

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Д.М.КУКУЙ, В.Ф.ОДИНОЧКО

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Конспект лекций
для студентов специальности 1-360201
«Машины и технология литейного производства»**

Учебное электронное издание

Минск БНТУ 2011

УДК 621.74: 658.012.011.56 (076.5)

ББК 34.61я7

К 89

Авторы:

Д.М.Кукуй, заведующий кафедрой «Машины и технология литейного производства» БНТУ, профессор, д.т.н.;
В.Ф.Одиночко, доцент кафедры «Машины и технология литейного производства» БНТУ, доцент, к.т.н.

Рецензенты:

А.П. Бежок, доцент кафедры «Металлургия литейных сплавов» БНТУ, доцент, к.т.н.
Д.М. Голуб, начальник отдела БелНИИЛит, к.т.н.

Рассматриваются основы автоматизации производственных процессов, основные элементы автоматики, теоретические основы управления и регулирования, техника и средства автоматизации, функциональные схемы автоматизации различных систем литейного производства.

Конспект лекций предназначен для студентов вузов специальностей «Машины и технология литейного производства».

Белорусский национальный технический университет
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.(017) 292-77-52 факс (017) 292-91-37
Регистрационный № БНТУ/МТФ 32 – 2.2011

© БНТУ, 2011

© Кукуй Д.М., Одиночко В.Ф., 2011

© Одиночко В.Ф., компьютерный дизайн, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ	6
1.1 Технологические процессы и степень их автоматизации	6
1.2 Основные понятия и определения	7
1.3 Основные принципы управления	9
1.4 Автоматические регуляторы	13
1.5 Объект управления и его свойства	17
2 ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИКИ	21
2.1 Основные понятия и определения	21
2.2 Первичные преобразователи	23
2.3 Усилители	32
2.4 Исполнительные механизмы	34
2.5 Регулирующие органы	35
2.6 Вