рабочего напряжения в цепи электрического питания газоанализатора. Источник постоянного тока E и измерительный прибор ИП подключены к диагоналям мостовой схемы. Одинаковые резисторы R_3 и R_4 выполнены из манганиновой проволоки. Резисторы R_T и R_B представляют собой платиновые нити, заключенные в отдельных камерах общего металлического корпуса 1 (рис. 3.53). Мощность источника постоянного тока рассчитана так, чтобы каждая из нитей могла нагреваться до 400°C .

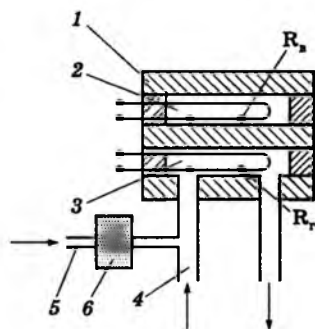


Рис. 3.53

Нить R_B находится в непроточной камере 2 с атмосферным воздухом. В камеру 3 при работе газоанализатора через штуцер 4 подводится непрерывный поток анализируемого газа, содержащего монооксид углерода. Одновременно в камеру 3 через штуцер 5 и фильтр 6 с некоторым избыточным давлением подают нагретый воздух. Поэтому СО, соприкасаясь с нагретой до 400°C платиновой нитью, сгорает на ее поверхности. В результате температура нити повышается, а ее электрическое сопротивление возрастает на величину, функционально зависящую от количества СО в газовой смеси. Но так как сопротивление остальных резисторов мостовой схемы остается постоянным, то в диагонали, в которую включен измерительный прибор, появится ток разбаланса. Это вызовет отклонение стрелки измерительного прибора от нулевого положения на величину, пропорциональную процентному содержанию СО в анализируемом газе.

Магнитные газоанализаторы основаны на изменении интенсивности термомагнитной конвекции в пробе газа в зависимости от содержания кислорода (O_2) в продуктах сгорания топлива.

Оптико-акустические газоанализаторы основаны на изменении интенсивности поглощения инфракрасного излучения в заданном диапазоне длин волн в зависимости от содержания СО и CO_2 в продуктах сгорания топлива.

Хроматографы и масс-спектрометры позволяют одновременно определять несколько компонентов. Однако масс-спектрометры сложны по устройству, дороги, для их обслуживания требуется

высококвалифицированный персонал. В условиях литейного производства при необходимости проведения контроля состава многокомпонентных газовых смесей применяют газоадсорбционные хроматографы. Их действие основано на разделении компонентов газовой пробы, введенной в поток газа-носителя (гелия или аргона), при ее протекании через слой твердого сорбента. Появление компонента на выходе газоаналитической системы обнаруживается детектором, например, по теплопроводности. При этом наблюдается соответствующий пик на кривой записи сигнала детектора, осуществляемой с помощью вторичного самопишущего прибора. Время регистрации пика (от момента ввода пробы) позволяет качественно идентифицировать компонент, а геометрические параметры пика характеризуют количественное содержание данного компонента в пробе.

3.5.4. Измерение плотности жидкостей

При приготовлении формовочных и стержневых смесей используют суспензии и другие жидкости. Качество смесей во многом зависит от концентрации и плотности связующих материалов.

Концентрацией называется относительное содержание какого-либо компонента в единице объема смеси или раствора. С изменением содержания компонента в смеси меняются физические свойства раствора. Это используется для измерения концентрации в автоматических приборах. Применяются денсиметрические (измерение плотности), кондуктометрические (электропроводности), фотометрические (оптических свойств) и ультразвуковой методы. *Плотность* является косвенным показателем состава растворов. В технологических процессах литейного производства плотность жидких материалов измеряют на участках приготовления глинисто-угольной суспензии, раствора жидкого стекла и др.

Плотность жидкостей измеряют техническими *плотномерами*: поплавковыми (ареометрическими), пьезометрическими (гидростатическими), массовыми, вибрационными и радиоизотопными (табл. 3.3).

Измерительный комплект плотномера состоит из первичного преобразователя и измерительного ферродинамического прибора. Действие преобразователя основано на компенсационном методе. Чувствительным элементом является прямолинейный участок трубы, состоящей из подвижной и неподвижной частей. Поступление

контролируемой среды осуществляется от общего технологического трубопровода, подсоединенного к фланцу трубы преобразователя. Соединение подвижного и неподвижного участков осуществляется упругим резиновым переходником и пластинчатыми подвесками. Масса подвижной части трубы без жидкости уравнивается пружиной.

Протекающая по трубе жидкость изменяет массу ее подвижной части, в результате подвижная часть трубы изгибается в вертикальном направлении. С трубой жестко связан сердечник, находящийся в магнитном поле дифференциально-трансформаторной катушки. В зависимости от направления перемещения сердечника от его электрической нейтрали с вторичных обмоток катушки на усилитель подается сигнал разбаланса той или иной фазы. Усиленный сигнал поступает в управляющую обмотку реверсивного двигателя и приводит его во вращение. Вращение передается общему валу, на котором установлены лекало, ферродинамический преобразователь и индикаторное измерительное устройство. Для компенсации отклонения подвижной части трубы служат рычаг и пружины, изменение положения которых осуществляется вращением лекала. Следствием перемещения элементов является возвращение сердечника в начальное положение, прекращение вращения вала реверсивного двигателя и поворот рамки в ферродинамическом преобразователе на угол, пропорциональный значению плотности протекающей жидкости. Сигнал с рамки передается измерительному прибору, который регистрирует значение измеряемого параметра.

Во всех случаях измерения плотности необходимо учитывать зависимость ее от температуры. В современных плотномерх производится автоматическая коррекция результата измерения по температуре.

Таблица 3.3

Характеристики некоторых типов плотномеров

Приборы		Принцип действия	Диапазон измерения, кг/м ³
Наименование	Тип		
Поплавковые	ДПП-1	Воздействие архимедовой силы на поплавков со стороны жидкости пропорционально ее плотности	500...2500

Окончание табл. 3.3

Приборы		Принцип действия	Диапазон измерения, кг/м ³
Наименование	Тип		
Пьезометрические	КМ, ДРП, ДМП	Зависимость давления жидкости на заданной глубине от ее плотности	900...1800
Массовые	ИПВФ	Взвешивание проточного сосуда или отрезка трубопровода с контролируемой жидкостью	600...1600
Вибрационные	АИП-1	Зависимость частоты собственных колебаний отрезка трубопровода от плотности протекающей жидкости	790...1050
Радиоизотопные	ПР-1024	Зависимость степени ослабления потока гамма-излучения от плотности жидкости	500...3000

3.5.5. Экспресс-анализ сплавов и шлака

В последнее время для определения содержания практически любых элементов сплавов и компонентов шлака широко используются экспрессные инструментальные методы, которые почти полностью вытеснили химические методы анализа.

Наибольшее распространение получили спектральные методы анализа: рентгено-флуоресцентный и эмиссионный.

При *рентгено-флуоресцентном анализе* осуществляется облучение образца металла или шлака короткими волнами рентгеновского излучения. В результате каждый элемент вещества испускает вторичное характеристическое рентгеновское излучение. Интенсивность характеристического излучения определенных длин волн рентгеновского излучения зависит от концентрации элемента в образце.

Достоинства метода — высокая чувствительность и точность, простота устройства приборов. Недостатком этого метода является невозможность определения легких элементов.

Спектральный эмиссионный вакуумный метод анализа основан на возбуждении атомов и молекул в облаке электрического разряда и изменении интенсивности спектральных аналитических линий возбужденных атомов и молекул вещества. Метод позволяет определять большое число химических элементов.

Приборы спектрально-эмиссионного анализа (квантометры) позволяют в течение 1...6 мин определить элементарный состав сплава или шлака в широком диапазоне концентраций элементов с относительной погрешностью 1...4 %, вывести результаты на печать и передать посредством ЭВМ в АСУ ТП оператору плавильного отделения (участка) для непосредственного управления процессом плавки. Недостатком метода является сложность приборов и малая их точность.

Существуют также упрощенные, но менее точные методы контроля состава сплавов. Например, содержание углерода в стали и углеродный эквивалент в чугуне определяют по термоЭДС и по магнитным свойствам. Для измерения активности кислорода в жидкой стали применяют активометры периодического и непрерывного действия.

3.5.6. Определение гранулометрического состава формовочного песка

Определение гранулометрического состава формовочного песка может быть осуществлено с использованием методики компьютерного анализа двумерного цифрового изображения песка [7]. Для этого пробу песка рассыпают на горизонтальной поверхности рабочего стола сканера таким образом, чтобы число соприкасающихся частиц было минимальным. Определение размеров частиц производится сравнением изображения каждой частицы с измерительным объектом, отсканированным в тех же условиях. По полученному размерному ряду вычисляется средний размер зерна и коэффициент однородности.

Компьютерный метод исключает необходимость рассева песка для определения содержания в нем различных фракций. Способ сканирования части песка обеспечивает значительный выигрыш во времени, но не позволяет определить содержание в нем глинистой составляющей не столько потому, что мелкодисперсные частицы практически невозможно разместить дискретно, сколько по причине их прочной связи с поверхностью крупных зерен песка.

Определение содержания глинистой составляющей осуществляется с помощью прибора, действие которого основано на измерении интенсивности светового потока, проходящего через слой песка. Прибор состоит из блока-измерителя и блока-анализатора.

Кювету с песком вставляют в блок-измеритель и включают источник света. Импульс светового потока, рассеянный глинистой составляющей, попадает на фотозлемент, который передает информацию в блок-анализатор, где она преобразуется в цифровой сигнал. Этот прибор можно использовать и для определения содержания глинистой составляющей в оборотных смесях. Однако проба смеси должна быть предварительно прокалена при температуре выше 500 °С.

Контроль уровня жидких и сыпучих

3.6. материалов

Объектами автоматического контроля уровня в литейных процессах являются резервуары для хранения жидких компонентов формовочных и стержневых смесей, а также бункеры для сыпучих компонентов этих смесей и шихтовых материалов плавки. В ряде случаев уровень шихты контролируется непосредственно в плавильной печи, например в шахте вагранки.

Устройства для контроля уровня подразделяются на уровнемеры и сигнализаторы уровня. *Уровнемеры* обеспечивают возможность непрерывного измерения уровня в определенном диапазоне, *сигнализаторы уровня* сигнализируют о достижении уровнем контролируемой среды некоторых предельных значений. Некоторые приборы сочетают в себе функции как уровнемеров, так и сигнализаторов уровня.

Для контроля уровня жидкостей и сыпучих материалов используют: механические, электрокондуктометрические, емкостные и тепловые приборы, гидростатические уровнемеры, уровнемеры и сигнализаторы излучения (радиоизотопные, фотоэлектрические, радиоволновые).

3.6.1. Механические приборы

Различают поплавковые, буйковые, флажковые, лебедочные и крыльчатые механические приборы.

В *поплавковых и буйковых уровнемерах* (сигнализаторах уровня) использовано перемещение поплавков (рис. 3.54) или

буйков (рис. 3.55), плавающих на поверхности жидкой контролируемой среды под действием подъемной силы.

Для постоянного контроля за предельными значениями уровня сыпучих материалов в бункерах применяют механические *флажковые сигнализаторы*.

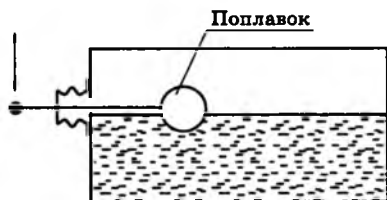


Рис. 3.54

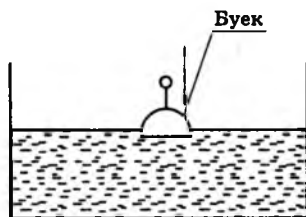


Рис. 3.55

Схема флажкового сигнализатора уровня, предназначенного для управления пневмоцилиндром плужкового сбрасывателя оборотной формовочной смеси с ленточного конвейера в бункер, представлена на рис. 3.56.

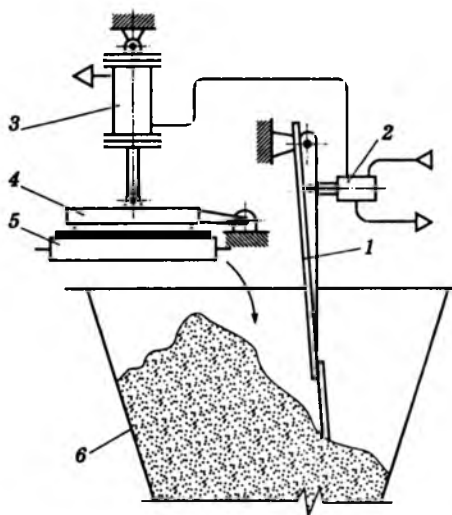


Рис. 3.56

В исходном положении плужок 4 сбрасывателя лежит на ленте конвейера 5. При движении ленты транспортируемая формовочная смесь наталкивается на неподвижный плужок и сбрасывается в бункер 6. При достижении некоторого уровня смеси в бункере флажок 1 отклонится от вертикального положения и, переместив золотник пневмораспределителя 2, включит подачу сжатого воздуха из сети в пневмоцилиндр 3, который поднимет плужок 4 вверх. Поступление сыпучего материала в бункер прекратится. При снижении уровня смеси в бункере флажок 1 вернется в исходное положение. Сжатый воздух из пневмоцилиндра 3 выйдет через пневмораспределитель 2 в атмосферу. Плужок под действием собственного веса опустится на ленту, и смесь снова будет заполнять бункер.

Сигнализаторы такой конструкции имеют невысокую точность регулирования уровня.

Лебедочные (зондовые) уровнемеры и сигнализаторы уровня предназначены для определения уровня с помощью перемещаемого зонда. Применяются для измерения и сигнализации уровня шихтовых материалов в вагранках.

Лебедочный уровнемер представляет собой лебедку, периодически опускающую груз на шихту. Наличие шихты определяется по ослаблению натяжения троса. Блок лебедки, находящийся в шахте, расположен выше завалочного окна и помещен в защитный кожух, который охлаждается сжатым воздухом.

Крыльчатые сигнализаторы уровня применяются для контроля уровня сыпучих материалов на участках смесеприготовления и регенерации формовочных смесей.

Действие крыльчатых сигнализаторов уровня основано на торможении вращающейся крыльчатки контролируемой средой. Синхронный двигатель 1 (рис. 3.57) через зубчатую передачу 2 и червячную передачу 3 вращает крыльчатку 4. При погружении крыльчатки в материал она останавливается, а червяк червячной передачи 3 передвигается поступательно вместе с валом 5 и нажимает на рычаг 6. Рычаг при этом поворачивается и посредством ртутных контактов (на схеме не показаны) отключает двигатель 1 и включает сигнальную лампу (на схеме не показана). Когда уровень материала снижается, крыльчатка освобождается. Рычаг 6 под действием противовеса 7 возвращается в исходное положение. Двигатель включается и начинает снова вращать крыльчатку, а сигнальная лампа отключается.

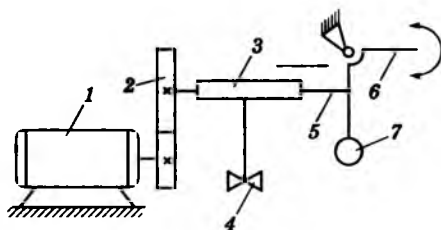


Рис. 3.57

Для сигнализации о наличии материала на ленте транспортера применяют сигнализаторы, действие которых основано на использовании металлической гребенки, отклоняющейся под воздействием контролируемого материала и замыкающей электрическую цепь выходного сигнализирующего устройства.

3.6.2. Электрокондуктометрические, емкостные и тепловые приборы

Электрокондуктометрические и емкостные сигнализаторы (реле уровня) применяют для сигнализации о достижении предельных значений уровня сыпучих и жидких материалов в бункерах и резервуарах.

Действие *электрокондуктометрических сигнализаторов* основано на возникновении электрической цепи между электродами при контакте с ними токопроводящего материала контролируемой среды [3].

Измерительная система состоит из первичного преобразователя и релейного блока (вторичного преобразователя). Исполнение измерительных систем может быть различным и зависит от вида контролируемого материала и характера технологического оборудования.

На рис. 3.58 показан вариант схемы установки и подключения преобразователей 1 и 2 в бункере для сыпучих материалов. В отсутствие материала в бункере сигнальные лампы 4

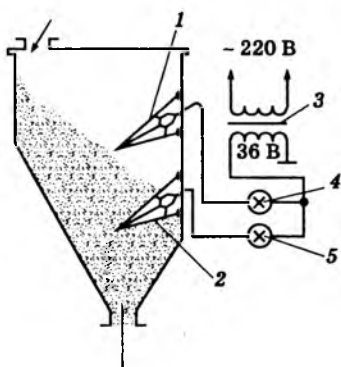


Рис. 3.58

(верхний уровень) и 5 (нижний уровень) выключены, так как разомкнуты цепи их питания. При заполнении бункера материалом вначале включается сигнальная лампа 5, так как включается электрическая цепь: вторичная обмотка трансформатора 3 — сигнальная лампа 5 — электрод первичного преобразователя 2 — материал бункера — заземленный корпус бункера. Сигнальная лампа 5 оповещает персонал о том, что уровень сыпучего материала в бункере низок, поэтому оператор продолжает его заполнение до включения лампы 4.

На рис. 3.59 показан вариант схемы установки и подключения первичных электродных преобразователей (электродов) 1 и 2 в резервуаре для электропроводной жидкости. При заполнении резервуара вначале включается лампа 3 (нижний уровень), так как при достижении жидкостью электрода 1 создается электрическая цепь: вторичная обмотка трансформатора 5 — сигнальная лампа 3 — электрод 1 — жидкость — заземленный корпус резервуара — вторичная обмотка трансформатора. Затем включается лампа 4 (верхний уровень), так как создается электрическая цепь: вторичная обмотка трансформатора 5 — сигнальная лампа 4 — электрод 2 — жидкость — заземленный корпус резервуара — вторичная обмотка трансформатора, и оператор отключает подачу жидкости. Если из резервуара начнется отбор жидкости, то вначале погаснет лампа 4, а затем — 3. Отключение сигнальной лампы 3 оповещает персонал о том, что уровень жидкости в резервуаре низок и необходимо подать команду для его заполнения, т.е. до включения лампы 4.

Действие емкостных сигнализаторов основано на изменении электрической емкости чувствительного элемента при его соприкосновении с контролируемым материалом, так как диэлектрическая проницаемость материалов, применяемых в литейном

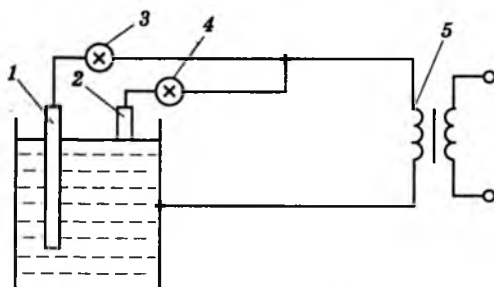


Рис. 3.59

производстве, значительно отличается от диэлектрической проницаемости воздуха. Чувствительным элементом датчика является колебательный контур. Изменение параметров колебательного контура при подходе уровня контролируемой среды к чувствительному элементу преобразуется электрической схемой в напряжение постоянного тока, управляющего, в свою очередь, работой выходного реле.

Действие *тепловых приборов* (рис. 3.60) основано на различии теплопроводности воздуха и жидкости. В этом случае применяют термометр сопротивления, первичным преобразователем которого является терморезистор R . Если, например, терморезистор находится в жидкости, то его теплоотдача будет значительно больше, чем в воздухе, и соответственно показание термометра будет выше. Следовательно, по разнице показаний термометра при подъеме уровня жидкости в емкости можно судить о положении границы раздела двух сред.

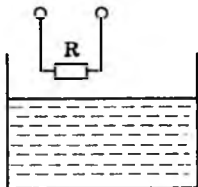


Рис. 3.60

3.6.3. Гидростатические уровнемеры

Гидростатические уровнемеры и сигнализаторы применяют для определения уровня жидкости в открытых резервуарах и сосудах под давлением.

Действие гидростатических уровнемеров основано на измерении манометром M давления газа при продувании его через контролируемую среду (рис. 3.61) или гидростатического давления жидкости (рис. 3.62), а также на измерении стрелы прогиба мембраны I под давлением жидкости (рис. 3.63). Последний способ пригоден для измерения уровня сыпучих материалов при отсутствии налипания их на мембрану.

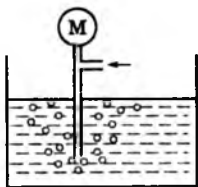


Рис. 3.61



Рис. 3.62

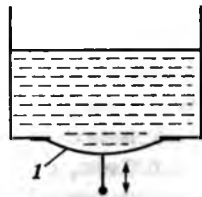


Рис. 3.63

3.6.4. Уровнемеры и сигнализаторы излучения

В уровнемерах и сигнализаторах излучения используется различие плотности сред, образующих границу раздела. К ним относятся радиоактивные (гамма-излучение), фотоэлектрические, радиоволновые приборы бесконтактного контроля, состоящие из источников излучения и приемников-регистраторов.

Радиоактивные сигнализаторы уровня применяют для контроля уровня твердых сыпучих, гранулированных и жидких веществ в открытых резервуарах и сосудах под давлением. Их отличительной особенностью является то, что для получения информации о положении уровня не требуется непосредственного контакта измеряемой среды с чувствительным элементом.

В комплект первичного преобразователя (гамма-датчика) радиоактивного сигнализатора уровня входят гамма-излучатель 1 и гамма-индикатор 2 (рис. 3.64), установленные снаружи контролируемого объекта 3.

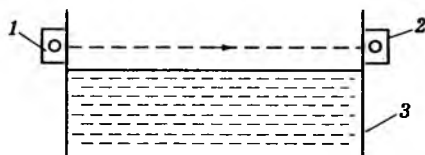


Рис. 3.64

Действие радиоактивного сигнализатора уровня основано на различной способности воздуха и контролируемого материала поглощать гамма-излучение. Радиоактивное излучение, проходя через вещество, вступает во взаимодействие с его атомами. Изменения интенсивности гамма-лучей указывают на положение уровня материала в бункере.

В качестве источников излучения используют искусственные радиоактивные изотопы Co^{60} , Sr^{90} , Cs^{137} . Изотопы помещают в толстостенные ампулы, имеющие окна для выхода гамма-лучей. Приемниками служат ионизационные камеры, сцинтилляционные счетчики и др. Сигнал от счетчиков поступает в релейный блок, в котором он усиливается до величины, достаточной для включения контактной системы реле. Прибор может работать при толщине стенок стальных резервуаров до 100 мм.

Действие *фотоэлектрических сигнализаторов уровня* (рис. 3.65) основано на использовании контролируемой среды в качестве непрозрачного экрана между источником света 1 и светоприемником 2 типа фотореле. Фотоэлектрические сигнализаторы применяют для сигнализации о положении уровня жидких и сыпучих материалов, а также металла при заливке форм.

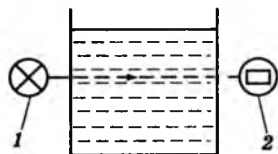


Рис. 3.65

Радиоволновые уровнемеры производят локацию поверхности среды ультракороткими радиоволнами. Область их применения — любые материалы в широком интервале температур (до 1500 °С) и давлений (от вакуума до 36 МПа).

Автоматический контроль загрязнения воздуха, промышленных газов

3.7. И СТОЧНЫХ ВОД

Контроль загрязнения газообразных сред. Известен ряд методов непрерывного измерения макроконцентрации пыли в газообразных средах: осаждение пыли на фильтре, улавливание пыли водой, оптический абсорбционный, оптический метод интегрального светорассеивания, индукционный, контактно-электрический, акустический, емкостный и пьезоэлектрический.

Широко применяется *метод осаждения пыли на фильтре*. При пропускании газового потока через фильтр с постоянной скоростью измеряют перепад давлений на фильтре. Концентрацию пыли определяют по массе частиц, осевших на фильтре.

Метод улавливания пыли водой основан на улавливании частиц пыли постоянным потоком воды с последующей оценкой степени ее помутнения. Может быть использован серийный прибор — нефелометр, например, типа ФЭК-М.

Способность частиц пыли к поглощению энергии света лежит в основе *оптического абсорбционного метода*. Метод практически безынерционен и не требует отбора пробы. В то же время приборы, основанные на использовании этого метода, чувствительны к изменению дисперсного состава пыли и обладают узким диапазоном измерения.

Оптический метод интегрального светорассеивания основан на рассеивании светового потока частицами пыли. Позволяет измерять массовую концентрацию как монодисперсной, так и полидисперсной пыли без отбора пробы и с более высокой точностью, чем абсорбционный метод. Этот метод особенно эффективен при малых концентрациях пыли в газах.

Индукционный метод позволяет измерить концентрацию пыли в газе по величине заряда, индуцируемого на электроде измерительной камеры при протекании через нее заряженных частиц пыли. Индукционный метод характеризуется высокой чувствительностью и реализуется с помощью простых устройств, эффективен при контроле крупных частиц.

Контактно-электрический метод основан на способности пылевых частиц электризоваться при соприкосновении с твердым материалом. Существует линейная зависимость между массовой концентрацией пыли и силой тока. Концентрацию пыли определяют по силе тока в цепи токосъемного электрода.

Акустический метод основан на ослаблении ультразвукового поля. Результаты измерения зависят от давления, влажности и температуры газа, а также дисперсного состава пыли.

Емкостный метод позволяет определить концентрацию пыли по изменению емкости конденсатора, между обкладками которого оказываются пылевые частицы. При этом следует учитывать, что на результаты измерения оказывают влияние электрические свойства частиц пыли.

Пьезоэлектрический метод основан на подсчете количества ударов частиц пыли о поверхность пьезокристалла в единицу времени. Метод обладает высокой разрешающей способностью, но применим только в случае, когда частицы пыли имеют размеры более 2 мкм.

Важнейшим условием достоверности и надежности определения концентрации пыли в газообразных средах является правильная организация отбора пробы запыленной среды из газового потока.

Пылегазовая среда является неустойчивой аэродисперсной системой, причем пыль, как правило, оказывается полидисперсной, т.е. характеризуется широким спектром размеров и форм частиц, а также различными физико-химическими свойствами.

Во избежание сепарации частиц пыли по высоте пробу запыленной среды, например из газохода, необходимо отбирать на вертикальном участке. Для уменьшения возмущения контролируемого потока газа пробу отбирают с помощью трубчатого зонда, направленного навстречу потоку [4].

Для представительности пробы, отбираемой из газохода 1 с помощью пробоотборного зонда 2 (рис. 3.66), необходимо соблюдать следующие требования:

- пробоотборный зонд должен быть тонкостенным или иметь заостренные кромки для минимизации возмущений потока при встрече с зондом; минимальный диаметр канала пробоотборного зонда 6 мм (рис. 3.67);
- поток газа в месте установки зонда должен быть ламинарным;
- пробу нужно отбирать на прямом участке газохода длиной не менее $8D$ (D — диаметр газохода) перед зондом и $2D$ за ним при возможно более строгом соблюдении изокINETИЧНОСТИ, т.е. при равенстве скоростей потока в газоходе v_r и пробоотборном зонде $v_{пр}$.

При неравномерном распределении концентрации пыли в поперечном сечении газохода следует корректировать непредставительность пробы введением поправочного коэффициента K_c .

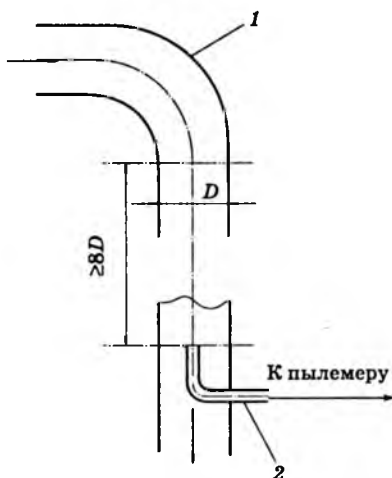


Рис. 3.66

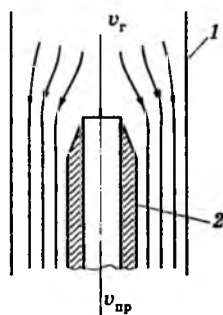


Рис. 3.67

Вниманию K_c определяют экспериментально при отборе проб газа из различных точек поперечного сечения газотока. Тогда средняя по сечению концентрация пыли $\bar{C}_n$ определяется по формуле

$$\bar{C}_n = K_c C_n,$$

где C_n — концентрация пыли в точке отбора пробы.

При необходимости определения *абсолютного выноса пыли* (массы пыли) в течение заданного интервала времени Δt может быть использована специальная измерительная система [4]. В этом случае (рис. 3.68) газоток 4 оснащают термопарой 3 и пробоотборным зондом 5. Часть газотока выполняется в виде трубы Вентури. Перепад давлений на трубе Вентури измеряется с помощью кольцевых отборников 1 и 2. Сигналы температуры, давления, перепада давлений и концентрации пыли, поступающие соответственно от термопары 3, манометра 7, дифманометра 8 и пылемера 6, через устройство связи с объектом (УСО) вводятся в ЭВМ. ЭВМ вычисляет значение абсолютного выноса пыли m (мг) по формуле

$$m = k \int_0^{\Delta t} \sqrt{\frac{273+t}{101,5+p}} \Delta p n d\tau,$$

где k — коэффициент пропорциональности; t — температура, °С; p — давление, кПа; Δp — перепад давлений, кПа; n — концентрация пыли, мг/м³; Δt — заданный интервал времени.

Количественный химический анализ микроконцентраций загрязнений газообразных веществ требует проведения тех же подготовительных операций, что и газовый анализ макроконцентраций.

Для анализа микропримесей могут быть использованы автоматические хроматографы. Колонки хроматографов при этом готовят так же, как для газодсорбционной или газожидкостной хроматографии с использованием специальных сорбентов. Дешифровка хроматограмм в АСУ ТП может производиться с помощью ЭВМ.

Контроль сточных вод. Для автоматического контроля микропримесей в сточных водах используют электрохимические методы: электрокондуктометрический, кулонометрический, полярографический и потенциометрический.

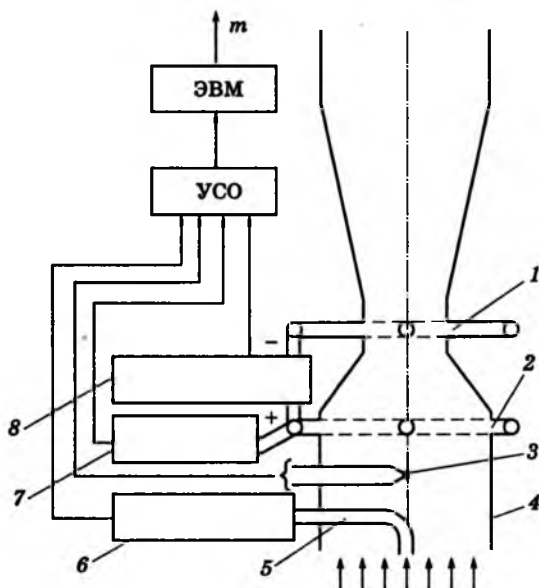


Рис. 3.68

Электрокондуктометрический метод определяют суммарную концентрацию H_2S и SO_2 от 0 до 0,5 % по электропроводности их водного раствора. Недостаток метода — отсутствие селективности.

Кулонометрический метод основан на измерении тока электролиза водного раствора, что позволяет получать результаты, подобные результатам электрокондуктометрического метода.

Полярографический метод основан на зависимости тока электролиза при линейно возрастающем во времени напряжении. При этом определяется селективно каждый вид ионов в пределах от 0,1 до 20 мг/л.

Потенциалометрический метод основан на использовании ионоселективных и стеклянных электродов. Этим методом можно определить заданный вид иона по ЭДС гальванической цепи, зависящей от концентрации ионов в электролите и окислительно-восстановительных процессов на электродах, в пределах от 0 до 5 мг/л.

3.8. Измерение силы и массы

При автоматизации различных переделов литейного производства широко применяются автоматические взвешивающие устройства — *автоматические весы*. Весы обязательно имеют различные силоизмерительные датчики в комплекте с вторичными измерительными приборами (электронными уравновешенными мостами).

В автоматических весах измеряется (в ньютонах) сила тяжести F определенной порции материала, а его масса m (в килограммах) вычисляется по формуле $m = F/9,81$.

Техника измерения механических усилий иногда имеет самостоятельное значение, например при оценке величины давления формовочной смеси на модельную плиту в некоторых процессах уплотнения смесей при формовке.

Силоизмерительные устройства по методу измерения подразделяются на две группы: первая — датчики с перемещением своих конструктивных элементов под действием измеряемой силы и преобразованием деформации упругого (пружинного) чувствительного элемента в электрический сигнал, вторая — датчики без видимого перемещения элементов конструкции.

Принцип действия силоизмерительного устройства первой группы (рис. 3.69) заключается в том, что платформа 1, перемещаясь под действием силы F , упруго сжимает пружину 2 пропорционально этой силе. Платформа с помощью штока 3 связана с сердечником 4 дифференциально-трансформаторного преобразователя 5, на выходе которого формируется электрический сигнал. Величина сигнала линейно связана с величиной перемещения платформы 1 и, следовательно, со значением измеряемой силы F .

Силоизмерительные устройства первой группы применяют в весах,

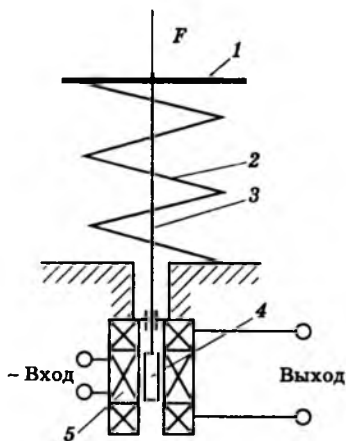


Рис. 3.69

подверженных действию ударных нагрузок, например ударов тяжелых кусков металлической шихты при дозировании материалов плавки. При этом благодаря демпфирующему действию пружин исключается возникновение остаточной деформации элементов датчика.

Работа силоизмерительных устройств второй группы основана на использовании некоторых непосредственно преобразуемых в электрический сигнал эффектов, степень проявления которых функционально связана с упругой деформацией элемента, воспринимающего действие измеряемой силы. Такими эффектами являются: тензорезистивный эффект, магнитная упругость и магнитная анизотропия.

В схеме тензорезисторного первичного преобразователя (рис. 3.70) на противоположных гранях упруго деформируемого металлического элемента 5 размещены тензодатчики 1...4. Витки двух из них ориентированы в направлении деформации элемента контролируемой силой F , а двух других — в направлении, перпендикулярном к направлению деформации. Отдельные тензодатчики соединены в мостовую схему. Это позволяет повысить общую чувствительность первичного преобразователя и существенно уменьшить дополнительную температурную погрешность.

Явление магнитной упругости заключается в том, что упругая деформация некоторых материалов, например железохром-алюминиевой стали, сопровождается изменением их магнитной проницаемости.

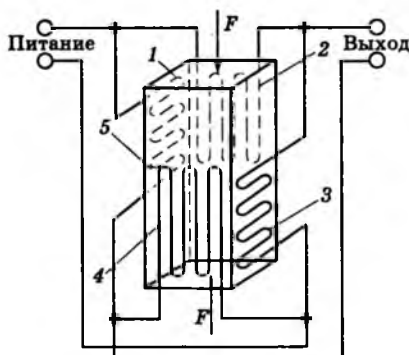


Рис. 3.70

Для материала с положительной магнитострикцией магнитная проницаемость в направлении, совпадающем с направлением действия силы, уменьшается, а в направлении, перпендикулярном к линии действия силы, — возрастает. Такое различие магнитной проницаемости одного и того же материала по разным направлениям называется *магнитной анизотропией*.

В стальном сердечнике 1 магнитоанизотропного силоизмерительного датчика (рис. 3.71) просверлено четыре сквозных отверстия. В них во взаимно перпендикулярных плоскостях размещены витки обмоток 2 и 3. К одной из этих обмоток — обмотке возбуждения подводят стабилизированное напряжение переменного тока, а другая обмотка является выходной.

При отсутствии нагрузки материал сердечника изотропен, поэтому магнитные силовые линии поля обмотки возбуждения не пересекают плоскость выходной обмотки и ЭДС индукции в ней равна нулю. Нагружение сердечника 1 силами F делает его материал анизотропным. Силовые линии магнитного поля пересекают плоскость витков выходной обмотки, и в ней возбуждается ЭДС, практически прямо пропорциональная внешнему усилию. Для повышения чувствительности весов несколько датчиков объединяют в секции, а их выходные обмотки соединяют между собой последовательно.

Магнитоанизотропные датчики несколько уступают в точности тензорезисторным и магнитоупругим, но обладают более высокой помехозащищенностью и эксплуатационной надежностью.

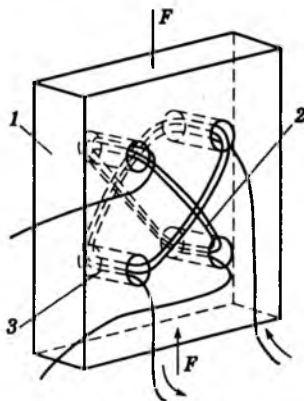


Рис. 3.71

Контроль скорости и положения деталей механизмов и машин

3.9. механизмов и машин

Контроль скорости поступательного движения деталей механизмов и машин обычно осуществляется по частоте вращения вала электродвигателя или редуктора в системе их привода. Приборы для измерения частоты вращения называются *тахометрами*.

Принцип действия *пневмотахометра* (рис. 3.72) заключается в преобразовании частоты вращения ω вала 1 в давление газа (жидкости) p , развиваемое микронагнетателем 2, так как

$$p = f(\omega).$$

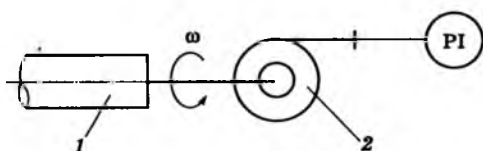


Рис. 3.72

Диск *оптического импульсного тахометра* 2 (рис. 3.73) с прорезью 5, соединенный с вращающимся объектом 1, является прерывателем светового потока на фоторезистор 4, включенный в схему с частотомером 3.

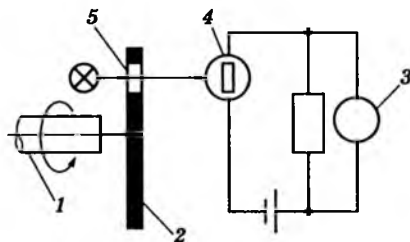


Рис. 3.73

Применяют также и радиоактивный счетчик оборотов. На его диск, связанный с вращающимся валом, наносится точечная радиоактивная метка, периодически появляющаяся с определенной частотой перед регистратором.

В системах автоматического управления электроприводом технологического оборудования широко используются *тахогенераторы* (разновидность тахометров). Тахогенератор (рис. 3.74) представляет собой микроэлектромашину 1 генераторного типа, вал которой механически связан с одним из валов 2 системы привода контролируемого объекта. Якорь (ротор) 3 тахогенератора вращается с частотой ω , пропорциональной скорости электропривода, в результате чего генерируется выходной сигнал в форме напряжения (аналоговый сигнал) или частоты электрического тока (иногда частоты импульсов).

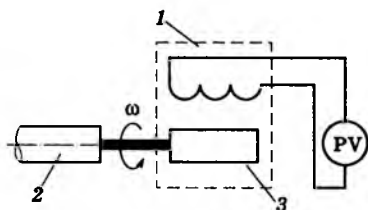


Рис. 3.74

Тахогенераторы с аналоговым выходным сигналом бывают постоянного (погрешность 2...3 %) и переменного тока (погрешность 1,5...2,0 %). Однако при автоматизации некоторых производственных процессов требуется измерять частоту вращения с погрешностью не более 0,5 %. Решение этой задачи возможно на базе применения частотных и импульсных тахогенераторов.

Более высокая точность тахогенераторов с частотным выходом обусловлена тем, что частота выходного сигнала, как мера контролируемой скорости, однозначно определяется ее значением и не подвержена влиянию температуры, возбуждающего напряжения, сопротивления соединительной цепи, ее емкости, индуктивности и других факторов.

В динамических режимах важную роль играет ускорение, измеряемое *акселерометрами*, которые состоят из корпуса и инерционной массы, упруго соединенных между собой пружиной. С изменением ускорения меняется положение массы относительно корпуса, и это перемещение преобразуется в электрический выходной сигнал.

Для автоматического распознавания пространственного положения движущихся объектов серийно выпускаются *путевые выключатели* и *переключатели*, как контактные, так и бесконтактные. При выборе предпочтение следует отдавать бесконтактным устройствам, обеспечивающим наиболее высокую эксплуатационную надежность систем управления в условиях запыленной атмосферы литейного цеха.

Действие бесконтактных путевых выключателей и переключателей основано на использовании явления изменения емкости или индуктивности электрического датчика при входе в его рабочую зону металлического флажка (якоря, или инициатора), который связан с контролируемым объектом, например литейной формой, движущейся по конвейеру. При этом в одних схемных решениях происходит срыв генерации колебательного контура, а в других — переключение триггера из одного устойчивого положения в другое. И то и другое приводит к срабатыванию выходного устройства выключателя (переключателя). При достижении контролируемым объектом заданного положения выходная электрическая цепь путевого выключателя размыкается, что делает невозможным дальнейшее движение.

В отличие от путевого выключателя путевой переключатель устроен таким образом, что его выходные цепи в аналогичном положении переключаются из одного состояния в другое, что обеспечивает взаимное согласование движений различных объектов.

Бесконтактные датчики положения отличаются от выключателей и переключателей генерацией выходного сигнала при достижении контролируемым объектом определенного положения.

Контрольные вопросы

1. Какие параметры литейных технологических процессов требуют измерений и контроля?
2. Перечислите достоинства и недостатки средств измерения температуры на основе преобразователей с механическими выходными сигналами.
3. В чем принципиальные отличия термоэлектрических термометров от термометров сопротивления?
4. Укажите достоинства и недостатки бесконтактных средств измерения температуры.
5. Укажите достоинства и недостатки пружинных приборов для измерения давления и разности давлений.
6. В чем принципиальные отличия в устройстве расходомеров постоянного и переменного перепада давления?
7. Какие средства автоматизации используют при определении расхода сыпучих материалов?

8. Укажите преимущества СВЧ-влажномеров для контроля влажности формовочных смесей по сравнению с другими влагомерами.
9. В чем принципиальные отличия в устройстве автоматических термокондуктометрических и термохимических газоанализаторов?
10. Какие методы и приборы автоматического контроля загрязнения воздуха, промышленных газов и сточных вод применяются в литейном производстве?

4

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В литейном производстве применяются системы, состоящие из измерительных приборов, вычислительных устройств, исполнительных механизмов, регулирующих органов и других аппаратов. Различают релейно-контакторные и бесконтактные системы управления, средства пневматической автоматики, а также программное управление на основе вычислительной техники.

Общие сведения об аппаратах систем управления

4.1.

Задачи управления в релейно-контакторных системах решаются в основном путем замыкания и размыкания электрических контактов.

Основные аппараты систем релейно-контакторного управления — тяговые электромагниты, контакторы, промежуточные реле, кнопки управления, выключатели и переключатели, путевые и конечные выключатели (переключатели), а также различные реле (времени, тока, напряжения, давления, скорости).

Тяговые электромагниты применяют для дистанционного управления вентилями, кранами и задвижками в пневмо- и гидроприводах, в зажимных и тормозных устройствах и в других случаях, когда требуется быстрое перемещение рабочих органов на небольшое расстояние.

Контакторы предназначены для дистанционного включения, выключения и переключения электрических силовых цепей переменного и постоянного тока, *промежуточные реле* — для коммутации (соединения, переключения) цепей управления, *кнопки управления* — для ручного замыкания и размыкания электрических цепей с помощью контактов.

Выключатели и переключатели имеют несколько фиксированных положений, в которых они замыкают различные группы контактов при ручном воздействии на них.

Путевые и конечные выключатели (переключатели) схожи по устройству с кнопками управления и ручными переключателями. Они устанавливаются на оборудовании и предназначены для автоматического срабатывания от подвижных деталей машин и механизмов, для сигнализации о местонахождении механизма, например, в конце выполнения какого-либо перехода.

Реле времени — аппараты, выдающие собственные сигналы (например, в виде замыкания контактов) через определенный, заранее заданный промежуток времени после поступления сигналов на их входы.

Широко применяются моторные и электронные реле времени. **Моторные реле времени** имеют электродвигатель; при включении реле он начинает вращаться и поворачивает рычаг, который переключает электрические контакты. Моторные реле времени обеспечивают выдержки от 30 с до 24 ч.

В электронных реле времени для задержки сигнала используется время зарядки или разрядки конденсатора. Они обеспечивают выдержки времени от долей секунды до нескольких минут. Цепь питания электронного реле остается включенной во время работы системы управления.

Реле времени могут иметь следующие типы выходных контактов: замыкающие с выдержкой времени при замыкании или размыкании; размыкающие с выдержкой времени при замыкании или размыкании; обычные, т.е. срабатывающие без выдержки времени.

Реле всех перечисленных типов имеют контакты, которые замыкаются (размыкаются) при определенных, задаваемых настройкой, значениях тока, напряжения и т.д. Они служат для подачи управляющему устройству соответствующих сигналов, например о наличии или отсутствии необходимого тока или напряжения.

Сложной задачей для релейно-контакторного управления является выполнение алгоритмов непрерывного (аналогового) управления. Одно из решений этой задачи связано с использованием механической передачи (обычно червячного редуктора). Например, такие приводы часто применяются для управления регулирующими клапанами или реостатами, поворотными заслонками, шиберами.

Другое решение — замена непрерывного алгоритма управления ступенчатым. Например, пуск асинхронных двигателей с фазовым ротором осуществляется с помощью пускового реостата, представляющего собой несколько ступеней постоянных сопротивлений (резисторов), которые по мере разгона двигателя последовательно выводятся из цепи обмотки ротора.

Недостатками релейно-контакторных систем являются ограниченный срок службы аппаратов (500 тыс...5 млн срабатываний, таким образом, их ресурс может быть выработан за 1,0...1,5 года работы), значительная инерционность и пониженная надежность в условиях литейного цеха (отказы при загрязнении контактов). Кроме того, в отличие от программных систем, релейно-контакторные системы являются «жесткими», т.е. для внесения каких-либо изменений в их работу необходимо изменение конструкции системы.

В *бесконтактных системах автоматического управления* функции контакторов выполняют бесконтактные переключающие устройства на тиристорах, функции реле — логические элементы, функции аппаратов управления (кнопок управления, конечных выключателей) — бесконтактные кнопки, бесконтактные переключатели и т.п. По принципу действия бесконтактные аппараты делятся на магнитные, транзисторные и тиристорные. Первые два типа имеют небольшую мощность и используются, в основном, в цепях управления.

На основе полупроводниковых приборов — тиристоров и симисторов — изготавливают бесконтактные тиристорные пускатели, электронные устройства плавного пуска, частотно регулируемые приводы на основе асинхронных двигателей.

Бесконтактные путевые переключатели по принципу действия могут быть индуктивные, трансформаторные, генераторные, основанные на эффекте Холла, магнитоуправляемые и др.

Бесконтактная аппаратура в отличие от релейно-контакторной имеет практически неограниченный срок службы, надежна в работе, безынерционна. Число переключений в силовых устройствах достигает 20 млн. Верхний допустимый предел рабочих температур 80 °С.

В *средствах пневматической автоматики* (пневмоавтоматики) информативными и управляющими сигналами служит воздух со стандартным диапазоном изменения давления 0,02...0,10 МПа.

Автоматические системы используют *универсальную систему элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА)*. Основными элементами УСЭППА являются постоянные и переменные дроссели, емкости, повторители, элементы сравнения, логические элементы, усилители и реле. Они монтируются на платах из органического стекла и соединяются разводкой пневматических каналов, через которую осуществляется связь между элементами. Различные устройства управления (регуляторы непрерывного или дискретного действия, релейные схемы, оптимизирующие устройства и др.) создавались коммутацией пневмоэлементов универсального назначения.

Средства пневматической автоматики пожаро- и взрывобезопасны, надежно работают при более высоких температурах, чем контактные и бесконтактные электрические средства автоматики, поэтому применялись для автоматического управления кокильными машинами. Однако средства пневмоавтоматики более инерционны, чем электрические, и имеют плохую помехоустойчивость.

Программное управление может быть реализовано комбинированием обычных электромагнитных реле и реле времени с помощью программных реле времени, командоаппаратов и программируемых контроллеров.

При управлении с помощью программируемых контроллеров все или основные задачи управления решаются программно-вычислительным устройством. В одних программных устройствах программу можно изменять, в других — в нее можно вводить необходимые для настройки параметры, поэтому отпадает необходимость в использовании большого числа аппаратов (реле, логических элементов и др.) с «жесткими» соединениями (электрическими или пневматическими) между ними для решения логических и вычислительных задач. Однако получать информацию от объекта управления и реализовывать управляющие воздействия необходимо посредством устройств, использующих рассмотренные выше элементные базы.

Проектирование программной *цикловой системы управления* начинается с разработки циклограммы работы проектируемого устройства. На основании циклограммы формулируются требования к работе устройства, записывается порядок его действия. Обычно описание работы системы «объект управления — устройство управления» представляют в виде перечня предписаний,

указывающих содержание и последовательность выполняемых операций (алгоритма работы). Для описания работы устройства управления составляют *логическую схему алгоритма* (ЛСА) или эквивалентную ей *граф-схему алгоритма управления*. На основе ЛСА составляют таблицу включений, в результате чего получают искомую релейную схему.

Программное управление

4.2. на основе вычислительной техники

В качестве программируемых устройств управления в производстве применяют *программируемые логические контроллеры* (программируемые контроллеры, или PLC) — цифровые электронные аппараты общего назначения, которые принимают входные сигналы, оценивают их и генерируют сигналы управления в соответствии с программой, заложенной в память.

В зависимости от назначения PLC можно разделить на две группы: PLC для выполнения простых задач управления и PLC для выполнения функций управления и регулирования.

В микропроцессорных системах управления регуляторы как физические устройства отсутствуют; их функции выполняют *вычислительные алгоритмы*, которые реализуют определенный закон регулирования.

Управляющая информация от программируемого контроллера к технологическому процессу (ТП) поступает по каналам связи. Длина каналов связи может изменяться от нескольких сантиметров до сотен километров. Каналы связи подключают к микропроцессору PLC с помощью оптронов (см. рис. 2.32).

Аналоговые сигналы преобразуются в цифровую форму с помощью *аналого-цифровых преобразователей* (АЦП) — входных аналоговых модулей.

Опрос датчиков управляемого процесса выполняется по программе, реализуемой микропроцессором PLC. Техническая реализация опроса возлагается на порты или в более сложном случае на периферийные адаптеры.

Программируемый контроллер сравнивает по программе результаты измерений значений параметров с заданными и в зависимости от результата сравнения вырабатывает управляющие сигналы.

Выводы контроллеров, на которых действуют цифровые сигналы, соединяются с каналами связи через оптроны. По каналам связи управляющие сигналы поступают к исполнительным органам, воздействующим на ход процесса.

Некоторые управляющие сигналы могут быть преобразованы в аналоговую форму с помощью *цифро-аналоговых преобразователей* (ЦАП).

Структурная схема программируемого контроллера представлена на рис. 4.1. *Основными элементами PLC* являются: устройства ввода-вывода (В/В) 1 и 4; центральное процессорное устройство (ЦПУ) 2; запоминающее устройство (ЗУ) 3; источник питания (ИП) 5; программирующее устройство (ПУ) 6.

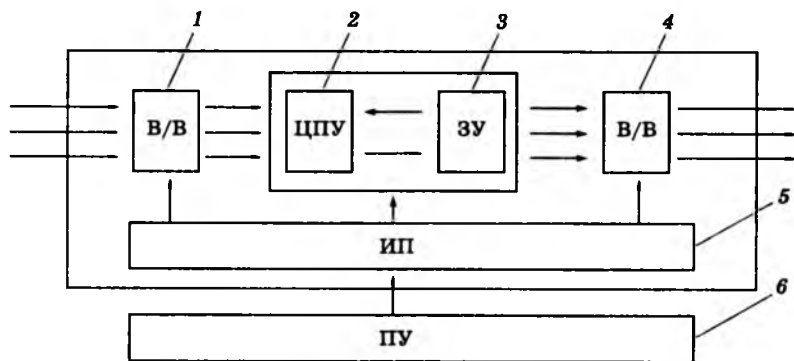


Рис. 4.1

Центральные процессорные устройства создаются на базе микропроцессоров (МП). Основная характеристика МП — *разрядность*. Она дает представление о возможности обработки машинного слова определенной длины. Современные PLC базируются на 8-, 16- и 32-разрядных МП.

ЦПУ отвечает за функционирование программируемого контроллера, заключающееся в последовательном (строка за строкой) сканировании процессором записанной в памяти программы и вычислении значений соответствующих функций из системы управления программой с занесением их в память данных.

После завершения цикла сканирования ЦПУ подает команду на осуществление цикла обмена информацией между регистрами входов-выходов и памятью данных. Затем процессы сканирования и обмена информацией повторяются.

Запоминающее устройство необходимо для хранения программ и текущей информации о состоянии объекта управления. По функциональному назначению различают три вида ЗУ:

- ROM — постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), которое реализует жесткое программирование, так как программа записывается в память на стадии изготовления ЗУ и остается неизменной до его физической замены;

- RAM — оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), в котором хранятся текущие значения параметров процесса и другая оперативная постоянно меняющаяся информация;

- PROM, EPROM, EEPROM — перезаписываемое запоминающее устройство (ППЗУ), предназначенное для хранения технологических программ пользователей. Информация в ППЗУ меняется при изменении технологии или модернизации процесса. Все три типа ППЗУ отличаются от ПЗУ тем, что информация в них программируется пользователем.

Сравнительно новым видом памяти является энергонезависимое ЗУ (не требует никакого дополнительного источника питания) с произвольным доступом (NOVRAM), особенность которого заключается в том, что его действие подобно ОЗУ, а хранение данных — ППЗУ типа EEPROM.

По способу хранения информации ЗУ подразделяются на статические и динамические.

В с т а т и ч е с к и х информация сохраняется в накопителе в виде устойчивого состояния триггеров, в **д и н а м и ч е с к и х** — в виде зарядов на конденсаторах, имеющих в составе ячеек памяти (ЯП). Для сохранения информации в динамических ЗУ необходима их периодическая регенерация.

Функциональными характеристиками микросхем памяти являются: информационная емкость, разрядность, быстродействие и потребляемая мощность.

И н ф о р м а ц и о н н а я е м к о с т ь определяется числом одновременно хранящихся в матрице-накопителе единиц информации — бит, **р а з р я д н о с т ь** — количеством двоичных

символов, т.е. разрядов в запоминаемом слове (числе). Например, микросхема K155PV1 имеет информационную емкость 16 бит, разрядность 1 и, следовательно, организацию накопителя 16×1 бит. Быстродействие оценивается временем цикла записи (считывания), отсчитываемым от момента поступления кода адреса до завершения всех процессов в микросхеме при записи (считывании) информации. Потребляемая мощность микросхемой памяти указывается из расчета на 1 бит.

Устройства ввода-вывода обычно представлены набором цифровых и аналоговых модулей, имеющих различное число входов-выходов (4, 8, 16 или 32) и размещаемых, например, на шине DIN рядом с ЦПУ или удаленным от него на расстояние до 4,5 км. Связь между ЦПУ и устройствами ввода-вывода осуществляется по двухпроводному или волоконно-оптическому кабелю в режиме цифровой передачи данных.

На вход PLC могут поступать как дискретные сигналы, возникающие в системе управления при коммутации кнопок, контактов реле переключателей, так и аналоговые сигналы от промышленных приборов (измерительных преобразователей, функциональных устройств и т.д.).

Входное устройство программируемого контроллера имеет цифровые платы для приема дискретных сигналов напряжения в диапазоне от 5 В постоянного тока до 240 В переменного. Аналоговые сигналы сначала поступают на схему АЦП, где преобразуются в последовательность цифровых кодов, а затем на цифровые платы входного модуля PLC.

Выходная система программируемого контроллера обычно настроена на выработку управляющих сигналов в цифровой форме. Иногда помимо функций управления дискретными процессами необходимо проводить непрерывное ПИД-регулирование в отдельных контурах. В таких случаях выходная ступень контроллера дополняется аналоговыми модулями, выходной сигнал с которых поступает на исполнительные органы, клапаны и т.д.

Источник питания преобразует напряжение 120 или 220 В переменного тока в уровни напряжения постоянного тока (обычно 24 В), требуемые для питания функциональных узлов контроллера. Источник питания устанавливают на шине DIN рядом с ЦПУ или выполняют в виде самостоятельного устройства, энергия питания от которого передается по кабелям связи на устройства В/В контроллера.

Программирующее устройство требуется для ввода программ управления в память PLC. Исключение составляют малоканальные микроPLC, имеющие не более 8...10 входов-выходов, программа в которых записана в ПЗУ при изготовлении программируемого контроллера.

Помимо ввода программ, в большинстве случаев необходим постоянный диалог (связь) оператора со средствами управления ТП. Поэтому ПУ работают в комплекте с периферийными устройствами (терминалами).

Терминалы имеют клавишные панели управления и ввода данных, дисплеи с цифровой индикацией на светодиодах или буквенно-цифровой и графической индикацией на экране электронно-лучевой трубки, печатающие устройства и т.д.

Ряд фирм выпускают портативные программаторы (терминалы) с клавишными панелями и индикаторами, которые могут осуществлять функции программирования, редактирования программ и диагностики процесса ввода и отработки программы (PRQ15-PROG-RAMMING CONSOLE). В ряде случаев терминалы имеют звуковые сигналы обратной связи, позволяющие оператору контролировать ввод программ, дисплей на жидких кристаллах, на табло которого автоматически появляется (высвечивается) адресная информация и ошибки программирования.

В зависимости от архитектуры построения системы управления (СУ) и сложности решаемых задач автоматизации PLC оснащаются ПУ с различными функциональными возможностями. Причем для удобства обслуживания средств СУ и повышения гибкости их применения фирмы-изготовители разрабатывают несколько видов ПУ для работы с одной моделью PLC или с серий контроллеров.

Находят применение также стационарные настольные ПУ, состоящие из развитой панели программирования и дисплея на ЭЛТ (электронно-лучевой трубке). Программные инструкции (команды) для загрузки, редактирования и текущего контроля программы, составленной на языке релейно-контактной символики, вводятся с помощью клавиатуры и контролируются на экране дисплея.

Самодиагностика ПУ заключается в том, что при ошибках в составлении программ появляется звуковой или световой сигнал.

Панель программирования имеет сенсорную клавиатуру.

Относительно новым направлением в разработке средств программирования является использование микроЭВМ (компьютеров) в качестве загрузчиков программы. В результате число средств, необходимых для построения СУ, сокращается, так как микроЭВМ могут осуществлять функции программатора и использоваться, если программирование не требует срочности, для оперативных коммерческих расчетов несколькими абонентами.

На рис. 4.2 и 4.3 схематически представлено решение одной и той же логической задачи [6] релейно-контакторной схемой и программно на ЭВМ. Ведется управление контактором КМ, включающим электродвигатель (эта цепь взята из схемы управления загрузкой бункеров на автоматической линии формовки — выбивки).

На схеме рис. 4.2 эта задача решается конечными выключателями SQ1...SQ4. Выводы выключателей введены в электрошкаф и там соединены в жесткую схему. При срабатывании выключателей образуется замкнутая цепь, на контактор подается напряжение, он включается и включает двигатель подъема плужка. В противном случае КМ разомкнут.

На рис. 4.3 показано решение этой же задачи на ЭВМ. Выводы конечных выключателей SQ1...SQ4 подключаются к входам УСО программируемого контроллера. Программа производит опрос SQ1...SQ4 и в зависимости от их состояния (замкнут — разомкнут) выдает в устройство связи с объектом значение управляющего сигнала u . Таким образом, эта программа выполняет функции одной электрической цепи в релейной схеме управления. Управляющая программа обычно состоит из большого числа таких подпрограмм, которые выполняются последовательно одна за другой.

При модернизации систем управления действующего оборудования релейные и жесткие логические схемы обычно заменяются программируемыми контроллерами. Программируемые регулирующие микроконтроллеры применялись вместо нескольких

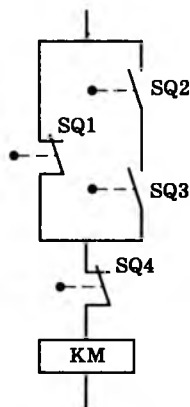


Рис. 4.2

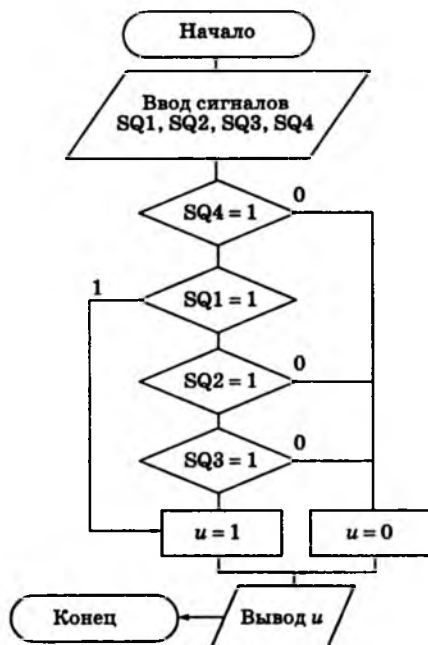


Рис. 4.3

обычных аналоговых или цифровых регуляторов, работающих по ПИ- или ПИД-алгоритму регулирования в системах регулирования (стабилизации) параметров.

4.3. Управление приводами

Исполнительные механизмы литейных машин обычно приводятся в действие асинхронными электродвигателями, а также пневматическими и гидравлическими двигателями. Помимо них требуется также управлять различными нагревательными устройствами и обеспечивать подачу разных жидкостей и газов. Для управления этими механизмами и устройствами (включения и выключения в соответствии с циклограммой) часто используют релейно-контакторную аппаратуру [5].

Для автоматического переключения электрических цепей под нагрузкой применяются контакторы. Кроме включения и отключения, они осуществляют также нулевую защиту электродвигателей. **Контактор** представляет собой выключатель с контактами, управляемыми электромагнитом (см. рис. 2.25). Контакторы различаются по роду тока в катушке (постоянный или переменный), напряжению катушки и номинальному току, протекающему через главные контакты.

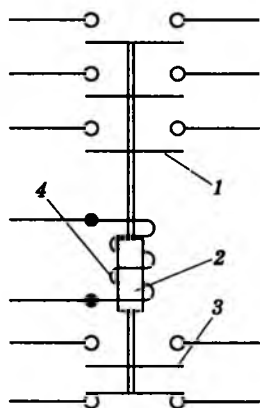


Рис. 4.4

Основными частями контактора (рис. 4.4) являются: главные контакты 1, блокировочные контакты 3, втягивающая катушка 4 и якорь 2. При протекании электрического тока в катушке 4 якорь 2 втягивается в катушку и замыкает контакты 1 и 3. Контакты 1 служат для подключения потребителя электрического тока к сети. Блокировочный контакт служит для шунтирования (параллельного включения) кнопки «Пуск». Во время работы контактора через этот контакт протекает ток питания катушки 4. При падении напряжения в сети ниже 35...40 % от нормального контактор автоматически отключается, так как вес его подвижных частей превышает силу взаимодействия электромагнитного поля катушки с якорем. Поэтому, когда напряжение будет вновь подано (после остановки двигателя), самопроизвольного включения контактора не произойдет (цепь питания катушки 4 будет разомкнута). Этим обеспечивается нулевая защита электродвигателя.

На принципиальных электрических схемах контакты контакторов и других устройств изображаются в исходном положении, т.е. при отсутствии тока в катушке соответствующего аппарата (рис. 4.5). В исходном положении электродвигатель М отключен от сети. Ток через обмотку К1 контактора не протекает, так как контакт кнопки «Пуск» КнП и блокировочный контакт К1 контактора разомкнуты. При нажатии КнП цепь управления замыкается, контактор срабатывает, подключая двигатель к сети тремя контактами К1 и шунтируя блокировочным контактом К1 пусковую кнопку. Отпускание КнП не вызывает отключения

двигателя, так как ток в цепи управления течет через блокировочный контакт К1, который поэтому часто называют контактом самопитания. Для отключения двигателя от сети и приведения схемы в исходное положение достаточно нажать кнопку «Стоп» КнС, разрывающую цепь питания обмотки контактора К1.

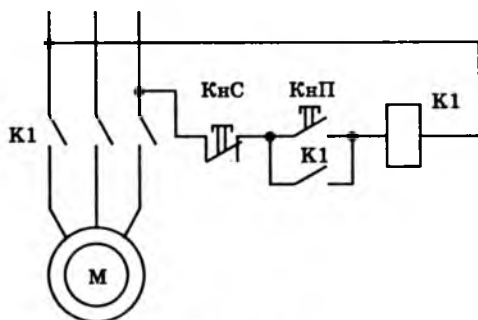


Рис. 4.5

Функции контактора могут выполнять тиристоры (рис. 4.6). В каждую цепь питания статора 1...3 включают по два тиристора 4. Один из них предназначен для пропуска тока в положительный полупериод, а другой — в отрицательный. Для включения электродвигателя М на управляющие электроды тиристоров подаются отпирающие импульсы, для остановки — отпирающие импульсы с тиристоров снимаются. Тиристоры запираются и тем самым отключают двигатель от сети.

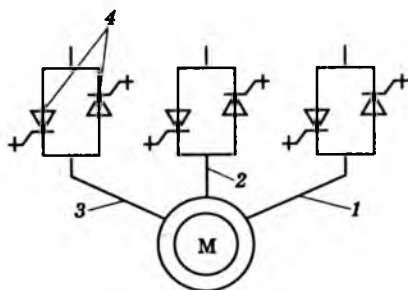


Рис. 4.6

Тиристоры применяют также для плавного пуска асинхронных двигателей, включаемых под нагрузкой. Устройства плавного пуска уменьшают пусковые токи, увеличивают срок службы двигателя, а также позволяют осуществлять энергосберегающий режим (напряжение на асинхронном двигателе изменяется в соответствии с колебаниями нагрузки).

Широкое распространение в качестве исполнительных устройств получили тяговые электромагниты. Пример конструкции запорного клапана для дистанционного или автоматического управления трубопроводами подачи жидкостей и газов с электромагнитным приводом представлен на рис. 4.7. Тяговый электромагнит, состоящий из сердечника 1, якоря 2 и катушки 3 установлен на корпусе 4. Внутри корпуса находятся седло клапана 5 и клапан 6, соединенный штоком 7 с якорем. Возвратная пружина 8 предназначена для запираания клапана. Для открытия клапана пропускают ток через катушку 3. При этом якорь 2 притягивается к сердечнику 1 и посредством штока 7 открывает клапан.

Существуют также запорные клапаны с электрическим приводом, состоящим из электромотора, редуктора и датчиков, контролирующих конечные положения клапана.

На рис. 4.8 приведена схема управления пневмоцилиндром ПЦ с помощью четырехканального распределителя Р с плоским золотником 1. Канал П предназначен для подключения распе-

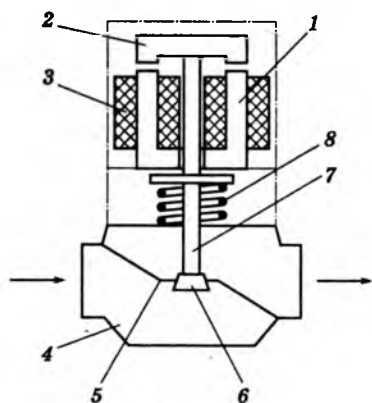


Рис. 4.7

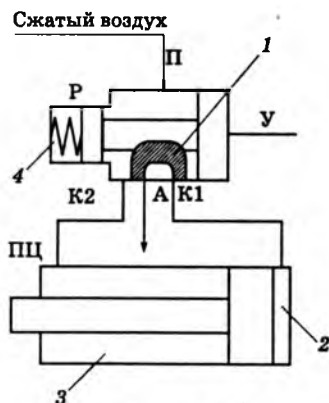


Рис. 4.8

делителя к сети сжатого воздуха, канал А — для выхода отработанного воздуха из ПЦ в атмосферу. Каналы К1 и К2 связаны трубопроводами с нештоковой 2 и штоковой 3 полостями ПЦ. В исходном положении канал К1 связан с каналом А через внутреннюю полость золотника 1. Распределитель имеет одностороннее пневматическое управление. Для его переключения сжатый воздух подается в полость управления распределителя по каналу У от вспомогательного распределителя (на схеме не показан). При этом золотник распределителя изменит положение относительно каналов К1 и К2. Направление движения воздуха в трубопроводах ПЦ изменится. Поршень ПЦ начнет перемещаться влево, вытесняя воздух из штоковой полости 3 через канал А.

При отсутствии управляющего сигнала в канале У золотник под действием пружины 4 вернется в исходное положение. Направление движения воздуха в трубопроводах ПЦ изменится. Сжатый воздух будет подаваться в полость 2, поршень ПЦ вернется в исходное положение, вытесняя воздух из штоковой полости 3 через канал А распределителя.

В связи с недостатками релейно-контакторного управления (см. § 4.1) для включения электродвигателей все чаще используют бесконтактные средства управления, а для управления различными двигателями, в том числе и асинхронными, — бесконтактные тиристорные пускатели.

Контрольные вопросы

1. Какие аппараты применяются в системах релейно-контакторного управления?
2. В чем отличие систем релейно-контакторного управления от цифровых систем управления?
3. Из каких основных элементов состоят программируемые логические контроллеры?
4. Укажите преимущества цифровых систем управления по сравнению с релейно-контакторными системами.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

Методическую основу проектирования систем автоматизированного управления технологическими процессами определяют «Общепромышленные руководящие методические материалы по созданию АСУ ТП» и ряд государственных стандартов, например ГОСТ 20913–75 «Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Стадии создания».

Стадии проектирования систем

5.1. автоматизации

В соответствии с указанными документами работы по проектированию, разработке и внедрению систем автоматизации технологических процессов разделяются на следующие стадии [8]:

- технико-экономическое обоснование;
- техническое задание;
- технический проект;
- рабочий проект;
- опытное внедрение;
- промышленная эксплуатация.

На стадии технико-экономического обоснования (ТЭО) производится предпроектное обследование объектов автоматизации.

Главной задачей ТЭО является обоснование целесообразности автоматизации производственных процессов с учетом наличия высокопроизводительного механизированного оборудования, современных технических и технологических решений, условий труда и ряда других факторов.

При обосновании целесообразности автоматизации определяются требования к объекту управления и средствам автоматизации по следующим пунктам: назначение и условия эксплуатации системы, обслуживание и ремонт, точность изготовления и стабильность параметров, надежность средств автоматизации, технический уровень и качество продукции.

Следующей стадией является *техническое задание* (ТЗ). В процессе разработки ТЗ подтверждается целесообразность автоматизации, определяются исходные технические требования и планируются научно-исследовательские, опытно-конструкторские, проектные и монтажно-наладочные работы по срокам исполнения и организациям-исполнителям.

Основные технические решения по автоматизации и созданию АСУ ТП разрабатываются на стадии *технического проектирования*, связанной с проведением общесистемного анализа и аппаратно-технического синтеза систем автоматизации, разработкой информационного и специального математического обеспечения связи микропроцессорных и робототехнических средств автоматизации управления и механизации технологических операций.

На стадии технического проектирования выполняется разработка: общесистемных решений, необходимых и достаточных для создания рабочего проекта; проектно-сметной документации по автоматизации производственных процессов; проектов заявок на разработку новых технических средств; документации по информационному и специальному математическому обеспечению.

Проектирование систем автоматизации производственных процессов завершается созданием *рабочего проекта*. Выпускаемая на стадии рабочего проекта документация освещает общесистемные вопросы, техническое, организационное и программное обеспечение.

Результатом технического проектирования являются решения по различным аспектам автоматизации с их общесистемной увязкой.

На стадиях *опытного внедрения и промышленной эксплуатации* производится:

- подготовка объекта к внедрению АСУ ТП, включая выполнение строительных и монтажных работ;
- наладка системы автоматизации;
- опытная эксплуатация;
- доработка системы по результатам опытной эксплуатации;
- приемно-сдаточные испытания по вводу системы автоматизированного управления технологическими процессами в промышленную эксплуатацию;
- анализ функционирования системы с определением фактической экономической эффективности и предложений по ее совершенствованию.

Определяющее значение на всех стадиях проектирования играет **инженерный анализ**. Задачи анализа решаются совместно технологами, специалистами по автоматизации, механизации и микропроцессорным системам.

Одним из основных средств общения специалистов различных профессий при автоматизации технологических процессов и производств является язык схем автоматизации (ГОСТ 21.404–85, ГОСТ 2.701–76, ГОСТ 19.002–80, ГОСТ 19.003–80 и др.). В процессе инженерного анализа и проектирования применяют структурные, функциональные, алгоритмические, принципиальные и монтажные схемы.

Структурной схемой называют схему, определяющую основные части системы автоматизации и их взаимосвязи. Целью построения структурной схемы является определение основных контуров системы автоматизации, обеспечивающих функционирование средств автоматики. При этом для обозначения элементов системы автоматизации, как правило, применяют блоки прямоугольной формы. Пример — структурная схема устройства для измерения расхода и количества сыпучих материалов при конвейерном транспорте (см. рис. 3.44).

Функциональной схемой называют схему, отображающую функциональные связи между управляемым технологическим процессом и средствами автоматики. Функциональные схемы автоматизации строятся на базе *технологических схем*, отображающих используемое оборудование, движение материальных потоков и энергетических ресурсов.

Функциональные схемы являются одним из основных проектных документов и средством для общения технологов со специалистами по механизации и автоматизации литейного производства. При разработке функциональной схемы определяют:

- принципы контроля и управления ТП;
- места установки датчиков и исполнительных механизмов на технологическом оборудовании;
- приборы систем автоматизации;
- функциональные связи приборов систем автоматизации;
- виды энергии для передачи информации между приборами и исполнительными механизмами;
- размещение приборов систем автоматики;

- методы контроля и законы управления по каждому из параметров технологического процесса;

- средства автоматической защиты и блокировки схем управления для перехода в режим дистанционного управления и т.п.

Элементы систем автоматизации с точки зрения функциональной схемы делятся на две группы: приборы и исполнительные механизмы.

Приборы, применяемые в системах автоматизации, обеспечивают выполнение следующих функций:

- измерение текущих значений регистрируемых параметров технологического процесса;

- преобразование измеряемых величин в форму сигналов, применяемых при выработке управляющих воздействий регуляторами;

- выработку управляющих воздействий и их вывод на исполнительные механизмы, средства сигнализации и т.п.

Различают следующие *элементы систем автоматизации*:

- первичный измерительный прибор (датчик);

- преобразователь;

- вторичный измерительный прибор;

- регулятор;

- исполнительный механизм;

- регулирующий орган.

При построении функциональных схем автоматизации на технологических схемах определяются точки контроля и регулирования параметров объекта управления, измерительные приборы, преобразователи, исполнительные механизмы и регулирующие органы, средства диспетчеризации и сигнализации с указанием места их установки.

Стандартом предусмотрена возможность построения упрощенной и развернутой схем изображения элементов автоматизации.

На *упрощенной схеме* приборы и средства автоматизации, осуществляющие сложные функции (контроль, регулирование, сигнализацию) и выполненные в виде отдельных блоков, изображают одним условным обозначением. Первичные измерительные преобразователи и вся вспомогательная аппаратура не показываются.

При построении *развернутой схемы* все приборы и блоки, входящие в измерительный, регулирующий или управляющий комплект средств автоматизации, указывают отдельными условными обозначениями, содержащими буквенные, графические и цифровые обозначения. Обозначения приборов и средств автоматизации в рамках функциональных схем (схем автоматизации) определены ГОСТ 21.404–85.

Буквенные обозначения элементов автоматизации делятся на основные и дополнительные. Основные обозначения измеряемых величин и функций (см. прил. 1) определяют вид измеряемой величины (плотность, влажность, температура, масса, давление и т.п.), способ отображения (сигнализация, показание, регистрация) и формирования выходного сигнала (автоматическое регулирование, включение, выключение, блокировка и т.п.). Дополнительные обозначения (см. прил. 2) применяются для указания функциональных признаков элементов автоматизации.

При построении условного буквенного обозначения прибора используется позиционный принцип (рис. 5.1). Например, прибор для измерения температуры в сушильной установке с автоматическим переключением (обеганием), регистрацией и автоматическим регулированием обозначают TIRC, а прибор для измерения давления с показанием и ограничением верхнего предела измеряемой величины — PIN. Примеры условных обозначений приборов и средств автоматизации приведены в приложении (см. прил. 3, 4).

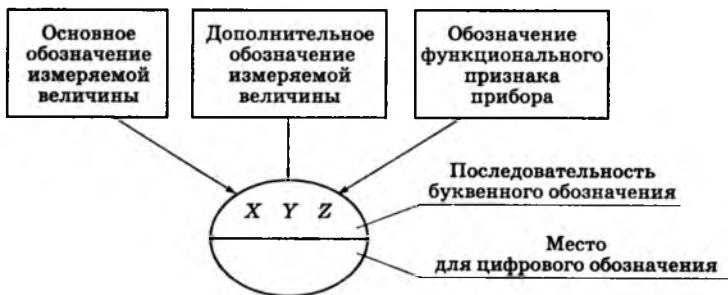


Рис. 5.1

Переход к микропроцессорным системам с программной реализацией функций управления смещает центр тяжести при проектировании систем автоматизации на программно-алгоритмическую основу. **Алгоритмическая схема** (схема алгоритма) отображает последовательность действий в процессе решения задачи (ГОСТ 19.002–80, 19.003–80). Пример алгоритмической схемы системы смесеприготовления см. в п. 5.3.3.

При разработке алгоритмов предусматриваются все необходимые операции по контролю и управлению автоматизируемого оборудования. Для обеспечения ремонтных и регламентных работ с устройствами автоматики в системах предусматривают переход на ручной режим управления. Основные графические символы схем алгоритмов и программ приведены в приложении (см. прил. 5).

Принципиальная схема определяет полный состав элементов системы и связей между ними. Построение принципиальных схем автоматизации осуществляется согласно единой системе конструкторской документации (ЕСКД) «Обозначения условные в графических схемах» ГОСТ 2.701–76...ГОСТ 2.758–81. Наиболее часто используемые условные буквенные и графические обозначения элементов принципиальных электрических схем автоматизации литейного производства приведены в приложении (см. прил. 6, 7).

Монтажные схемы определяют соединения элементов системы автоматизации: провода, жгуты, кабели, зажимы, разъемы, трубопроводы и другие — и показывают места их присоединения и ввода. На фрагменте монтажной схемы подключения регулятора РП2-Т3 (рис. 5.2) при автоматизации тепловой обработки изделий [8] показано подключение регулятора к приборам системы управления тепловыми процессами. Клеммы регулятора, обозначенные числами (1...40), подключаются к электрической сети, системе дистанционного управления, пускателю исполнительного механизма ПБР-2, задатчику ЗД-50, источнику постоянного тока и к коробке холодных спаев термопар.

В настоящее время литейные цехи промышленных предприятий в достаточной степени оснащены средствами автоматического контроля, регулирования и управления. Эти средства в большинстве случаев взаимосвязаны и представляют комплексные системы

автоматизации. Далее в § 5.2–5.6 приведены функциональные схемы технологических процессов, на которых с помощью упрощенных условных изображений согласно требованиям ОСТ 36–27–77 показаны средства автоматизации. На схемах римскими цифрами обозначено основное и вспомогательное оборудование, арабскими — средства автоматизации.

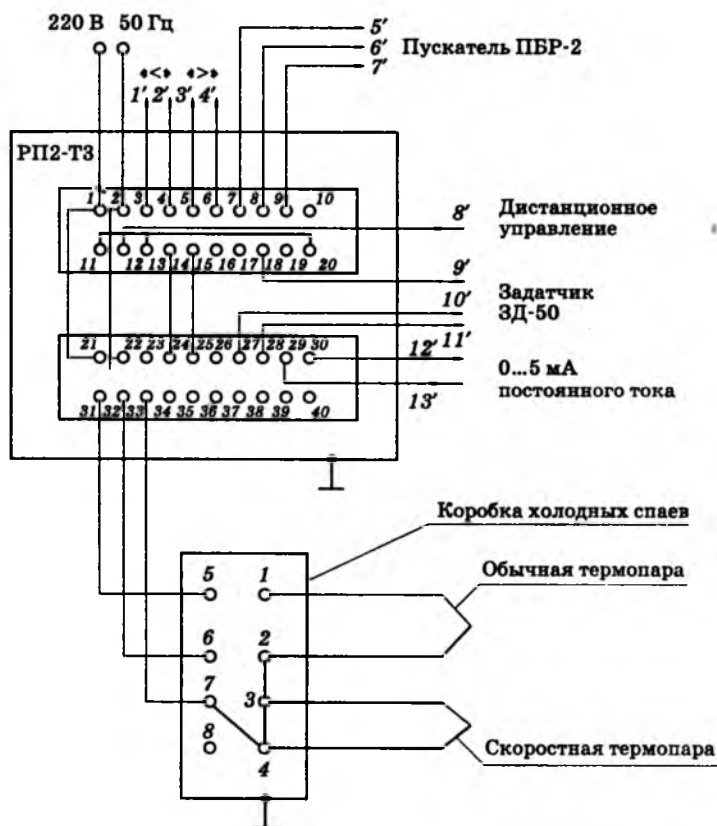


Рис. 5.2

Процессы подготовки формовочных

5.2. материалов

Автоматизация процессов приготовления формовочных и стержневых смесей в первую очередь направлена на стабилизацию их составов в соответствии с заданными технологическими характеристиками. Эта цель достигается автоматическим дозированием компонентов. Попутно решаются задачи управления складированием материалов и процессами их транспортировки с применением АСР и АСУ ТП.

Склады формовочных материалов в современных литейных цехах оснащаются средствами механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ и подготовки материалов для формовочных и стержневых смесей.

5.2.1. Автоматизация процесса подготовки песка

Песок является основной составной частью большинства формовочных и стержневых смесей. В связи с тем что песок на производство часто поступает сырым и может быть загрязнен посторонними примесями, он требует специальной подготовки.

Вариант схемы автоматизированной поточной технологической линии для подготовки формовочного песка [3] представлен на рис. 5.3.

Основное и вспомогательное оборудование: ленточный конвейер I, вибрационное сито II, промежуточный бункер III, проходная сушильная установка IV, вытяжной вентилятор V, проходной охладитель VI и ленточный конвейер VII.

Электродвигатели приводов вибрационного сита II, проходной сушильной установки IV, вытяжного вентилятора V, охладителя VI и ленточного конвейера VII постоянно включены и режимы их работы не изменяются.

Для равномерного заполнения песком бункера III предусмотрена АСР уровня, состоящая из первичных преобразователей 1 и 2, релейного блока 3, исполнительного механизма (электродвигатель) 4 и регулирующего органа (ленточный конвейер I). Первичные преобразователи 1 и 2 установлены в бункере III на

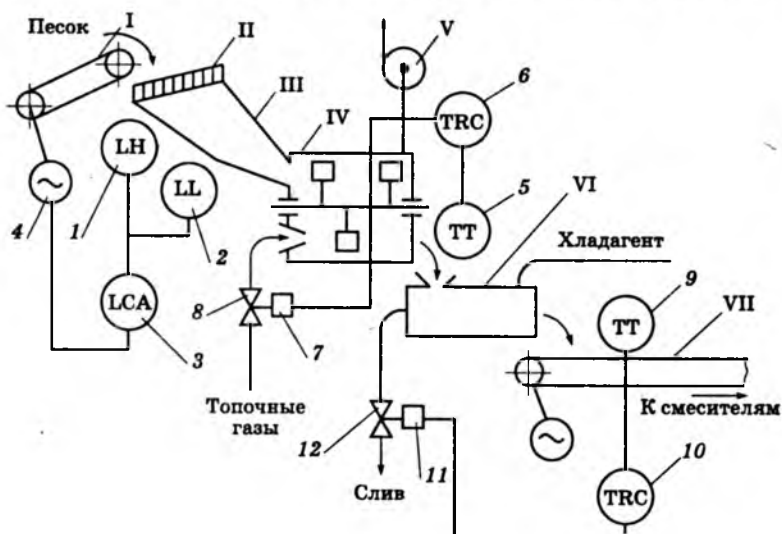


Рис. 5.3

крайнем нижнем и крайнем верхнем допустимых значениях уровня. При каждом переполнении бункера песком преобразователь 1 подает сигнал на релейный блок 3 для прекращения работы электродвигателя 4 ленточного конвейера I. При падении уровня песка ниже допустимого релейный блок 3 получает сигнал от первичного преобразователя 2 на включение ленточного конвейера I.

Для улучшения качества сушки песка в проходной сушильной установке IV предусмотрена АСР температуры. Она включает первичный преобразователь 5, вторичный измерительный прибор 6, исполнительное устройство 7 и регулирующий орган 8. Первичный преобразователь 5, установленный в потоке просушенного песка, преобразует тепло нагретого песка в электрический сигнал и передает его измерительному прибору 6, который, воздействуя на исполнительное устройство 7, изменяет с помощью регулирующего органа 8 скорость подачи топочных газов в топку сушильной установки.

АСР температуры охлаждения песка в проходном охладителе VI включает элементы 9, 10, 11, 12 и аналогична АСР температуры в проходной сушильной установке IV.

5.2.2. Автоматизация процесса переработки оборотной формовочной смеси

Формовочную смесь, бывшую в употреблении, повторно используют в смесеприготовлении. Перед повторным использованием смесь очищают от металлических частиц, пыли и других примесей.

Вариант функциональной схемы автоматизации непрерывной поточной линии переработки оборотной песчано-глинистой формовочной [3] смеси представлен на рис. 5.4.

Основное и вспомогательное оборудование: ленточные конвейеры I, IV, IX, барабанное сито II, воронка III, дробилка V, охладитель VI, вибрационное сито VII и центробежный воздушный сепаратор VIII.

Электродвигатели приводов сит II и VII, дробилки V, охладителя VI и ленточных конвейеров постоянно включены и режимы их работы не изменяются.

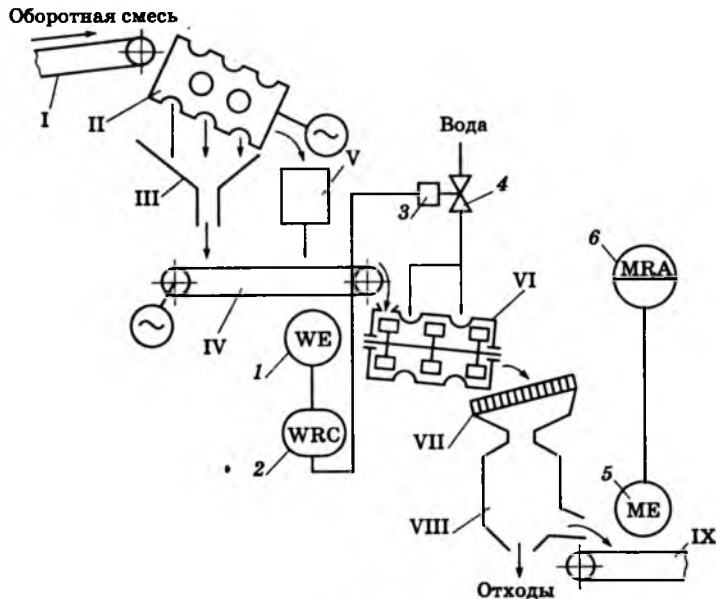


Рис. 5.4

Оборотная смесь из-под выбивных решеток ленточным конвейером I подается в барабанное сито II. Просеянные частицы через воронку III поступают на ленточный конвейер IV, а крупные — на переработку в дробилку V, из которой также попадают на ленточный конвейер IV, и перемещаются в охладитель VI. Из охладителя смесь через вибрационное сито VII загружается в центробежный воздушный сепаратор VIII и далее поступает на конвейер IX.

Основным средством автоматизации является АСР количества охлаждающей воды, поступающей в охладитель в зависимости от количества смеси. Комплект регулятора состоит из первичного преобразователя массы 1, вторичного измерительного прибора 2, исполнительного механизма 3 и регулирующего органа 4. Первичный преобразователь массы 1 вместе с прибором 2 являются автоматическим взвешивающим устройством, предназначенным для управления исполнительным механизмом 3, связанным с регулирующим органом 4.

Сигнал первичного преобразователя 1 в виде электрического сигнала передается прибору 2, в котором значение измеряемого параметра регистрируется и одновременно сравнивается с заданным. При появлении рассогласования выходной сигнал прибора 2 усиливается и как регулирующее воздействие подается исполнительному механизму 3, который, воздействуя на регулирующий орган 4, изменяет подачу проточной воды в охладитель VI.

Для автоматического контроля влажности переработанной смеси предусмотрен измерительный регистрирующий сигнализирующий влагомер, состоящий из первичного преобразователя 5 и вторичного измерительного прибора 6. Первичный преобразователь 5 соприкасается с влажным материалом, воспринимает значение влажности, преобразуемое в электрический сигнал, который передается измерительному прибору 6, установленному на щите оператора.

5.2.3. Автоматизация процесса приготовления глинистой суспензии

Вариант схемы автоматизированной поточной технологической линии для приготовления глинистой суспензии представлен на рис. 5.5. Основное и вспомогательное оборудование: бункер для комового бентонита I, пластинчатый питатель-дозатор II,

трубопровод для подачи воды III, глиномешалка IV, конусный отстойник V, шнековый транспортер VI, емкость VII, камерный насос VIII, трубопровод для подачи сжатого воздуха IX и трубопровод для транспортировки суспензии на смесеприготовительный участок X.

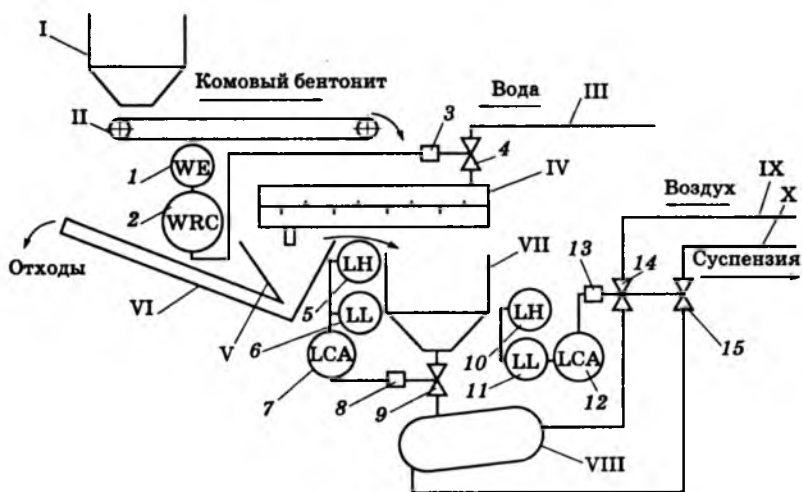


Рис. 5.5

Электродвигатели приводов глиномешалки IV и шнекового транспортера VI включены постоянно и режимы их работы не изменяются.

Комовый бентонит из бункера I питателем-дозатором II подается в глиномешалку IV. Одновременно в глиномешалку по трубопроводу III поступает вода. Из глиномешалки глинистая суспензия сливается через конусный отстойник V в емкость VII, а затем в камерный насос VIII, из которого сжатым воздухом выталкивается по трубопроводу X в бак-накопитель (на схеме не показан). Отходы из отстойника V удаляются шнековым транспортером VI.

Основным средством автоматизации является АСР количества воды, поступающей в глиномешалку IV в зависимости от количества комового бентонита. Комплект регулятора состоит из первичного преобразователя массы 1, вторичного измерительного

прибора 2, исполнительного механизма 3 и регулирующего органа 4. Электрический сигнал первичного преобразователя массы 1 передается прибору 2, где значение измеряемой массы регистрируется и одновременно сравнивается с заданным значением. При появлении рассогласования выходной сигнал прибора 2 усиливается и подается исполнительному механизму 3, который, воздействуя на регулирующий орган 4, изменяет подачу проточной воды в глиномешалку.

Для объемного дозирования глинистой суспензии в емкости VII предусмотрена АСР уровня, состоящая из первичных преобразователей 5 и 6, релейного блока 7, исполнительного механизма 8 и регулирующего органа 9 (запорный клапан). Первичные преобразователи 5 и 6 установлены в емкости VII на крайнем нижнем и крайнем верхнем допустимых значениях уровня. При заполнении емкости VII суспензией преобразователь 5 подает сигнал на релейный блок 7 для открытия запорного клапана 9, через который суспензия сливается в камерный насос VIII. При падении уровня суспензии ниже допустимого релейный блок 7 получает сигнал от первичного преобразователя 6 на закрытие клапана 9.

Для автоматического опорожнения камерного насоса VIII предусмотрена АСР, состоящая из первичных преобразователей 10 и 11, релейного блока 12, исполнительного механизма 13 и регулирующих органов (запорные клапаны) 14 и 15. Первичные преобразователи 10 и 11 установлены в камерном насосе VIII на крайнем нижнем и крайнем верхнем допустимых значениях уровня. При заполнении камерного насоса VIII суспензией преобразователь 10 подает сигнал на релейный блок 12 для одновременного открытия запорных клапанов 14 и 15 исполнительным механизмом 13. Через клапан 14 в камерный насос поступает сжатый воздух, с помощью которого суспензия подается в накопительную емкость на участок смешивания. При снижении уровня ниже допустимого релейный блок 12 получает сигнал от первичного преобразователя 11 на закрытие клапанов 14 и 15 исполнительным механизмом 13.

В схеме управления должна быть предусмотрена блокировка, исключающая включение автоматического опорожнения камерного насоса VIII до завершения работы АСР уровня в емкости VII.

Автоматизированная поточная линия позволяет с минимальными затратами ручного труда приготовить нужное количество

глинистой суспензии, но не гарантирует стабильности ее плотности. При автоматизации процесса смесеприготовления очень важно использование глинистой суспензии, плотность которой постоянна и не изменяется во времени. На кафедре «Машины и технология литейного производства» Белорусского национального технического университета разработана и внедрена на РУП «Минский автомобильный завод» автоматизированная установка (рис. 5.6), позволяющая доводить плотность ранее приготовленной глинистой суспензии до нужного значения.

Основное и вспомогательное оборудование: бак-накопитель для глинистой суспензии I, емкость для приготовления глинистой суспензии II, бак для суспензии с заданной плотностью III, бак переливной IV.

Управление установкой осуществляется с помощью программируемого контроллера и ПЭВМ, размещенных в шкафу управления 1. В качестве запорной арматуры использованы клапаны 2, 6...10 с электромагнитным приводом.

Предварительно приготовленная в шнековой глиномешалке суспензия, имеющая плотность 1200...1300 кг/м³, подается

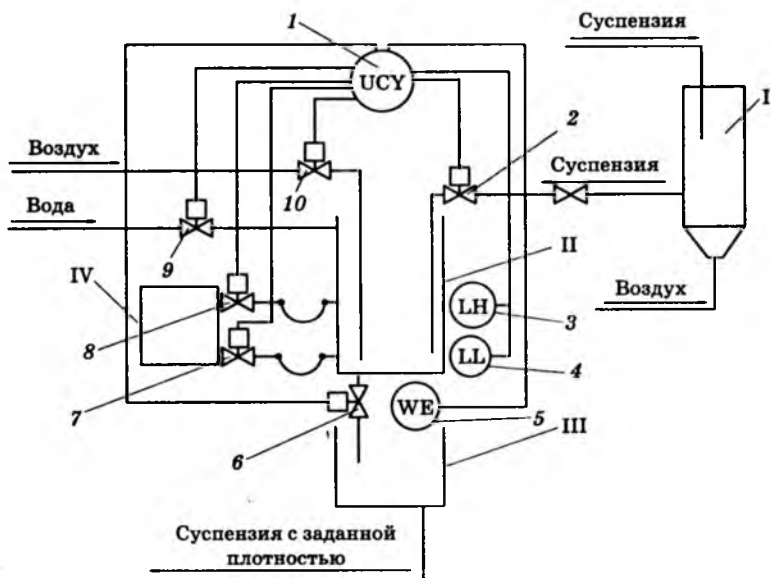


Рис. 5.6

в бак-накопитель I. Из него суспензия самотеком через клапан 2 падает в емкость II для приготовления суспензии с заданными параметрами.

После достижения уровня, ограниченного контактным датчиком верхнего уровня 3, клапан 2 закрывается, а клапан 8 открывается. При этом излишки суспензии, вытекшие из трубопровода после закрытия клапана 2, сливаются в переливной бак IV. Таким образом обеспечивается требуемый объем суспензии в емкости II в момент взвешивания на тензометрическом взвешивающем устройстве 5, сигнал от которого передается в шкаф управления 1. С помощью ПЭВМ определяется плотность суспензии и рассчитывается количество воды, которое следует добавить в емкость II, чтобы довести плотность суспензии до заданного значения. После этого закрывается клапан 8 и открывается клапан подачи воды 9. Вода поступает в емкость II до тех пор, пока ее количество не достигнет расчетной величины (процесс контролируется ПЭВМ по сигналу от взвешивающего устройства 5). Затем клапан 9 закрывается и открывается клапан 10, через который в течение 30 с в емкость II подается воздух для перемешивания суспензии. По истечении указанного времени клапан 10 закрывается и открывается клапан 6, через который суспензия с заданной плотностью сливается в бак III.

Сигнал от датчика нижнего уровня 4 об освобождении емкости II от суспензии передается в шкаф управления 1. Клапан 6 закрывается и открывается клапан 7, который закрывается через 10 с (время вытекания суспензии из переливного бака IV). Последним закрывается клапан 8, и цикл получения глинистой суспензии заканчивается.

Стабильность плотности суспензии обеспечивается точностью тензометрических весов и системой управления оборудованием с помощью контроллера и ПЭВМ. Необходимое значение плотности суспензии устанавливается в зависимости от технологически требуемой прочности смеси и качества формовочной глины, а также текущей температуры оборотной смеси, поступающей в смеситель, что позволяет учесть количество воды, испаряющейся в процессе перемешивания.

Установка обеспечивает приготовление суспензии с точностью до 10 кг/м^3 в диапазоне $1000...1200 \text{ кг/м}^3$. Система смешивания в целом и установка приготовления глинистой суспензии могут обслуживаться одним компьютером с ЦПУ.

Оборудование и процессы приготовления 5.3. формовочных и стержневых смесей

5.3.1. Автоматизация смесителя периодического действия

Смесители периодического действия предназначены для приготовления формовочных и стержневых смесей.

Вариант функциональной схемы автоматизации каткового смесителя периодического действия [3] показан на рис. 5.7.

Технологическое оборудование включает: смеситель I, бункер для песка II, бункер для оборотной смеси III, емкость для глинистой суспензии IV, емкость для жидкой противопригарной добавки V, ленточные конвейеры VI, VII для транспортирования песка и оборотной формовочной смеси (проходят на одном уровне над бункерами II и III), конвейер VIII для транспортирования

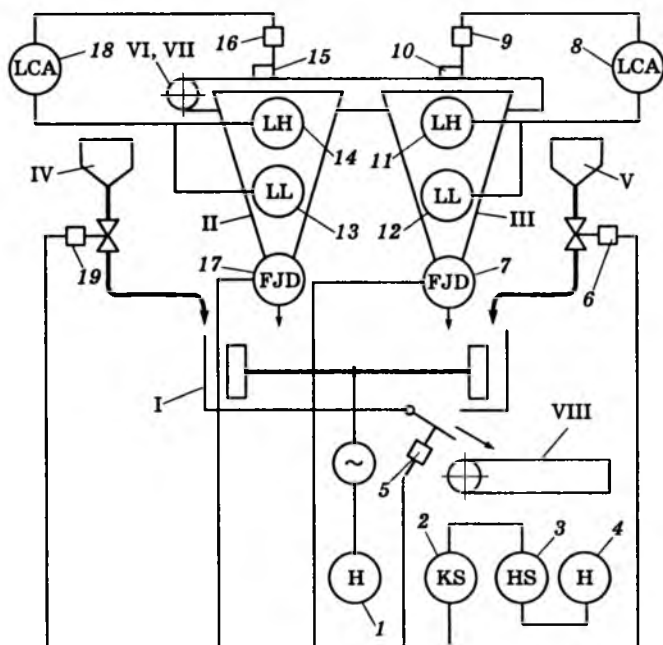


Рис. 5.7

готовой смеси. В реальных производственных условиях число бункеров, конвейеров и других устройств может быть значительно больше, чем показано на схеме.

Для автоматического управления смесителем по заданной программе предназначен командный электрический прибор (командоаппарат) 4. Автоматическое управление состоит в том, что в чашу непрерывно работающего смесителя периодически в разные короткие промежутки времени подаются компоненты смеси (сыпучие и жидкие), где они перемешиваются в течение нормированного времени. Готовая формовочная смесь периодически выгружается через люк.

В наладочном режиме управление работой смесителя может осуществляться кнопками управления 4. Во всех случаях первым этапом является включение электродвигателя привода бегунов кнопкой 1. Далее следует установка режима работы (ручного или автоматического) поворотом рукоятки ключа 3.

При автоматическом режиме работы все команды подаются только командоаппаратом 2, который в соответствии со своей настройкой осуществляет в установленной последовательности управление всеми подключенными к нему агрегатами. Первыми после пуска включаются в работу дозаторы 7 и 17, которые подают в чашу смесителя I определенные массы песка и оборотной смеси. В чаше начинается этап сухого перемешивания. Затем с помощью исполнительных устройств 6 и 19 открываются на некоторое время запорные устройства емкостей IV и V, в чашу смесителя поступают определенные объемы жидких компонентов и начинается этап мокрого смешивания. По окончании перемешивания исполнительное устройство 5 на некоторое время открывает разгрузочный люк смесителя I, через который смесь выгружается на непрерывно работающий ленточный конвейер VIII. После закрытия люка начинается следующий цикл приготовления новой порции смеси.

Для обеспечения заданной производительности работы предусмотрены отдельные автономные системы контроля и регулирования. Для своевременного пополнения бункеров для песка II и оборотной смеси III предусмотрены аналогичные позиционные регуляторы уровня, состоящие из первичных преобразователей 11 и 14, релейных блоков 8 и 18, исполнительных механизмов 9

и 16. В качестве регулирующих органов для сбрасывания песка с конвейера VI и оборотной смеси с конвейера VII в бункеры II и III применены плужки 15 и 10. Пополнение емкостей IV и V также осуществляется автоматически (на схеме не показано).

5.3.2. Автоматизация смесителя непрерывного действия

Вариант функциональной схемы автоматизации смесителей непрерывного действия [3] представлен на рис. 5.8.

Технологическое оборудование включает: ленточный конвейер I, бункер II, питатель III, смеситель IV, конвейер V, емкость VI и насос VII.

Непрерывная работа смесителя обеспечивается средствами автоматизации.

Для поддержания уровня оборотной смеси в бункере II предусмотрена система позиционного регулирования, включающая первичные преобразователи 1 и 2, релейный блок 3, исполнительный механизм (электродвигатель привода конвейера) 4

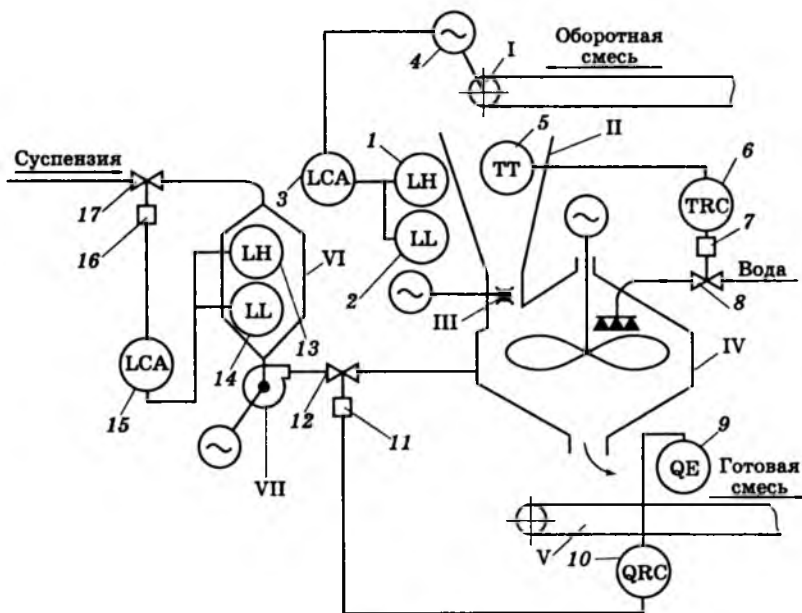


Рис. 5.8

и регулирующий орган (конвейер I). Преобразователи 1 и 2 установлены соответственно на верхнем и нижнем предельно допустимых значениях уровня и связаны с релейным блоком 3 линией связи. Релейный блок с помощью контактной системы управляет работой двигателя ленточного конвейера I, который приостанавливает или продолжает пополнение бункера II оборотной смесью. При достижении нижнего значения уровня преобразователь 2 подает сигнал на включение конвейера I, и бункер заполняется. В момент соприкосновения смеси с преобразователем 1 контактное устройство релейного блока 3 приостановит заполнение бункера. Таким образом, уровень оборотной смеси в бункере II автоматически поддерживается в заданных пределах.

Для охлаждения оборотной смеси водой предусмотрена АСР температуры, состоящая из первичного преобразователя температуры 5, установленного непосредственно в бункере II, измерительного регистрирующего прибора 6, исполнительного механизма 7 и регулирующего органа 8.

Сигнал от первичного преобразователя 5 по соединительной линии передается измерительному прибору 6 и одновременно регулирующему органу 8, в котором сравнивается с установленным на задатчике значением. В результате вырабатывается регулирующее воздействие, которое через исполнительный механизм 7 управляет регулирующим органом 8, подающим холодную воду в смеситель IV, поддерживая температуру оборотной смеси в нем на заданном значении.

Поскольку качество готовой смеси можно оценивать по ее формовости, предусмотрена АСР, состоящая из первичного преобразователя 9, вторичного измерительного прибора 10, исполнительного механизма 11 и регулирующего органа 12.

Первичный преобразователь 9 непрерывно отбирает пробу готовой смеси, вырабатывает электрический сигнал, который передается прибору 10, управляющему исполнительным механизмом 11. Последний с помощью регулирующего органа 12 регулирует подачу суспензии в смеситель IV, поддерживая качественные показатели смеси на заданном значении.

Для поддержания уровня суспензии в емкости VI предусмотрен позиционный регулятор уровня, аналогичный регулятору в бункере II, состоящий из комплекта приборов 13...17. Работа этой системы регулирования осуществляется по уже описанному принципу.

5.3.3. Система автоматического контроля и управления качеством единой формовочной смеси

Функциональная схема системы автоматического контроля и управления качеством единой формовочной смеси представлена на рис. 5.9.

Технологическое оборудование включает: ленточный конвейер для транспортирования оборотной формовочной смеси I, смеситель II, емкость для глинистой суспензии III, емкость для воды IV, бункер для оборотной смеси V, ленточный питатель для транспортирования готовой смеси VI, весовой дозатор VII.

Управление установкой осуществляется с помощью программируемого контроллера и ПЭВМ, размещенных в шкафу управления 1. В качестве запорной арматуры использованы клапаны

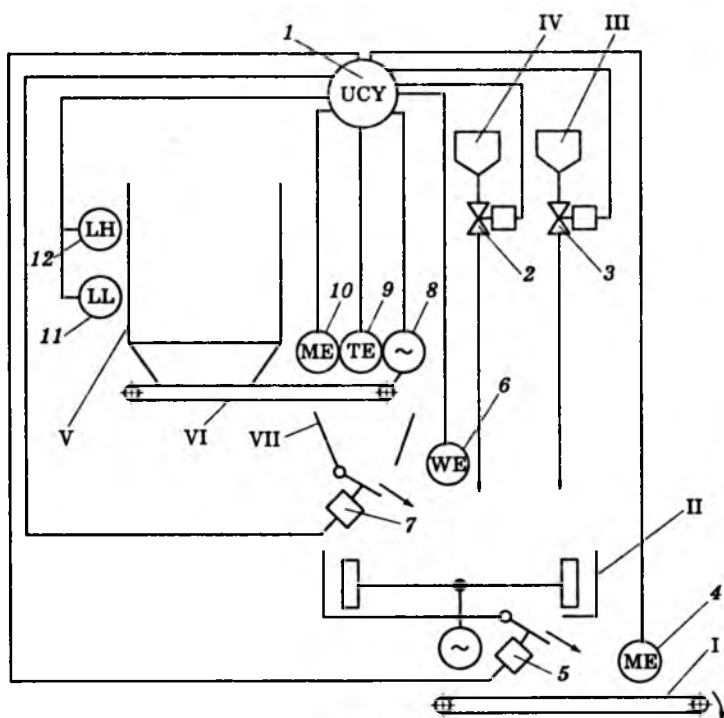


Рис. 5.9

2 и 3 с электромагнитным приводом. В механизмах разгрузки смесителя II и весового дозатора VII применены пневмоцилиндры 5 и 7.

Система оснащена первичными СВЧ-преобразователями влажности 4 и 10, термопарой 9, датчиками уровня смеси 11 и 12 в бункере V. Обратная смесь из бункера V поступает на ленточный питатель VI и, проходя через рабочие органы (излучающую и приемную антенну) СВЧ-датчика влажности 10 и термопару 9, поступает в бункер весового дозатора VII. Данные о текущих значениях влажности и температуры обратной смеси поступают с ПЭВМ, где происходит накопление и анализ поступающей информации. По окончании загрузки весового дозатора VII автоматически определяется средняя влажность и температура обратной смеси, осуществляется сопоставление этих данных с заданными параметрами и вычисляется количество воды, необходимое для получения требуемой влажности единой формовочной смеси с учетом поправки, обусловленной испарением воды во время перемешивания и зависящей от текущей температуры обратной смеси. Рассчитанное значение передается в программируемый контроллер, где вырабатываются соответствующие управляющие сигналы для исполнительных механизмов клапанов 2 и 3, подающих воду или суспензию в смеситель II.

Для стабильной работы СВЧ-датчика влажности обратной смеси 10 необходимо обеспечить требуемую, стабильную толщину слоя смеси между излучающей и приемной антеннами. Степень заполнения бункера V контролируется с помощью контактных датчиков уровня 11 и 12.

После завершения процесса влажного перемешивания полученная смесь выгружается из смесителя II на конвейер I, по которому проходит через СВЧ-датчик влажности готовой смеси 4. Если влажность смеси соответствует заданной, то смесь поступает к формовочным машинам. Если этот параметр отличается от заданного, то смесь возвращается в бункер V.

Система смесеприготовления функционирует по разработанной в соответствии с алгоритмом программе. Алгоритм (рис. 5.10) предусматривает наличие трех взаимосвязанных между собой управляющих систем: измерение исходной влажности и температуры обратной смеси с расчетом требуемого для замеса количества

воды; управление системой подачи воды (либо глинистой суспензией) в смеситель; контроль влажности готовой смеси и управление процессом транспортирования смеси от смесителя до формовочной машины. Если влажность готовой смеси не соответствует требованиям технологической инструкции, то вырабатывается



Рис. 5.10

управляющий сигнал и смесь направляется (сбрасывается на ленту возврата) в бункер-отстойник или накопитель, где происходит ее усреднение, и она снова поступает в смеситель. Если влажность готовой смеси укладывается в требования инструкции, но отклоняется от расчетной, то смесь подается на формовку, но ПЭВМ вырабатывает поправку для дозировки воды в очередной замес. Как показала практика, такой алгоритм делает процесс смесеприготовления достаточно гибким и фактически исключает возможность поступления к формовочным автоматам некачественной смеси, а также обеспечивает системе смесеприготовления способность самокоррекции и возможность косвенного анализа внешних условий (влажности и температуры в цехе) по отклонению влажности готовой смеси от расчетной.

Программа управления системой предусматривает возможность накопления информации о текущих параметрах смеси, подключение к глобальной сети сбора данных и анализа брака. Система обеспечивает непрерывное отслеживание и визуализацию на экране монитора ПЭВМ хода технологического процесса и работы технологического оборудования, что позволяет анализировать протекание процесса и оперативно определять причины неисправностей и сбоев в работе оборудования.

5.4. Процессы изготовления форм и стержней

В современном литейном производстве верхние и нижние полуформы, а также стержни изготавливаются на формовочных и стержневых автоматах. Сборка форм, установка в них стержней и ряд других операций на большинстве предприятий выполняются на поточных автоматических линиях с минимальным применением ручного труда.

5.4.1. Автоматизация прессовой формовочной машины

Прессовые формовочные автоматические машины предназначены для изготовления верхней и нижней полуформ. В настоящее время в поточных формовочных линиях используется несколько типов машин: одно- и многопозиционные, карусельные и др.

Вариант функциональной схемы автоматизации однопозиционной формовочной машины [3] представлен на рис. 5.11.

Основные элементы машины: неподвижная плита (стол) I, пресс-форма с моделью отливаемой детали II, бункер III, дозирующая задвижка IV, ленточные конвейеры V, VI, VII.

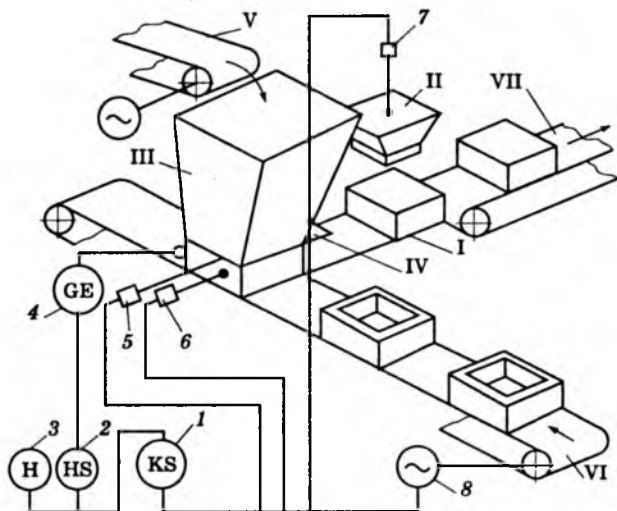


Рис. 5.11

Формовочную смесь засыпают в бункер III ленточным конвейером V. Опoki к машине подаются циклично действующим конвейером VI, а готовые полуформы передают на поточную линию конвейером VII.

Для автоматического управления машиной применен командно-электрический прибор (командоаппарат) 1. Система позволяет переходить с автоматического режима работы на ручное управление. Для выбора режима предусмотрены универсальный переключатель 2 и пульт управления 3.

В автоматическом режиме работы при включенном ленточном конвейере VI опoki подаются под дозирующую задвижку IV до достижения фиксированного положения на столе машины. При этом опoka вплотную подходит к толкателю конечного выключателя 4, который включает прибор 1. Первая команда прибора 1 —

остановка на короткое время (на период операций с опокой на столе) двигателя 8 конвейера I. При срабатывании следующей контактной группы прибора 1 включается исполнительный механизм 5, который на короткое время выдвигает задвижку IV из-под бункера III, а затем возвращает ее в прежнее положение. За этот промежуток времени пустая опока заполняется формовочной смесью из бункера III.

Далее еще одна контактная система прибора 1 включает исполнительный механизм 6, который посредством толкателя перемещает заполненную смесью опоку по столу I под пресс-форму II, одновременно сдвигая на конвейер VII уже готовую полуформу.

По следующей команде командоаппарата 1 исполнительный механизм 7 опустит и поднимет пресс-форму II. К этому времени опока, установленная под бункером III, уже будет заполнена смесью.

Циклы изготовления форм будут непрерывно повторяться до выключения машины.

Кроме системы автоматического управления работой формовочной машины, могут быть предусмотрены система позиционного регулирования уровня смеси в бункере III и другие системы (на схеме не показаны).

5.4.2. Автоматизация стержневой машины

В современном массовом и серийном производстве отливок стержни изготавливают на оснащенных средствами автоматизации стержневых машинах. Широкое распространение получили пескодувные и пескострельные машины.

На рис. 5.12 представлена функциональная схема автоматизации стержневой пескодувной машины.

Основные элементы машины: бункер для стержневой смеси I, конвейер II для заполнения стержневой смесью бункера I, подвижный шиббер-дозатор III для дозирования стержневой смеси в пескодувное устройство и для герметичного запирания его, пескодувной резервуар IV с клапаном X для подачи в него сжатого воздуха и клапаном V для сброса воздуха после срабатывания, разъемный стержневой ящик VI, склиз VII для сброса готовых стержней, конвейер VIII для отгрузки готовых стержней, подъемный стол IX.

Автоматическая работа машины обеспечивается пневматическими исполнительными механизмами, управляемыми многоценным командоаппаратом 2, контактная система которого для каждого вида стержня настраивается (программируется) заранее. Система предусматривает два вида управления: ручное и автоматическое. Для автоматического режима служит ключ 1. Ручное (дистанционное) управление исполнительными механизмами при неполадках в системе автоматики может быть осуществлено с помощью пульта управления 3, подключаемого универсальным переключателем рода работы 1.

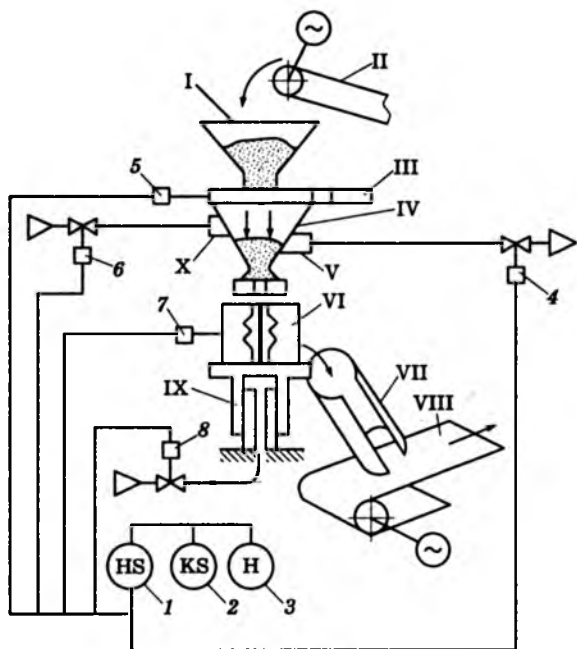


Рис. 5.12

Порядок выполнения операций при автоматическом режиме работы следующий. Первой командой аппарата 2 включается исполнительный механизм 8, подающий сжатый воздух в полость цилиндра подъемного стола IX. В результате стол поднимает стержневой ящик VI и плотно прижимает его к плите пескодувного резервуара VIII. Следующая команда аппарата 2 приводит

к срабатыванию исполнительного механизма 5 на дозирование стержневой смеси в пескомет из бункера I. Процесс дозирования заключается в перемещении на нормированное время шибера III над отверстием бункера и обратном возвращении его в исходное состояние. В результате в отверстие шибера просыпается необходимая порция стержневой смеси, равная объему изготавливаемого стержня. Далее командоаппарат 2 включает исполнительный механизм 6, который подает сжатый воздух в пескодувный резервуар IV для динамического заполнения смесью свободной полости стержневого ящика VI.

Последующая команда аппарата 2 — снятие избыточного давления в пескодувном резервуаре IV путем подачи сигнала исполнительному механизму 4, который открывает клапан V и соединяет резервуар с атмосферным воздухом. По истечении некоторого промежутка времени, необходимого для затвердевания смеси в стержневом ящике VI, командоаппарат 2 подает команду исполнительному механизму 8, который опускает стол IX вместе со стержневым ящиком в исходное состояние. Последняя команда аппарата 2 — сигнал исполнительному механизму 7, который раздвигает створки стержневого ящика, а механическое устройство извлекает из него стержень, который по склизу VII попадает на ленточный конвейер VIII. Далее механизм 8 закрывает створки стержневого ящика. Последующие циклы изготовления стержней будут повторяться в описанной последовательности.

Кроме системы автоматического управления работой, пескодувная машина снабжена регулятором уровня смеси в бункере I, средством учета выработанной продукции и другими устройствами (на схеме не показаны). Производительность стержневой машины данного типа достигает 400...500 стержней в час.

При изготовлении стержней с помощью пескострельного автомата операции технологического процесса протекают весьма быстро, поэтому для обработки требуемой циклограммы в схеме управления вместо командоаппарата целесообразно использовать микропроцессорные системы, которые делают возможной гибкую перестройку циклограмм при переходе к каждому новому виду выпускаемых отливок.

Поскольку различие между пескострельными и пескодувными машинами-автоматами заключается лишь в продолжительности рабочего процесса (соответственно 0,1...0,2 и 1...2 с), схемы управления этими автоматами идентичны.

5.4.3. Автоматизация процесса сушки форм и стержней

В ряде случаев при производстве отливок предусматривается сушка литейных форм и стержней в специальных сушильных камерах непрерывного или периодического действия.

Вариант функциональной схемы автоматизации сушильной камеры периодического действия, отапливаемой природным газом [4], показан на рис. 5.13.

Технологическое оборудование включает: камеру I, дымовую трубу II с дымососом (на схеме не показан), газовые горелки III.

Поддержание заданного коэффициента избытка воздуха для обеспечения экономичного сжигания топлива (природного газа) обеспечивается АСР процесса его горения. Изменение расхода воздуха пропорционально изменению расхода топлива. АСР процесса горения включает: диафрагмы 1 и 2 на соответственно топливо- и воздухопроводах, дифманометры 3 и 4, регулятор соотношения воздуха и топлива 5, исполнительный механизм 6 и регулирующий орган 7.

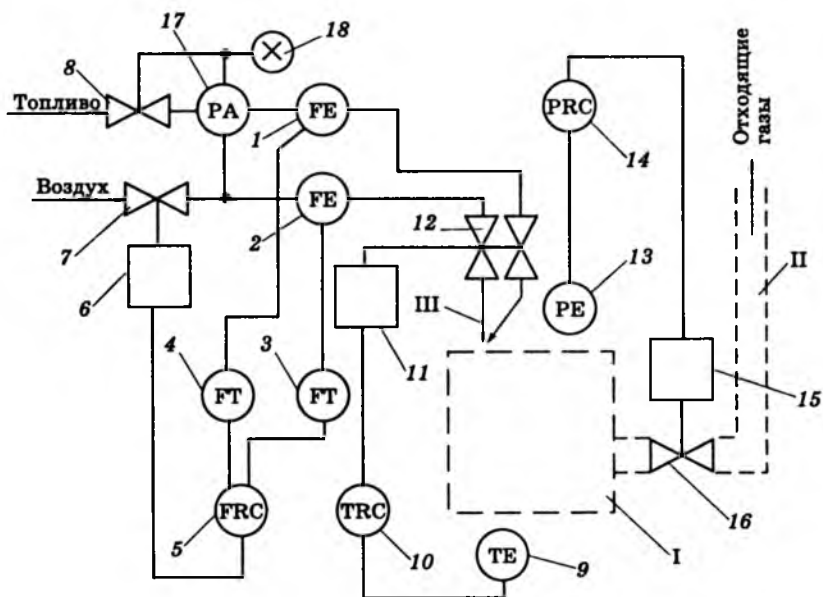


Рис. 5.13

Поддержание заданной температуры в сушильной камере I обеспечивается АСР температуры, состоящей из термопары 9, электронного потенциометра 10 с регулирующим устройством, исполнительного механизма 11 и спаренных регулирующих органов 12. Одновременно АСР температуры изменяет расход газозвоздушной смеси при отклонении температуры от заданного значения.

Система автоматического регулирования давления предназначена для поддержания заданного давления газов в сушильной камере и минимизации суммарных потерь теплоты, теряемой с выбиваемыми газами и расходуемой на нагрев подсосываемого в сушильную камеру атмосферного воздуха. АСР включает: тягонапоромер колокольный 13, вторичный измерительный прибор 14, исполнительный механизм 15 и дымовой шибер (регулирующий орган) 16. Степень открытия дымового шибера 16 зависит от давления в сушильной камере или от интенсивности тяги дымососа I.

Сигнализатор падения давления 17 является обязательной принадлежностью газового оборудования для обеспечения взрывобезопасности. Этот прибор предназначен для быстрой отсечки с помощью клапана 8 подачи природного газа при аварийном падении его давления или давления воздуха. Отсечка сопровождается включением светового 18 или звукового сигнала (на схеме не показан). При угасании пламени сигнализатор также отсекает подачу газа. Время срабатывания такой системы должно быть меньше времени образования взрывоопасной смеси в рабочем объеме сушильной камеры.

Электрические сушильные установки оборудуют системами автоматического двухпозиционного регулирования температуры. Применительно к сушильным установкам непрерывного действия дополнительной задачей является автоматизация управления транспортом при прохождении форм (стержней) через сушильную камеру.

5.5. Процессы плавки металла и заливки форм

Получение расплавленного металла на современных предприятиях осуществляется в специальных плавильных печах разных типов. Наиболее распространенными среди них являются вагранки, индукционные и дуговые печи. Процесс плавки складывается из самостоятельных операций загрузки, плавки и разливки металла.

5.5.1. Автоматизация процесса загрузки вагранки

Для получения от вагранки непрерывного потока расплавленного металла современные системы управления операциями загрузки снабжаются оборудованием, максимально оснащенным средствами автоматизации. Однако системы управления и контроля не однотипны, что зависит от ряда объективных причин: объема производственного процесса, вида технологического оборудования, периода времени внедрения автоматики и др.

На рис. 5.14 представлен вариант одной из функциональных схем автоматизации загрузки вагранки шихтой [3].

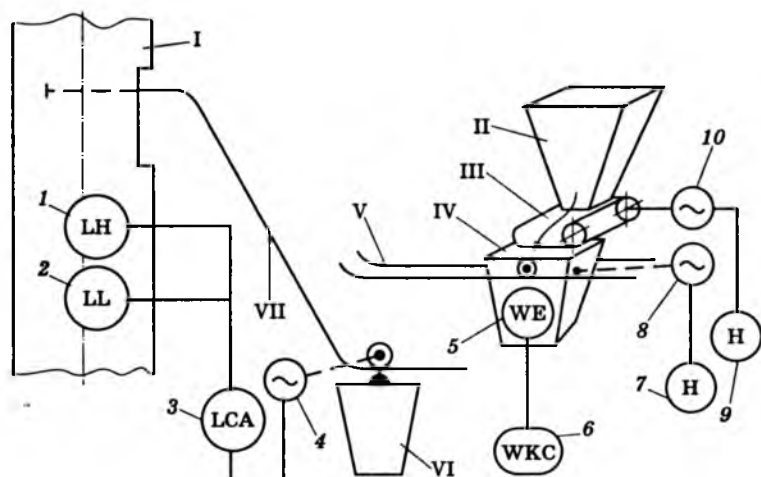


Рис. 5.14

Технологическое оборудование включает: плавильный участок вагранки I с загрузочным окном; бункер II для хранения материалов, составляющих шихту (число бункеров должно быть равно числу компонентов шихты; для упрощения на схеме показан один бункер); питатель бункера III; бункер-сборщик IV, передвигающийся по рельсовому пути V; разгрузочную бадью VI; скиповый подъемник VII.

Для автоматического поддержания уровня шихты в вагранке в заданных пределах предусмотрена система позиционного регулирования с помощью радиоактивного сигнализатора уровня. Комплект регулятора состоит из двух первичных преобразователей 1, 2 и релейного блока 3. Один из преобразователей установлен на верхнем предельно допустимом значении уровня, другой — на нижнем. Сигналы от преобразователей передаются релейному блоку 3, управляющему электродвигателем 4 подъемника разгрузочной бадьи VI. При снижении уровня ниже допустимого релейный блок 3 дает команду на загрузку вагранки. При достижении уровнем предельного значения работа подъемника прекращается.

Управление перемещением бункера-сборника IV осуществляется дистанционно с помощью пульта управления 7. Оператор, включая и отключая электродвигатель 8 привода бункера-сборника, поочередно подводит его к питателям тех материалов, которые в данное время должны загружаться в вагранку. Каждый питатель имеет кнопки: 9 для включения и 10 для отключения электродвигателя.

Участки рельсового пути V напротив каждого питателя устанавливаются на тензометрические преобразователи 5, которые воспринимают массу материала в бункере и по соединительным проводам передают сигнал измерительному прибору 6, по показаниям которого оператор осуществляет контроль массы материала, поступающего в бункер-сборник.

5.5.2. Автоматизация процесса плавки металла в вагранке

Вариант функциональной схемы автоматизации процесса плавки металла в вагранке [3] приведен на рис. 5.15.

Технологическое оборудование включает: вагранку I в комплекте с охладительной рубашкой II и фурменным поясом III,

мокрый очиститель IV, радиационный V и конвекционный VI рекуператоры, дымосос VII, вентилятор VIII, копильник IX для слива расплава.

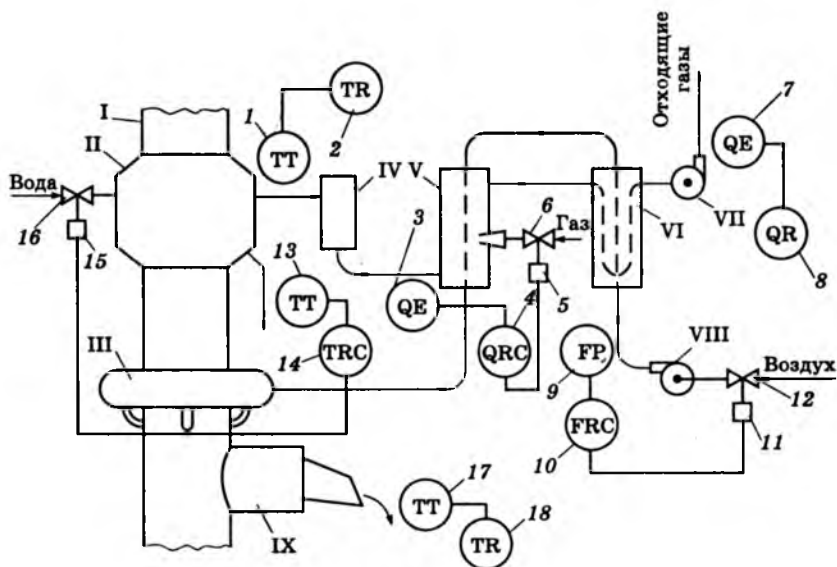


Рис. 5.15

Для измерения температуры отходящих газов предусмотрен комплект, состоящий из термозлектрического преобразователя 1 и измерительного самопишущего потенциометра 2. Для полного дожигания CO, содержащегося в отходящих газах, предусмотрена АСП, состоящая из отборного устройства 3, прибора (газоанализатора) 4, исполнительного механизма 5 и регулирующего органа 6. В первичном преобразователе газоанализатора 4 данные преобразуются в электрическую величину, которая регистрируется и сравнивается с заданным значением. В результате вырабатывается регулирующее воздействие, управляющее исполнительным механизмом 5 и соответственно регулирующим органом 6, через который топочный газ подается в рекуператор V для дожигания CO. Для контроля полноты дожигания CO в отходящих газах в радиационном рекуператоре предусмотрен газоанализатор CO₂. Комплект состоит из отборного устройства 7 и измерительного прибора 8.

Для стабилизации расхода атмосферного воздуха, поступающего в фурменный пояс III вагранки для горения, предусмотрен регулятор расхода воздуха. Комплект состоит из первичного преобразователя (диафрагмы) 9, установленного в воздухопроводе после вентилятора, измерительного регистрирующего и регулирующего прибора (дифманометра) 10, исполнительного механизма 11 и регулирующего органа 12.

Для стабилизации температуры участка охлаждения вагранки предусмотрен регулятор температуры. Первичный преобразователь регулятора 13, установленный в потоке воды, выходящей из охлаждающей рубашки II, воспринимает значение температуры воды и подает сигнал вторичному измерительному прибору 14, который сравнивает его со значением, заданным задатчиком. В случае несоответствия этих значений вырабатывается выходной сигнал, который посылается исполнительному механизму 15. Последний, изменяя подачу поступающей воды посредством регулирующего органа 16, поддерживает температуру охлаждения вагранки на заданном уровне.

Для контроля температуры выходящего из копия IX расплавленного металла предусмотрен пирометр излучения. Визирное устройство 17, являющееся первичным преобразователем пирометра, постоянно направлено на поток выходящего расплавленного металла и непрерывно передает сигнал регистрирующему потенциометру 18.

5.5.3. Автоматизация процесса плавки металла в индукционных печах

В литейных цехах индукционные печи нашли широкое применение для плавки чугуна, стали и цветных металлов. Эти печи позволяют получать высококачественный металл, имеют простую конструкцию, высокий КПД, несложные алгоритмы и системы управления.

Характерной особенностью индукционных плавильных печей является наведение вихревых токов (и последующая трансформация их энергии в теплоту) непосредственно в самом нагреваемом и расплавляемом металле под действием электромагнитного поля индуктора.

Цель управления печью заключается в обеспечении максимальной экономичности при комплексном подходе к проблеме управления не только электрическим, но и тепловым и технологическим режимами плавки.

Наиболее простое устройство (рис. 5.16) имеют тигельные печи [4]. Плавка происходит в огнеупорном тигле 4, окруженном индуктором 5 в виде водоохлаждаемой медной трубки. К индуктору охлаждающая вода подводится от специального насоса 7. Печь питается от трехфазной сети переменного тока через выключатель 1 и преобразователь электропитания 3 (регулируемый трансформатор с переключателем ступеней напряжения для печей промышленной частоты).

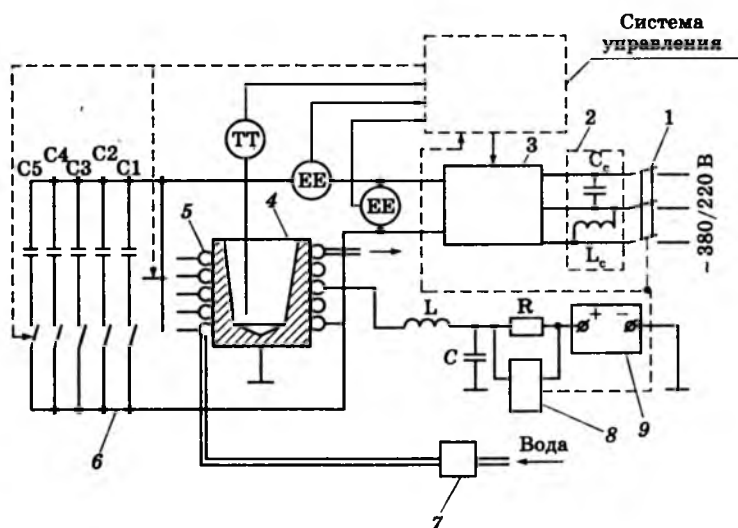


Рис. 5.16

Неравномерное распределение мощности по фазам влечет за собой недоиспользование мощности печного трансформатора. Поэтому возникает проблема обеспечения симметричной загрузки фаз, что осуществляется с помощью симметрирующего устройства 2, содержащего индуктивность L_c и емкость C_c . Кроме того, по ходу плавки необходимо регулировать напряжение на вторичной обмотке печного трансформатора, ток индуктора и коэффициент мощности ($\cos \varphi$) печной установки.

Специфической задачей автоматизации процесса индукционной плавки является необходимость контроля состояния тигля и изоляции индуктора.

Ступени напряжения печного трансформатора обычно переключают по временной программе с коррекцией по температуре металла в тигле.

Для независимого регулирования тока индуктора в некоторых разновидностях индукционных плавильных печей имеются переключатели числа рабочих витков индуктора. При нагреве ферромагнитных материалов (чугуна, стали) до точки Кюри в плавильном контуре повышается индуктивность, что снижает силу тока и замедляет процесс нагрева. Для форсирования электрического режима в этот период к печному трансформатору подключают не весь индуктор, а лишь часть его витков.

Оптимальное регулирование коэффициента мощности индукционных плавильных установок достигается компенсацией реактивной мощности индуктора путем параллельного подключения к нему емкостей $C1...C5$ конденсаторной батареи 6. Вводом соответствующего значения емкости, изменяющегося по ходу плавления шихты, достигают оптимальных условий работы печи при $\cos \varphi \rightarrow 0,98...1,00$.

Для контроля состояния тигля и изоляции индуктора используется источник постоянного тока 9, подключенный к одному из витков индуктора. В цепь источника введен фильтр LC для подавления переменной составляющей тока от индуктора и резистор R, к которому подключено реле блокировки и сигнализации 8.

С уменьшением толщины футеровки тигля до критического значения или при повреждении изоляции тигля реле срабатывает, отключая электропитание печной установки и приводя в действие систему аварийной сигнализации. При этом могут быть также произведены отсечка подачи воды к индуктору и включение продувки его сжатым воздухом.

5.5.4. Автоматизация дуговых электропечей

Дуговые плавильные печи представляет собой мощные трехфазные агрегаты периодического действия, в которых электрические дуги горят в воздушной атмосфере между концами графитовых электродов и расплавляемым металлом.

Возмущениями, вызывающими нарушение режима работы дуговой печи, могут быть: изменение длины дуги из-за постепенного укорочения электродов; обвалы шихты, приводящие к короткому замыканию или обрыву дуги; кратковременные нарушения, вызванные кипением жидкого металла и флуктуациями дуг под действием динамических усилий.

Задачи систем автоматического регулирования работы дуговой плавильной печи:

- поддержание мощности на определенном оптимальном уровне;
- изменение питающего напряжения в течение плавки в соответствии с заданной программой;
- максимально быстрая ликвидация любых нарушений режима плавки.

В качестве примера автоматизации на рис. 5.17 представлена электрическая схема регулирования длины дуги [3].

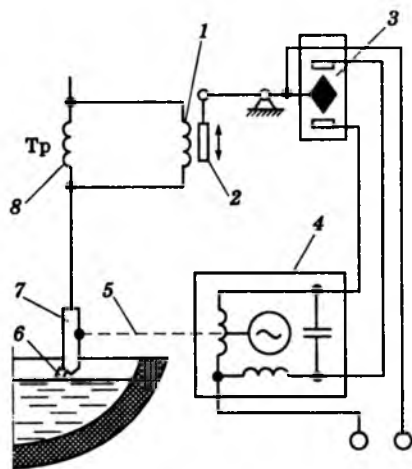


Рис. 5.17

В основу действия регулятора положена обоснованная теоретическими и проверенная экспериментальными исследованиями зависимость длины дуги от напряжения питающего тока. В конструкции регулятора использованы типовые узлы стандартных элементов автоматики. Основные элементы регулятора: индукционная

катушка 1 с размещенным в ней подвижным сердечником 2, контактная система поляризованного реле 3 и реверсивный исполнительный механизм 4.

Катушка 1 включена параллельно катушке 8 питающего трансформатора. Всякое изменение напряжения, вызванное внешними возмущениями, приводит к изменению положения сердечника 2 в магнитном поле индукционной катушки 1. Поскольку сердечник 2 кинематически связан с контактной системой поляризованного реле 3, подключенной к питающим обмоткам реверсивного исполнительного механизма 4, каждое срабатывание контактной системы приводит к вращению ротора двигателя, который через механическую передачу 5 изменяет положение электрода 7, поддерживая оптимальное значение длины дуги 6.

5.5.5. Автоматизация процесса заполнения форм расплавом

Автоматизация процесса заливки расплава в формы на конвейерах в значительной степени влияет на производительность труда и качество отливаемых изделий. В зависимости от типа конвейера применяют стационарные и передвижные заливочные установки с дозаторами расплавов. В последнем случае дозатор движется со скоростью конвейера в процессе заливки формы. Обычно это достигается включением механической связи конвейера с тележкой, на которой установлен дозатор. Для распознавания заданного положения литейной формы относительно дозатора для начала заливки используют бесконтактные путевые переключатели или фотореле.

Команды на прекращение подачи расплава в форму формируются в зависимости от принятого способа дозирования. Выполнение этих команд сопровождается подготовкой дозатора к выдаче следующей дозы расплава, а передвижной дозатор возвращается в исходное положение.

Функциональная схема одной из автоматически действующих систем заливки расплава в формы [3] приведена на рис. 5.18. Технологическое оборудование участка автоматической разлики включает: монорельсовый путь I, по которому периодически подаются разливочные ковши II; конвейерную линию III для подачи подготовленных к заливке форм IV.

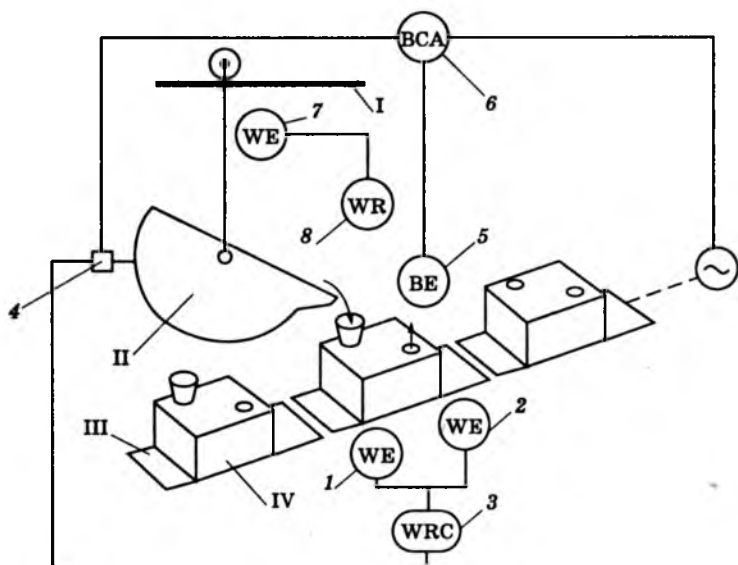


Рис. 5.18

В автоматическом режиме циклично перемещающиеся по конвейерной линии III формы IV поступают на участок, который установлен на тензометрические силовые элементы 1 и 2. Силовые элементы воспринимают массу незаполненной металлом формы и передают сигнал измерительному прибору 3. В приборе 3 поступивший сигнал преобразуется в электрическое регулирующее воздействие, которое передается исполнительному механизму 4, соединенному тягой с разливочным ковшом II. Включившись, исполнительный механизм наклоняет ковш до того момента, пока расплав из него не начнет поступать в литниковую систему формы IV. Заливка формы производится до появления светового излучения в выпоре формы. Фотозаэлемент 5, установленный над выпором, воспринимает это световое излучение и преобразует его в электрический сигнал, который передается релейному преобразователю 6. Одна контактная система релейного преобразователя дает команду на приостановку действия исполнительного механизма 4, т.е. на окончание разливки, другая — включает двигатель, который перемещает конвейерную

линию III на один шаг. В результате залитая форма выходит из-под ковша, а на ее место встает следующая, заливка которой будет производиться в описанной последовательности.

Для контроля наличия в ковше расплава на подвесной траверсе ковша предусмотрена установка первичного тензометрического преобразователя 7, соединенного с регистрирующим прибором 8. При израсходовании всего расплава прибором 8 подается сигнал о необходимости замены ковша.

5.5.6. Автоматизация установок непрерывного литья

В процессе непрерывного литья автоматически контролируется и регулируется ряд параметров. Основным технологическим параметром [4] является уровень расплава в кристаллизаторе $H_{кр}$ (рис. 5.19). Этот параметр зависит как от массового расхода расплава Q_m (кг/с), подаваемого в кристаллизатор из промежуточного ковша, так и от скорости вытягивания слитка v (м/с):

$$dH_{кр}dt = (Q_m - \rho Sv) / (\rho S),$$

где ρ — плотность металла (сплава) в твердом состоянии, кг/м³; S — площадь поперечного сечения слитка, м²; t — время, с.

Для контроля уровня расплава в кристаллизаторе используют радиоактивный уровнемер 1 или устройство, действующее по принципу изменения электропроводности шлака, находящегося над расплавом в кристаллизаторе. Для контроля глубины лунки применяют ультразвуковой или радиационный уровнемер 2, для контроля температуры поверхности слитка в зоне вторичного охлаждения — яркостный пирометр 3. Температура воды на выходе из кристаллизатора контролируется термоэлектрическим термометром 4, давление воды, подаваемой в кристаллизатор и в зону вторичного охлаждения, — пружинными манометрами 6 и 7, расход воды через кристаллизатор и в зоне вторичного охлаждения — расходомерами 5 и 8.

Управление процессом разливки осуществляется системой управления на бесконтактных логических элементах или управляющим вычислительным комплексом. Нежелательные технологические отклонения в ходе формирования непрерывного слитка меньше всего проявляются при оптимальном по быстродействию управлении приводом вытягивания слитка.

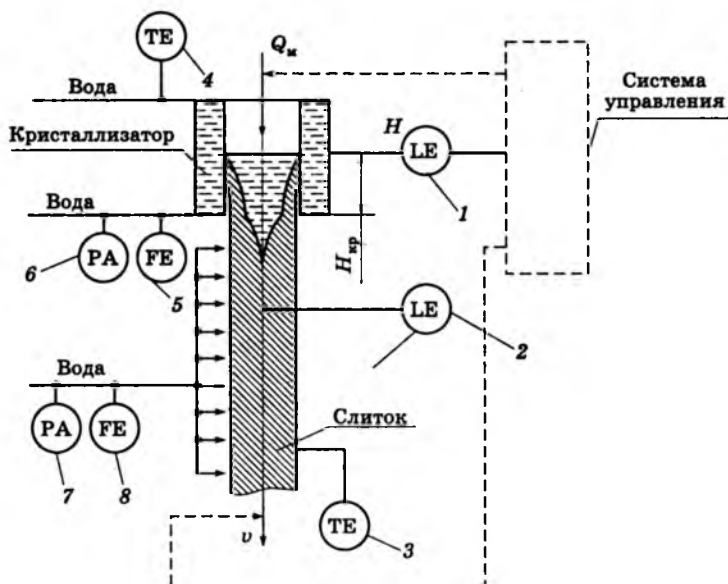


Рис. 5.19

Изменение скорости вытягивания слитка из кристаллизатора должно сопровождаться автоматической коррекцией режима питания кристаллизатора охлаждающей водой.

5.6. Процессы выбивки и очистки отливок

В связи с большой трудоемкостью операций выбивки отливок из форм и их очистки эти процессы на современных литейных производствах максимально автоматизированы.

5.6.1. Автоматизация безынерционной выбивной установки

Вариант функциональной схемы автоматизации процесса выбивки отливок из опок [3] представлен на рис. 5.20.

Технологическое оборудование включает: конвейерную линию I для подачи форм к выбивному столу II, выжимной пресс III,

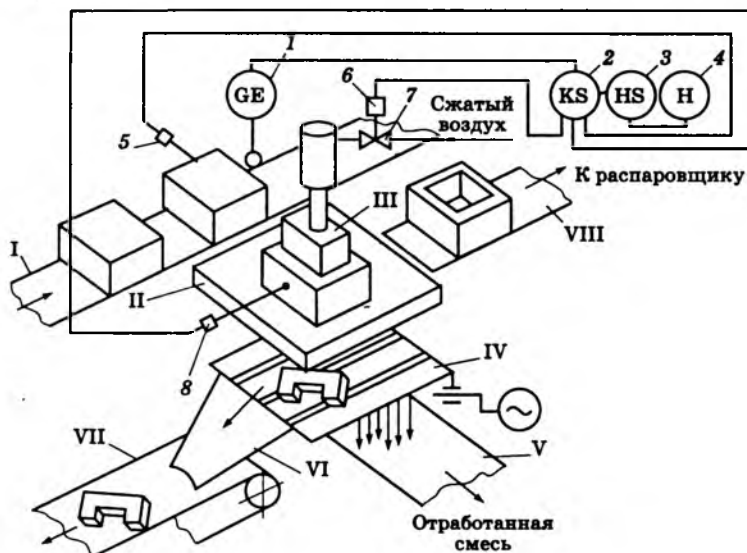


Рис. 5.20

выбивную решетку IV, конвейер для уборки смеси V, склиз VI, ленточные конвейеры VII и VIII соответственно для удаления отливок и опок.

Для автоматического управления выбивной установкой применяется командоаппарат 2. При работе установки в автоматическом режиме движущаяся по ленточному конвейеру I форма встречается с толкателем конечного выключателя 1, контактная система которого включает командоаппарат 2. Первая контактная цепь командоаппарата запускает исполнительный механизм 5, который своим толкателем перемещает форму с конвейера I на стол II, ставит ее над отверстием в столе под выжимным прессом III и возвращает толкатель в исходное положение.

Вторая контактная цепь командоаппарата 2 включает исполнительный механизм 6, который с помощью распределителя 7 приводит в действие пневмоцилиндр, связанный с пуансоном прессы III. В результате пресс выдавливает в отверстие стола на непрерывно работающую решетку IV из опок всю формовочную смесь вместе с отливкой. Затем исполнительный механизм 6 возвращает пуансон прессы III в исходное положение.

После выдавливания отливки третья контактная цепь командоаппарата 2 включает исполнительный механизм 8, который своим толкателем сдвигает опоки с выбивного стола II на движущийся ленточный конвейер VIII и возвращает толкатель в исходное положение. Затем контактная система командоаппарата возвращается в исходное состояние и готова к повторению цикла в описанной последовательности.

На непрерывно работающей выбивной решетке IV отработанная смесь отделяется от отливки. Смесь просыпается на ленточный конвейер V, а отливка по склизу VI поступает на конвейер VII.

Ручное (дистанционное) управление исполнительными механизмами выбивной установки для наладки и при неполадках в системе автоматики может быть осуществлено с помощью пульта управления 4, подключаемого универсальным переключателем рода работы 3.

5.6.2. Автоматизация процесса очистки отливок

Для проведения работ по очистке поверхности отливок от пригара и остатков формовочной и стержневой смесей применяют галтовочные барабаны, дробеметные аппараты и машины, дробеструйные аппараты, гидropескоструйные камеры, абразивно-вибрационные агрегаты, оборудование для электрохимической очистки. При этом автоматизации подлежат следующие операции:

- транспортировка отливок к устройствам очистки;
- загрузка подлежащих очистке отливок в очистные агрегаты;
- отправка очищенных отливок на финишную обработку;
- уборка отходов процесса очистки.

Вариант функциональной схемы автоматизации поточной механизированной линии очистки отливок [4] представлен на рис. 5.21.

Технологическое оборудование линии включает: ленточный конвейер, подающий отливки от выбивной решетки I; галтовочный барабан II; ленточный конвейер для уборки отходов III; передаточный конвейер IV; дробеметный барабан V; конвейер для транспортировки очищенных отливок VI; вентиляторы для отсоса воздуха VII и VIII соответственно из галтовочного и дробеметного барабанов.

Для обеспечения равномерной загрузки галтовочного барабана II тензометрический преобразователь 2 воспринимает действие

Рассматриваемая схема может быть дополнена датчиками массы 9 и скорости 10 на выходном транспортере VI для учета общей массы очищенных отливок.

При очистке отливок в дробеметных, дробеструйных и гидрореспектструйных агрегатах дополнительной задачей автоматизации является обеспечение вращения отливок при очистке их струей дробы или водопесчаной струей.

5.6.3. Автоматизация процесса зачистки отливок абразивными кругами

После очистки поверхности отливок проводится их зачистка — удаление с поверхности отливок заливов металла, заусенцев и других неровностей. Основной трудностью процесса автоматизации зачистки на машинах является разнотипность изделий, поэтому отливки группируют по размерам, форме и другим конструктивным параметрам.

Зачистка отливок может быть автоматизирована при использовании станков, снабженных абразивными кругами. Общая отличительная особенность таких станков-автоматов — наличие механических устройств, подающих и удерживающих отливки в процессе зачистки абразивными кругами.

На рис. 5.22 приведена функциональная схема автоматизации поточной линии для обработки торцовых поверхностей цилиндрических отливок [3].

Технологическое оборудование поточной линии включает: ленточный конвейер I, приемный бункер II, питатель III, транспортер IV, наждачный станок V, конвейер VII для транспортировки готовой продукции в ящиках VI на склад.

Из бункера II отливки поштучно захватываются движущимися механическими лопатками питателя III и укладываются в пазы непрерывно движущегося транспортера IV. При этом отливки выравниваются, закрепляются и постепенно входят в зону между двумя вращающимися абразивными кругами наждачного станка V. При этом с торцовых поверхностей отливок срезаются лишние приливы металла и одновременно обеспечивается требуемый размер по длине. Выходящие из транспортера IV изделия укладываются в ящик VI, а после его заполнения конвейером VII передаются на склад готовой продукции.

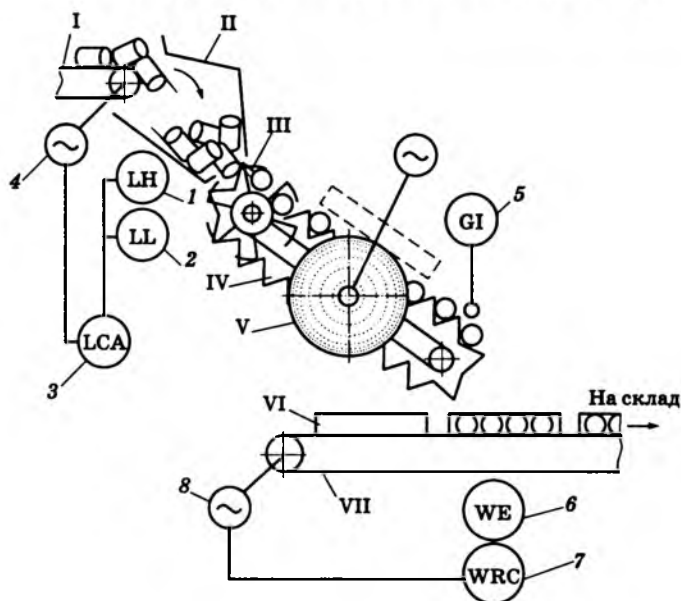


Рис. 5.22

Для предотвращения переполнения бункера II отливками и поддержания их определенного уровня предусмотрена АСП уровня, состоящая из первичных преобразователей 1 и 2, релейного блока 3, исполнительного механизма (электродвигатель) 4 и конвейера I, выполняющего роль регулирующего органа. При уровне отливок в бункере выше допустимого первичный преобразователь 1 подает сигнал релейному блоку 3, который отключает электродвигатель 4 привода конвейера I. При уровне ниже допустимого релейный блок 3 подает сигнал на включение конвейера.

Для контроля размеров (длины) отливок после зачистки предусмотрен измерительный прибор (индикатор) 5, автоматически измеряющий длину каждого изделия и подающий сигнал о необходимости вмешательства оператора для устранения причин, вызвавших отклонение размеров отливок при обработке.

Для автоматизации процесса замены ящика VI предусмотрен комплект, состоящий из тензометрического преобразователя 6

и регистрирующего измерительного прибора 7 с релейным электроконтактным устройством. При достижении заданного значения массы отливок в ящике тензометрический преобразователь 6 подает сигнал прибору 7, который включает двигатель 8 привода ленточного конвейера VII. При этом загруженный ящик перемещается на один шаг вперед, а на его место подается пустой ящик.

Контрольные вопросы

1. Из каких стадий состоит процесс проектирования систем автоматизации?
2. Каким образом на функциональных схемах отображают системы автоматического регулирования?
3. Как на функциональных схемах отображают системы программного и ручного управления?

ПРИМЕРЫ СОВРЕМЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В современном литейном производстве на установках для приготовления формовочной смеси применяются автоматические приборы контроля качества смеси для своевременного регулирования параметров технологического процесса и повышения качества готовой смеси. Например, определение и регулирование влажности в процессе приготовления формовочных смесей обычно осуществляется по результатам контроля формуемости или уплотняемости смеси, регулирование количества связующего — по результатам определения предельных напряжений при сжатии и сдвиге. В последнее время для загрузки технологического зачистного оборудования небольшими отливками все чаще используются устройства автоматической сортировки и ориентации изделий. Автоматизируются также процессы плавки металлов, заливки литейных форм и другие переделы литейного производства.

Контроль и управление качеством единой 6.1. формовочной смеси

Единая формовочная смесь (ЕФС) в качестве основного наполнителя содержит оборотную смесь, которую до перемешивания с другими компонентами подвергают ряду технологических операций, направленных на то, чтобы сделать этот материал кондиционным. Учитывая это, алгоритм или блок-схему системы подготовки материалов для приготовления ЕФС можно представить как совокупность операций обработки оборотной смеси (перемешивание со свежим кварцевым песком, бентонитовым порошком, угольной пылью и добавками) с постоянным контролем качества как оборотной, так и готовой смеси (рис. 6.1).

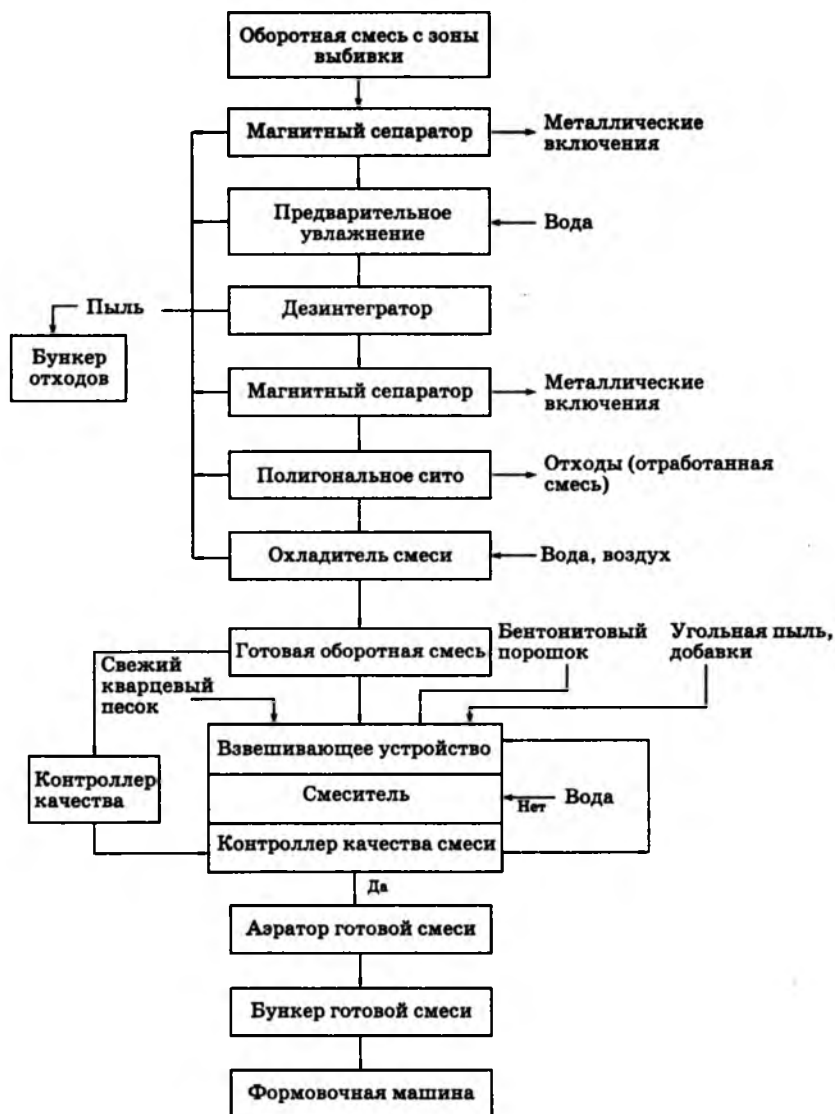


Рис. 6.1

Известные *методы контроля качества* формовочной смеси могут быть разделены на две группы: методы непосредственного контроля, например текучести, осыпаемости, газопроницаемости, и опосредованного контроля качества смеси по одному или нескольким косвенным параметрам (влажность, температура и др.

Методы непосредственного контроля реализуются, как правило, в лабораторных условиях. Они позволяют осуществить достаточно полный анализ технологических и физико-механических параметров смеси. Однако полученная этими методами оценка носит лишь констатирующий характер, что не дает возможности оперативно вмешиваться и корректировать технологический процесс смесеприготовления. В связи с этим они не исключают возможности попадания некачественной смеси на позицию формовки и соответственно получения бракованных отливок, а лишь позволяют проанализировать причины брака. Автоматизация методов непосредственного контроля качества смеси является весьма сложной и дорогостоящей задачей, требует установки специальных пробоотборников, сложной преобразующей и анализирующей аппаратуры.

Примером системы, основанной на использовании методов непосредственного контроля качества смеси, является система, предлагаемая фирмами «DISA+GF» и «Eirich», в которой автоматически осуществляется отбор пробы смеси из смесителя, затем формируется образец, передаваемый в мультиконтроллер, где автоматически определяется прочность и текучесть смеси. Полученные значения анализируются и преобразуются в управляющий сигнал, обеспечивающий добавление воды и бентонита. Отбор пробы из смесителя и корректировка состава через определенные промежутки времени повторяется до тех пор, пока параметры смеси не войдут в заданные рамки.

Для управления дозированием используется, как правило, контроллер Simatic S7. Программа контроллера обеспечивает:

- контроль задаваемых значений (на достоверность);
- автоматическую установку нуля;
- сравнение цифровых задаваемых и действительных значений;
- грубое и точное дозирование дозирующими устройствами;
- автоматическое следящее оптимизирование;
- опознавание исходного состояния весовых дозаторов;

- непрерывный расчет дозирования в кг/с;
- управление вспомогательным опорожнением бункеров в зависимости от дозирования;
- контроль времени дозирования для каждого весового дозатора;
- контроль времени опорожнения весовых дозаторов;
- управление вспомогательным опорожнением весовых дозаторов.

Система визуализации процесса смесеприготовления реализуется на базе ПК и позволяет:

- осуществлять наглядное изображение установки;
- обеспечивать удобное обслуживание;
- осуществлять ввод данных пользователем и выдачу сообщений о неполадках с указанием даты и времени на печатающее устройство.

Смесеприготовительная установка оснащается системой коррекции влажности в зависимости от влажности (как функции насыпной плотности) и температуры оборотной смеси. В ее состав входят:

- датчик влажности и температуры оборотной смеси в смесителе;
- приборы измерения влажности и температуры с электронной обработкой.

Принцип измерения влажности смеси основан на измерении ее диэлектрической проницаемости в сочетании с высокочастотным затуханием прилегающего к датчику материала в диапазоне коротких волн. Для измерения температуры используется термометр сопротивления.

Методы опосредованного контроля качества формовочной смеси по одному или нескольким определяющим параметрам базируются на высокой степени их корреляции с важнейшими качественными характеристиками формовочной смеси. Они отличаются простотой автоматического контроля выбранных параметров непосредственно в технологическом потоке и возможностью управления ими на стадии смесеприготовления. Анализ мирового опыта, накопленного в области создания систем автоматического контроля и управления качеством формовочной смеси, показывает, что чаще всего в качестве основного контролируемого

и управляющего параметра выбирается влагосодержание песчано-глинистой ЕФС. Такой выбор обусловлен в первую очередь тем, что *влажность* при заданном составе песчано-глинистой смеси (ПГС) является важнейшим фактором, определяющим ее основные физико-механические свойства. На рис. 6.2 представлены зависимости физико-механических свойств ЕФС РУП «Минский тракторный завод» от ее влажности (W): 1 — прочность смеси на сжатие (σ); 2 — осыпаемость (O_c); 3 — газопроницаемость (Γ); 4 — текучесть (T).

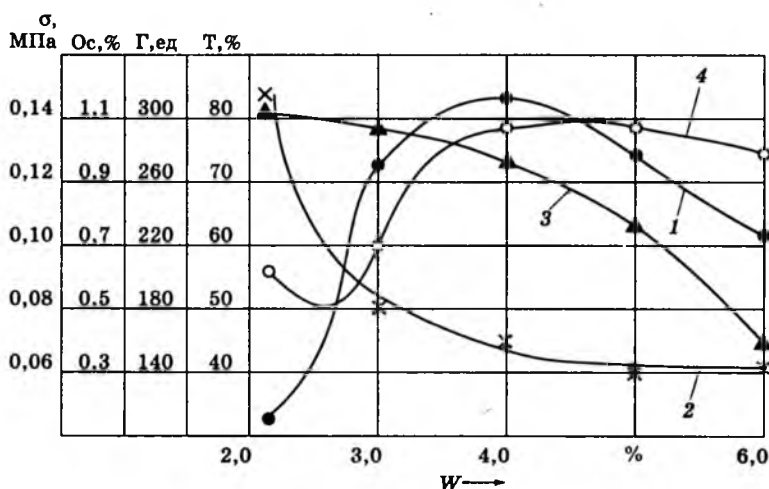


Рис. 6.2

Связующая композиция ПГС представляет собой двухкомпонентную систему, состоящую из формовочной глины и воды. Соответственно, при фиксированном глиносодержании общее количество связующей композиции и ее собственные характеристики (вязкость, плотность и т.д.) определяются влагосодержанием смеси. Аналогичная ситуация характерна и для ряда смесей, в которых связующая композиция может рассматриваться как водный или коллоидный водный раствор (например, в жидкостекольных смесях) и где влажность позволяет оценить содержание связующего в смеси (при известном влагосодержании используемого наполнителя).

Кроме названных причин, пристальное внимание к контролю и управлению влажностью формовочных смесей связано с рядом специфических, технологических и производственных факторов.

Влажность оборотной формовочной смеси в реальных производственных условиях — величина, непрерывно изменяющаяся. Причем изменения эти носят, в известной мере, случайный характер, что обусловлено текущими изменениями металлоемкости формы и температуры заливаемого металла, потерями влаги при транспортировке и на пересыпах, пересечениями технологических потоков, плановыми и случайными остановками технологического цикла, сезонными и суточными колебаниями температуры и влажности в цехе и т.д. В связи с этим колебания влажности оборотной смеси как на входе, так и на выходе из смесителя могут отличаться от технологически требуемой величины на $\pm 2...3\%$. В то же время в абсолютном большинстве случаев необходимо поддержание влажности готовой формовочной смеси в существенно более узком диапазоне — $\pm 0,3\%$, поэтому требуется непрерывный текущий контроль и гибкое регулирование влажностного содержания смеси.

Как отмечалось в п. 3.5.1, до последнего времени для *экспресс-контроля влажности* в литейном производстве использовались гальванические, кондуктометрические и емкостные приборы.

Работа гальванических влагомеров основана на измерении ЭДС, возникающей между двумя электродами, заглубленными в формовочную смесь, и изменяющейся при колебаниях влажности. С помощью подобных устройств может быть измерена влажность готовой формы либо смеси, находящейся в бункере. Однако на получаемые результаты чрезвычайно большое влияние оказывают малейшие изменения кислотности смеси и наличие примесей солей и оксидов. Это, а также невысокая точность приборов не позволили методу контроля влажностного содержания по изменению ЭДС получить широкое распространение в литейном производстве.

Работа кондуктометрических датчиков основана на измерении электросопротивления смеси, которое падает при увеличении влажностного содержания. Зависимости электросопротивления различных формовочных смесей от влажности

представлены на рис. 6.3: 1 — ПГС (8 % бентонита); 2 — ПСС (3 % бентонита, 5 % жидкого стекла, 0,5 % сульфитного щелочка); 3 — ПСС (5 % жидкого стекла, 3 % бентонита).

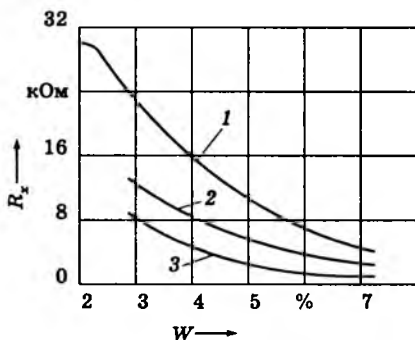


Рис. 6.3

Однако в этом случае, как и при использовании гальванических влагомеров, на точность кондуктометрических датчиков существенное влияние оказывают случайные примеси, изменения кислотности песка, введение в смесь специальных добавок и т.п. Так, например, ЕФС, приготовленная на песках Гомельского ГОК, при влажности 3 % имеет сопротивление около 24 кОм, а та же смесь при такой же влажности, но на базе песка Жлобинского ГОК имеет сопротивление ~14 кОм. Причиной такого существенного различия электросопротивления является наличие примесей в формовочных песках.

Работа емкостных влагомеров заключается в измерении величины емкости конденсатора, между обкладками которого находится исследуемый материал, и основана на уникальных диэлектрических характеристиках воды в области высоких частот ($10^3 \dots 10^7$ Гц), где ее диэлектрическая проницаемость равна 80, тогда как у большинства сухих материалов она изменяется в пределах 2...5. Установлено, что зерновой состав песка и специальные добавки в смесь не оказывают существенного влияния на показания диэлектрического влагомера. На использовании емкостных влагомеров построены системы контроля и управления качеством формовочной смеси, предлагаемые рядом

западных фирм, среди которых «Lipke», «Faundri Control», «Disa». Однако этот метод тоже имеет ряд существенных недостатков, главный из которых — значительное снижение точности измерений при низких влажностях смеси (2,0...2,5 %), что объясняется суммированием собственных диэлектрических характеристик элементов, входящих в многокомпонентные системы:

$$\sqrt{\epsilon_{\text{см}}} = W\sqrt{\epsilon_{\text{в}}} + (1 - W)\sqrt{\epsilon_{\text{п}}} + 1,$$

где $\epsilon_{\text{см}}$ — диэлектрическая проницаемость смеси; $\epsilon_{\text{в}}$ — диэлектрическая проницаемость воды; $\epsilon_{\text{п}}$ — условно суммарная диэлектрическая проницаемость основных компонентов смеси — песка и глины; W — массовая доля воды в смеси.

Из этого выражения видно, что при низкой влажности диэлектрическая проницаемость смеси практически полностью определяется свойствами наполнителя. В связи с этим при контроле смесей с низкой влажностью емкостным методом непрерывным условием достижения необходимой точности измерения является стабильность диэлектрических характеристик используемого наполнителя. Так, для получения точности измерения влажности формовочной смеси в пределах $\pm 0,2$ % при влагосодержании 1...3 % необходимо исключить относительные колебания диэлектрических характеристик наполнителя, превышающие 2...3 %, что труднодостижимо в реальных условиях. Кроме того, показания емкостного влагомера достаточно сильно зависят от плотности и температуры смеси.

Известны попытки использования для контроля влажности формовочных смесей *электрофизических методов*, в частности метода ядерного магнитного резонанса (суть которого заключается в измерении уровня поглощения энергии радиочастотного магнитного поля ядрами атомов водорода) и нейтронного метода (измерение уровня замедления рассеивания быстрых нейтронов атомами водорода исследуемого материала). Эти методы позволяют контролировать влажность практически любых материалов с высокой точностью, при этом могут контролироваться сразу большие объемы материала (например, измеряется влажность смеси, находящейся в бункере-накопителе). Однако, несмотря на указанные преимущества, электрофизические методы не нашли широкого применения в литейном

производстве, в основном из-за высокой стоимости и сложности измерительной аппаратуры и небезопасности метода (необходима надежная радиационная защита).

Для устранения большинства вышеуказанных недостатков на кафедре «Машины и технология литейного производства» Белорусского национального технического университета разработан способ контроля влагосодержания формовочных смесей с помощью СВЧ-методов. Этот способ отличается высокой точностью, относительной простотой и дешевизной инструментальной реализации, возможностью бесконтактных измерений и высокой информационностью оценки (см. п. 3.5.2, рис. 3.47, 3.48).

Результаты исследований и литературные данные показывают, что в СВЧ-диапазоне концентрация солей и оксидов, а также наличие случайных примесей практически не оказывают влияния на точность влагомера. Это также является немаловажным преимуществом СВЧ-метода перед другими электрофизическими методами определения влажности смесей, включая емкостный.

В СВЧ-влагометрии используются три схемы измерения влажности: по уровню поглощения микроволновой энергии, по значению фазового сдвига СВЧ-колебаний и по параметрам отраженной волны.

Наиболее распространенным является метод контроля влагосодержания по уровню поглощения микроволновой энергии, что связано с его высокой точностью и чувствительностью, простотой приборной реализации, практически полным (от 0 до 100 %) диапазоном измеряемых влажностей, широким выбором первичных датчиков, позволяющих решать задачи непрерывного контроля влажности непосредственно в технологическом потоке.

На рис. 6.4 приведена структурная схема СВЧ-влагомера, работающего по методу поглощения микроволновой энергии. Вла-

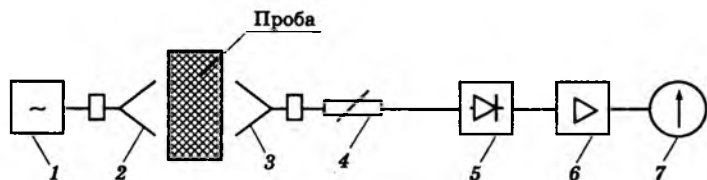


Рис. 6.4

гомер состоит из генератора 1, приемной и передающей антенн 2 и 3, аттенюатора 4, диодной секции 5, усилителя 6 и индикатора 7. В пространстве между антеннами 2 и 3 размещается проба.

Измеряемым параметром в таких влагомерах является ослабление или затухание СВЧ-энергии в исследуемом материале. Для получения стабильных результатов измерения влажности в СВЧ-влагомерах должна обеспечиваться либо стабильная плотность исследуемого материала, либо автоматическое измерение текущей плотности и соответствующая корректировка показания. На точность измерений влияет также изменение температуры образца смеси. На рис. 6.5 приведены зависимости диэлектрических потерь ϵ'' от температуры образца (1 — на частоте 3,0 ГГц; 2 — 9,4 ГГц; 3 — 25 ГГц).

Функциональная схема и алгоритм функционирования системы автоматического контроля и управления процессом смесеприготовления с использованием СВЧ-влагомеров представлены в гл. 5 (см. рис. 5.9 и рис. 5.10).

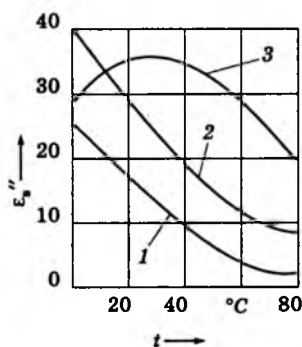


Рис. 6.5

Технологическая схема автоматизированной системы приготовления песчано-глинистых формовочных смесей, работающей на многих заводах Республики Беларусь и Российской Федерации, представлена на рис. 6.6. Система может быть использована для обеспечения формовочной смесью литейного конвейера или автоматической литейной линии.

Технологическое оборудование системы: бункер-накопитель I, весовой бункер-дозатор оборотной смеси III, дозатор суспензии IV, смеситель V, бункеры VII и IX, выбивная установка X, магнитные сепараторы XI, XV и XVI, сито XIII, установка охлаждения и обеспыливания XVIII, элеватор XIX, ленточные конвейеры II, VI, VIII, XII, XIV, XVII и XX. Система оснащена средствами автоматизации: датчики наличия материала 1 и 6, датчик массы 4, датчики влажности 2, 7 и 10, датчики температуры 3, 8, 11 и 12, а также исполнительные механизмы привода направляющих плужков 9, дозаторов глинистой суспензии и воды 5 и 13 соответственно. Число используемых приборов контроля влажности

и температуры зависит, в общем случае, от числа смесителей, включенных в единую систему смесеприготовления. Информация о протекании технологического процесса и контролируемых параметрах формовочной смеси поступает в центр управления системой (ЦУС), который оснащен ПЭВМ, контроллером и блоком бесперебойного питания

Контроль количества поданной в смеситель глинистой суспензии осуществляется с помощью дозатора суспензии IV, управление потоком смеси — с помощью приводных направляющих плужков. Стабильность массы замеса обеспечивается весовым дозатором оборотной смеси III. Корректировка температуры смеси осуществляется системой дополнительного охлаждения непосредственно в смесителе (если смеситель оборудован системой отсоса пыли) и изменением количества воды, подаваемой на орошение смеси в установке охлаждения и обеспыливания XVIII. Обратная смесь из бункера-накопителя I по ленточному конвейеру II поступает в дозатор III, проходя между излучающей и приемной антеннами датчика СВЧ-влажмера 2. Информация о влагосодержании и температуре оборотной смеси передается и обрабатывается в ЦУС, где, в соответствии с заданными параметрами готовой формовочной смеси, вырабатываются управляющие команды для исполнительных механизмов 5 и 13.

Приборы контроля на выходе из смесителя отслеживают параметры готовой формовочной смеси, обеспечивая, таким образом, контроль технологического процесса перемешивания: срабатывание исполнительных механизмов, точность дозирующих устройств, адекватность работы датчиков, контролирующих параметры оборотной смеси. По показаниям этих приборов можно оценить качество работы смесителя — однородность приготовленной смеси: если колебания текущих показаний влажмера превышают заданный интервал (например, $\pm 0,15\%$), то это означает неравномерное увлажнение смеси по объему и, следовательно, говорит либо о неудовлетворительной работе смесителя, либо о недостаточном времени перемешивания. В случае, если замес, выпущенный из смесителя, не укладывается в заданные параметры готовой смеси (по влагосодержанию или температуре), срабатывает исполнительный механизм 9 направляющего плужка и смесь сбрасывается на конвейер XVII.

ковшом с поворотным устройством. Сами приборы могут быть однопозиционными (все операции со смесью выполняются на одной позиции, а различные измерительные устройства поочередно устанавливаются над ней) или многопозиционными. В последнем случае гильза с образцом от позиции к позиции может перемещаться транспортным устройством карусельного или челночного типа.

Приборы для текущего контроля технологических свойств смеси состоят из нескольких устройств. На рис. 6.7 представлена схема устройства для изготовления образца. В состав устройства входит гильза 3, которая крепится к столу 4. Дно гильзы 3 заперто поршнем 2, приводимым в действие цилиндром 5. Для заполнения гильзы смесью служит ковш 6. С помощью привода 7 ковш 6 опускается вниз к транспортеру, зачерпывает смесь, затем поднимается к столу 4 прибора и заполняет гильзу 3 смесью. Излишек смеси в гильзе 3 сбрасывается цилиндром 5.

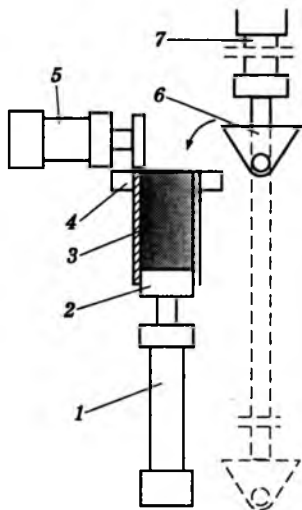


Рис. 6.7

Образец смеси остается в гильзе 3 и может быть подвергнут испытаниям на уплотняемость, твердость, прочность при срезе или сжатии.

Для определения уплотняемости смеси (рис. 6.8) верхний срез гильзы закрывается крышкой 3 и образец сжимается поршнем 2, который перемещается вверх под действием цилиндра 1. Цилиндр 1 оказывает давление 1 МПа. Ход поршня 2 измеряется, а величина хода поршня является косвенной характеристикой уплотняемости смеси.

Уплотненный образец в зависимости от принятого варианта контроля подвергается испытаниям на твердость или прочность при срезе.

Для определения твердости уплотненного образца (рис. 6.9) над открытым верхним срезом гильзы размещается измерительный цилиндр 3 с измерительным наконечником 2. Наконечник подводится к верхней плоскости образца и внедряется в него.

Твердость смеси в образце определяется по глубине погружения наконечника 2 в образец.

Для измерения прочности образца при срезе (рис. 6.10) нижний цилиндр 1 выталкивает часть образца из гильзы вверх. Затем испытательный цилиндр 3 горизонтальным ходом своего поршня полукруглой головкой 2 производит разрушение образца. Максимальное усилие на штоке цилиндра служит мерой прочности смеси при срезе.

Для определения прочности смеси при сжатии (рис. 6.11) над образцом помещается измерительный цилиндр 2 и образец выталкивается из гильзы нижним цилиндром 1. При ходе штока цилиндра 2 вниз измеряется максимальное усилие, достигнутое при разрушении образца, которое и является мерой прочности образца при сжатии.

В установках, определяющих прочность смеси при сжатии и срезе, эти испытания производят на разных образцах.

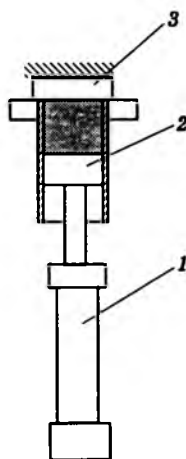


Рис. 6.8

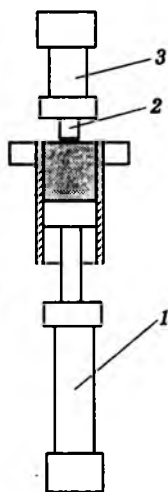


Рис. 6.9

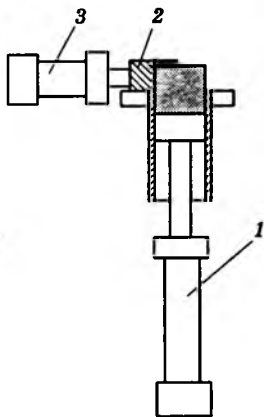


Рис. 6.10

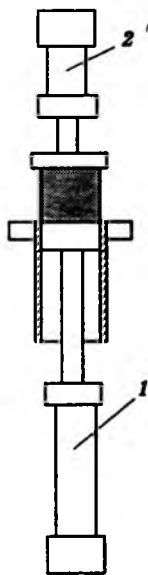


Рис. 6.11

Процесс плавки в среднечастотных 6.2. индукционных печах

Современные литейные цехи невозможно представить без среднечастотных плавильных, индукционных печей, которые позволяют с высокой энергетической эффективностью осуществлять плавку различных сплавов. Отличительной чертой такого оборудования является высокая степень автоматизации как процесса плавки, так и вспомогательных процессов, связанных с взвешиванием и загрузкой шахты, функционированием систем охлаждения и др. При этом производители таких печей оснащают их PLC, к которым подключают все системы безопасности и электронные системы управления печью. Кроме того, можно организовывать различные режимы работы печей, включая распределение мощности между печами, пуск и остановку любого агрегата и т.д.

В качестве примера можно привести систему расширенной мощности, широко применяемую в среднечастотных индукционных печах фирмы «EGES». Эта система (рис. 6.12) включает

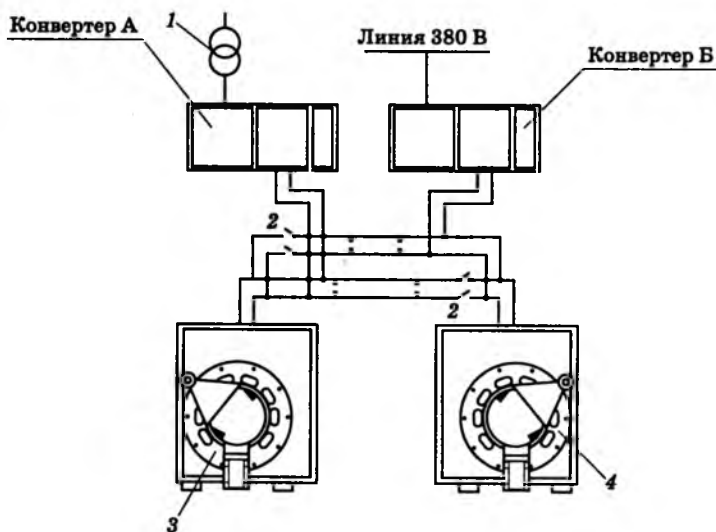


Рис. 6.12

управление двумя независимыми преобразователями, питаемыми от одного трансформатора 1. При этом конвертер А является высокомоушным (мощностью, например, 5000 кВт), а конвертер Б — маломощным (800 кВт).

С помощью автоматических переключателей 2 осуществляется перераспределение мощности к двум 8-тонным индукционным печам 3 и 4, как это показано на диаграммах (рис. 6.13, а — перераспределение мощности на печи 3; б — на печи 4). При этом конвертер А всегда работает на полную мощность и служит только для осуществления процесса плавки в печах 3 и 4. Как только в печи 3 образовался расплав, с помощью автоматического переключателя 2 (рис. 6.12) происходит перераспределение мощности, подаваемой на эту печь, и включается конвертер Б, который осуществляет возможность работы печи в режиме миксера.

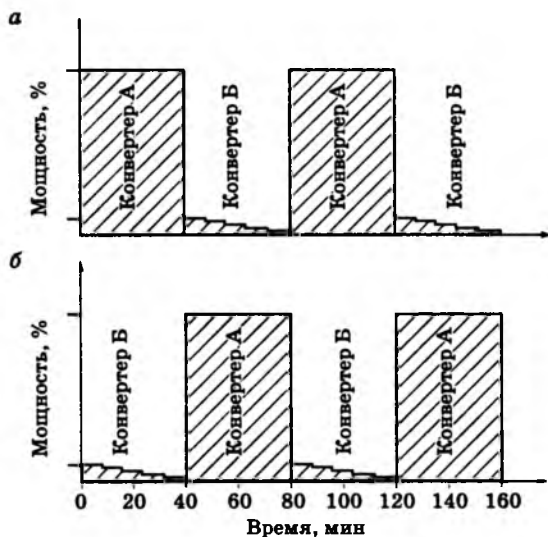


Рис. 6.13

Печь 4 подключается к конвертеру А и в ней осуществляется плавка. Подобная автоматизация процесса обеспечивает постоянную требуемую для печи мощность, что сокращает время плавки и, соответственно, значительно увеличивает эффективность потребления электроэнергии.

Система контроля процесса заливки

6.3. литейных форм

В массовом производстве отливок, особенно с использованием автоматических формовочных линий (АФЛ), весьма важным этапом является автоматическая заливка форм и постоянный контроль окончания этого процесса для каждой конкретной формы. Автоматизация этого процесса позволяет:

- оптимизировать расход расплава и предотвратить его пере-ливание через края литниковой чаши;
- организовать контроль залитых и бракованных форм.

В настоящее время существует несколько технических решений для реализации контроля процесса заливки литейных форм. В качестве примера на рис. 6.14 представлена разработанная компанией «АВВ» система «Laser Pour System», основанная на использовании лазерного источника 1 и детектора 5, фиксирующего отраженный от поверхности расплава лазерный луч 2.

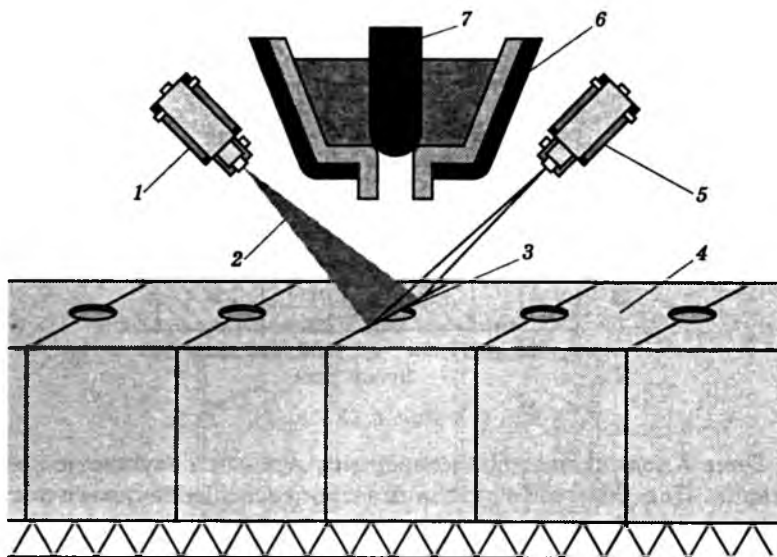


Рис. 6.14

Работа такой системы осуществляется следующим образом. Лазерный луч 2, подающийся на поверхность литейной формы 4, извещает исполнительный орган (заливочное устройство 6 со стопором 7) о наличии заливочной чаши 3 под заливочным устройством 6. Полученная информация обрабатывается ПЭВМ, после чего подается команда на срабатывание (подъем) стопора 7 и начинается процесс заливки формы расплавом. Как только выпор полностью заполняется расплавом, отраженный от его поверхности лазерный луч воспринимается детектором 5. Информация от детектора передается к ПЭВМ и практически мгновенно трансформируется в командный сигнал, приводящий к опусканию стопора 7 и прекращению процесса заливки. После продвижения конвейера АФЛ следующая опока попадает в зону действия устройства контроля и процесс повторяется. Таким образом, в течение всего периода работы АФЛ осуществляется не только автоматическая заливка, но и полный контроль количества залитых форм. Все данные поступают на монитор пульта оператора и хранятся в памяти ПЭВМ.

Системы автоматической сортировки

6.4. и ориентации

При установке отливок в обдирочные станки, обрезающие и правильные штампы применяют механические устройства для их автоматической сортировки и ориентации. Действие таких устройств основано на использовании конфигурации отливок или систем технического зрения в составе робототехнических комплексов [6].

Для загрузки технологического зачистного оборудования небольшими отливками простой конфигурации применяются полуавтоматические магазинные или автоматические бункерные устройства, снабженные *ориентирующими устройствами*. Действие ориентирующих устройств основано на различных особенностях отливок (асимметрии, смещении центра тяжести и т.д.).

Основное назначение систем технического зрения — обнаружение объектов, их распознавание, идентификация и определение положения в пространстве.

Система технического зрения состоит из первичного преобразователя зрительного изображения в электрический сигнал, устройства предварительной обработки зрительной информации и ЭВМ. В качестве первичных преобразователей применяют электронно-лучевые (телевизионные передающие трубки), а также ультразвуковые и рентгеновские преобразователи.

Для надежной работы промышленных систем технического зрения необходимо, чтобы каждая деталь находилась в неподвижном положении и не соприкасалась с другими деталями.

Процесс распознавания деталей состоит из следующих этапов:

- получение контрастного плоского изображения детали;
- получение математического описания контура (границ) детали;
- сопоставление найденного контура с заданными эталонами контуров для идентификации деталей;
- определение по найденному контуру положения детали в пространстве (для передачи координат детали системе управления робота).

Для получения контрастного изображения используется линейно сканирующая камера в сочетании с движущейся лентой конвейера, на которой лежат детали. Применяются также передающие телевизионные камеры. Кроме того, необходимо специальное освещение деталей.

Линейно сканирующая камера 1 (рис. 6.15) фокусируется на узкой полосе поверхности конвейера, перпендикулярной направлению его движения. Тонкая полоска света, излучаемая источником 2, отражается от поверхности конвейера и попадает в камеру. При этом камера «видит» яркую полосу света. Движущийся объект 3 частично закрывает эту полосу света. Система технического зрения периодически считывает величины освещенности с линейно сканирующей камеры и в ее памяти формируется плоское изображение объекта (рис. 6.16).

Следующим этапом работы системы технического зрения является нахождение математического описания контуров границы объекта по полученному черно-белому двумерному изображению объекта.

Для контура любой конфигурации можно получить несколько основных геометрических параметров, однозначно характеризующих этот контур и позволяющих классифицировать объект: площадь, длина периметра и др.

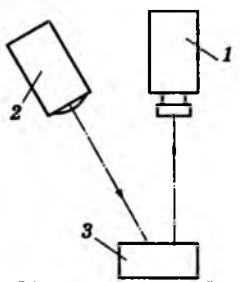


Рис. 6.15

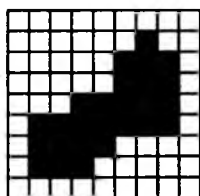


Рис. 6.16

Система технического зрения после получения информации об отливке строит ее образ, по которому вычисляет площадь, минимальный и максимальный диаметры и другие характеристики отливки. Затем полученные значения сравниваются с эталонами, записанными в каталог деталей в процессе «обучения» системы. Таким образом, система технического зрения определяет угол разворота отливки относительно направления движения конвейера. Это дает возможность правильно сориентировать захватывающее устройство робота, предназначенного для съема деталей с конвейера.

Контрольные вопросы

1. Почему влагосодержание песчано-глинистой ЕФС выбирают в качестве основного контролируемого и управляющего параметра в системах автоматизированного смесеприготовления?
2. Какой принцип положен в основу СВЧ-влагометрии?
3. Перечислите технологические свойства формовочных песчано-глинистых смесей.
4. С какой целью в устройствах для автоматизированной сортировки используются системы технического зрения?

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Основные буквенные обозначения элементов автоматизации: измеряемые величины и функции

Измеряемая величина или функция	Обозначение	Измеряемая величина или функция	Обозначение
Плотность (разность, перепад)	D	Вязкость	V
Электрическая величина	E	Масса	W
Расход (соотношение, доля)	F	Автоматическое переключение, обегание	J
Время, временная программа	K	Интегрирование, суммирование	Q
Уровень	L	То же, по времени	I
Влажность	M	Показание	A
Давление, вакуум	P	Сигнализация	C
Качество (состав, концентрация и т.п.)	Q	Регистрация	R
Радиоактивность	R	Регулирование, управление	C
Скорость (частота)	S	Включение, отключение, переключение, блокировка	S
Температура	T	Верхний предел измеряемой величины	H
Группа разнородных измеряемых величин	U	Нижний предел измеряемой величины	L

2. Дополнительные буквенные обозначения функциональных признаков элементов автоматизации

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Приборы автоматики:		Операции, выполняемые вычислительным устройством:	
чувствительный элемент, выполняющий первичное преобразование сигнала (физической величины)	Е	суммирование	Σ
приборы с дистанционной передачей сигнала	Т	умножение сигнала на постоянный коэффициент	k
станция управления для выбора вида управления (автоматическое, ручное и т.п.) и дистанционного управления	К	перемножение двух или более сигналов друг на друга	$\times$
Преобразователи сигналов и вычислительные устройства	У	возведение величины сигнала в степень	f^n
Род энергии сигнала:		извлечение из величины сигнала корня степени n	$\sqrt[n]{}$
электрический	Е	логарифмирование	lg
пневматический	Р	дифференцирование	$\frac{dx}{dt}$
гидравлический	G	интегрирование	$\int$
Вид сигнала:		изменение знака сигнала (инвертирование)	$\times(-1)$
аналоговый	A	ограничение верхнего значения сигнала	max
дискретный	D	ограничение нижнего значения сигнала	min
		Связь с вычислительным комплексом:	
		передача сигнала на ЭВМ	B _i
		вывод информации с ЭВМ	B _o

3. Некоторые условные обозначения приборов и средств автоматизации

Наименование и функции	Обозначение
Первичный измерительный преобразователь (датчик), прибор, устанавливаемый по месту	
Прибор, устанавливаемый на щите	
Отборное устройство без постоянно подключенного прибора (служит для эпизодического подключения приборов во время наладки, снятия характеристик и т.п.)	
Исполнительный механизм:	
общее обозначение (положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала не регламентируется)	
открывающий регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала	
закрывающий регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала	
при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала оставляет регулирующий орган в неизменном положении	
с дополнительным ручным приводом (обозначение может применяться в сочетании с любым из дополнительных знаков, характеризующих положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала)	
Регулирующий орган	
Линия связи (электрический провод, трубопровод)	—
Пересечение линий связи:	
без соединения друг с другом	
с соединением между собой	

4. Примеры условных обозначений приборов и средств автоматизации

Наименование	Обозначение
Первичный измерительный преобразователь для измерения температуры, установленный по месту (в качестве чувствительного элемента могут быть использованы термопара, термопреобразователь сопротивления, датчик пирометра и т.п.)	
Регулятор температуры бесшкальный, установленный по месту	
Прибор для измерения давления (разрежения):	
показывающий, установленный по месту — показывающий манометр, тягомер, напоромер и т.п.	
регистрирующий, установленный на щите — самопишущий манометр или другой вторичный прибор регистрации давления	
Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения расхода, установленный по месту (например, сопло, диафрагма, индукционный датчик расхода и т.п.)	
Прибор для измерения:	
расхода, интегрирующий, с устройством выдачи сигнала после прохождения заданного количества вещества, установленный по месту (счетчик-дозатор)	
уровня, бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту	
плотности раствора, бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту	
электрической величины, показывающий, установленный на щите	
влажности, регистрирующий (вторичный), установленный на щите	
вязкости раствора, показывающий, установленный на щите	
скорости вращения привода, регистрирующий, установленный по месту (например, тахогенератор)	
Первичный измерительный преобразователь для измерения качества продукта, установленный по месту (например, датчик рН-метра)	
Пусковая аппаратура для управления электродвигателем	

5. Основные графические символы схем алгоритмов и программ

Наименование и функция	Обозначение
Процесс. Выполнение операции или группы операций	
Решение. Выбор направления выполнения алгоритма в зависимости от условий	
Модификация. Выполнение изменений команды или группы команд	
Предопределенный процесс (подпрограмма). Использование ранее созданных алгоритмов или программ	
Ввод-вывод. Преобразование данных в необходимую форму для ввода-вывода	
Документ. Ввод-вывод данных, носителем которых служит бумага	
Магнитная лента. Ввод-вывод данных на магнитную ленту	
Магнитный диск. Ввод-вывод данных на магнитный диск	
Дисплей. Ввод-вывод информации на экран видеотерминального устройства	
Соединитель. Указание прерванной связи	
Пуск-останов. Начало и конец выполнения алгоритма	
Комментарий. Пояснения к элементам схемы	

6. Условные буквенные обозначения элементов принципиальных электрических схем систем автоматизации

Элементы электрических схем	Буквенное обозначение
Устройство (общее обозначение)	A
Преобразователи неэлектрических величин в электрические и наоборот:	B
громкоговоритель	BA
магнитострикционный элемент	BB
сельсин-приемник	BE
телефон	BF
сельсин-датчик	BG
термопара, термометр сопротивления	BK
фотоэлемент	BL
датчик давления	BP
пьезоэлемент	BQ
датчик скорости	BV
тахогенератор	BR
Конденсаторы	C
Логические элементы:	D
устройство хранения данных	DS
устройство задержки сигналов	DT
Разные элементы:	E
лампа осветительная	EL
нагревательный элемент	EK
Предохранители и разрядные элементы защиты:	F
разрядный элемент	FR
разрядный элемент для защиты по току мгновенного значения	FS
предохранитель плавкий	FU

Продолжение прил. 6

Элементы электрических схем	Буквенное обозначение
разрядный элемент для защиты по напряжению	FV
Генераторы, источники питания	G
Элементы индикационные и сигнальные:	H
прибор звуковой сигнализации	HA
индикатор символьный и на жидких кристаллах	HG
прибор световой сигнализации	HL
Реле, контакторы, пускатели:	K
реле указательное	KN
реле токовое	KA
реле электротепловое	KK
контактор магнитный, пускатель	KM
реле времени	KT
реле напряжения	KV
Катушки индуктивности, дроссели	L
Двигатели	M
Приборы, измерительное оборудование:	P
амперметр	PA
счетчик импульсов	PC
частотомер	PF
омметр	PR
записывающий прибор	PS
часы, измеритель времени	PT
вольтметр	PV
Выключатели, разъединители силовых цепей	Q
Резисторы:	R
термистор	RK
потенциометр	RP
варистор	RV

Окончание прил. 6

Элементы электрических схем	Буквенное обозначение
Устройства коммутации и сигнализации:	S
выключатель, переключатель	SA
выключатель кнопочный	SB
выключатель автоматический	SF
выключатели, срабатывающие от различных воздействий:	
уровня	SL
давления	SP
положения (путевой)	SQ
угловой скорости	SR
температуры	SK
Трансформаторы:	T
трансформатор тока	TA
трансформатор напряжения	TV
Устройства связи:	U
модулятор	UB
демодулятор	UR
преобразователь частотный	UZ
Приборы электровакуумные и полупроводниковые:	V
диод, стабилитрон	VD
прибор электровакуумный	VL
транзистор	VT
Соединения контактные:	X
соединение разборное	XT
соединение разъемное (штырь, гнездо)	XP, XS
Устройства механические с электромагнитным приводом	Y
Устройства оконечные, фильтры, ограничители	Z

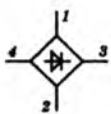
7. Условные графические обозначения элементов принципиальных электрических схем систем автоматизации

Наименование элемента	Обозначение
Ток постоянный	—
Ток переменный	~
Элемент гальванический или аккумуляторный	
Заземление	
Корпус (машины, аппарата, прибора)	
Лампа накаливания осветительная	
Лампа накаливания сигнальная	
Гудок	
Соединение контактное разъемное	
Катушка электромеханического устройства	
<i>Машины электрические</i>	
Статор, ротор, (общее обозначение)	
Статор с трехфазной обмоткой, соединенной в треугольник	
Ротор с распределительной обмоткой трехфазной, соединенной в треугольник	
<i>Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители</i>	
Обмотка трансформатора, автотрансформатора, дросселя и магнитного усилителя	

Продолжение прил. 7

Наименование элемента	Обозначение
Сердечник (магнитопровод) ферромагнитный	—
Трансформатор без сердечника	
Трансформатор однофазный с ферромагнитным сердечником	
<i>Предохранители</i>	
Предохранитель плавкий общее обозначение	
Выключатель-предохранитель	
<i>Резисторы</i>	
Резистор постоянный	
Резистор регулируемый (потенциометр):	
Тензорезистор	
<i>Конденсаторы</i>	
Конденсатор постоянной емкости (общее обозначение)	
Конденсатор переменной емкости	
<i>Приборы электроизмерительные</i>	
Показывающий	
Регистрирующий	
Интегрирующий	
Комбинированный прибор, показывающий и регистрирующий	

Окончание прил. 7

Наименование элемента	Обозначение
<i>Приборы полупроводниковые</i>	
Диод (общее обозначение)	
Триодный запираемый тиристор с управлением по катоду	
Однофазная мостовая выпрямительная схема (на выводы 1, 2 подается напряжение переменного тока; с выводов 3, 4 снимается выпрямленное напряжение; вывод 3 имеет положительную полярность; цифры 1...4 даны для пояснения)	
Фоторезистор	
Фотодиод	
Светодиод	
<i>Выключатели</i>	
Выключатель трехполюсный	
Выключатель кнопочный нажимной с замыкающим контактом	
Выключатель кнопочный нажимной с размыкающим контактом	
Выключатель путевой размыкающий	

Литература

Использованная

1. *Мухин О.А.* Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции: учеб. пособие для вузов / О.А. Мухин. — Минск: Вышэйш. шк., 1986.
2. *Дорофеев К.П.* Основы автоматизации производства в термических цехах и контрольно-измерительные приборы / К.П. Дорофеев. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1970.
3. *Титов Н.Д.* Основы автоматизации литейного производства и вычислительная техника: учеб. пособие для средних спец. учеб. заведений / Н.Д. Титов, Л.Н. Сергеев. — М.: Машиностроение, 1983.
4. *Дембовский В.В.* Автоматизация литейных процессов: справочник / В.В. Дембовский. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989.
5. *Беликов О.А.* Приводы литейных машин / О.А. Беликов, Л.П. Каширцев. — М.: Машиностроение, 1971.
6. *Новиков В.П.* Автоматизация литейного производства. Ч. 1: Управление литейными процессами: учеб. пособие / В.П. Новиков. — М.: МГИУ, 2005.
7. *Грузман В.М.* Компьютеризация контроля формовочных материалов / В.М. Грузман, А.В. Лаптев // Литейное производство. — 2005. № 2.
8. *Бушуев С.Д.* Автоматика и автоматизация производственных процессов / С.Д. Бушуев, В.С. Михайлов. — М.: Высш. шк., 1990.

Рекомендуемая

- Головинский О.И.* Основы автоматики: учеб. для техникумов / О.И. Головинский. — М.: Высш. шк., 1987.
- Иванов Н.И.* Автоматизация производственных процессов в черной металлургии / Н.И. Иванов, Б.Н. Парсункин, В.М. Рябков. — М.: Металлургия, 1980.

Камнев В.Н. Чтение схем и чертежей электроустановок / В.Н. Камнев. — М.: Высш. шк., 1986.

Клюев А.С. Автоматическое регулирование / А.С. Клюев. — М.: Высш. шк., 1986.

Кукуй. Д.М. Теория и технология литейного производства. Формовочные материалы и смеси: учеб. пособие / Д.М. Кукуй, Н.В. Андрианов. — Минск: БНТУ, 2005.

Лазаренков А.М. Охрана труда: учебник / А.М. Лазаренков. — Минск: БНТУ, 2004.

Нагорный В.С. Устройства автоматики гидро- и пневмосистем / В.С. Нагорный, А.А. Денисов. — М.: Высш. шк., 1991.

Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справ. пособие / А.С. Клюев [и др.]; под ред. А.С. Ключева. — 2-е изд. — М.: Энергоатомиздат, 1990.

Оглавление

Введение	3
1. Основы автоматизации производственных процессов	6
1.1. Технологические процессы и степень их автоматизации	6
1.2. Основы теории управления и регулирования	9
1.3. Автоматические регуляторы	15
1.4. Объект управления и его свойства	21
2. Элементы автоматики	30
2.1. Первичные преобразователи	32
2.2. Усилители	39
2.3. Исполнительные механизмы	44
2.4. Регулирующие органы	48
2.5. Вспомогательные элементы	50
2.6. Измерительные приборы	56
3. Измерение и контроль параметров технологических процессов	62
3.1. Принципы, методы и точность измерений	62
3.2. Измерение температуры	66
3.3. Измерение давления и разности давлений	88
3.4. Измерение расхода и количества жидких, газообразных и сыпучих материалов	99
3.5. Контроль состава и свойств вещества	110
3.6. Контроль уровня жидких и сыпучих материалов	126
3.7. Автоматический контроль загрязнения воздуха, промышленных газов и сточных вод	133
3.8. Измерение силы и массы	138
3.9. Контроль скорости и положения деталей механизмов и машин	141
4. Системы управления объектами литейного производства	145
4.1. Общие сведения об аппаратах систем управления	145
4.2. Программное управление на основе вычислительной техники ...	149
4.3. Управление приводами	155
5. Проектирование систем автоматизации процессов изготовления отливок	160
5.1. Стадии проектирования систем автоматизации	160
5.2. Процессы подготовки формовочных материалов	167
5.3. Оборудование и процессы приготовления формовочных и стержневых смесей	175
5.4. Процессы изготовления форм и стержней	182
5.5. Процессы плавки металла и заливки форм	189
5.6. Процессы выбивки и очистки отливок	199

6. Примеры современных автоматизированных систем контроля и управления в литейном производстве	206
6.1. Контроль и управление качеством единой формовочной смеси ...	206
6.2. Процесс плавки в среднечастотных индукционных печах	220
6.3. Система контроля процесса заливки литейных форм	222
6.4. Системы автоматической сортировки и ориентации	223
Приложения	226
Литература	237
Использованная	237
Рекомендуемая	237

Учебное издание

Техническое образование

Авторы: Давыд Михайлович
Мночко Виктор Федорович

Автоматизация литейного производства

Учебное пособие

Ведущий редактор	<i>Л.А. Крунич</i>
Редактор	<i>А.П. Чернякова</i>
Корректор	<i>К.А. Степанова</i>

Подписано в печать с готовых диапозитивов 26.10.2007.
Формат 60×84¹/₁₆. Бумага газетная. Гарнитура Школьная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,0. Уч.-изд. л. 12,1.
Тираж 2010 экз. Заказ № 3348.

Общество с ограниченной ответственностью «Новое знание».
ЛИ № 02330/0133439 от 30.04.2004. Минск, пр. Пушкина, д. 15, ком. 16.

Почтовый адрес: 220050, Минск, а/я 79.

Телефон/факс: (10-375-17) 211-50-38. E-mail: nk@wnk.biz

В Москве:

Москва, Колодезный пер., д. 2а.

Телефон (495) 234-58-53. E-mail: ru@wnk.biz

<http://wnk.biz>

Открытое акционерное общество
«Барановичская укрупненная типография».
225409, г. Барановичи, ул. Советская, 80.

ЛП № 02330/0131659 от 02.02.2006 г.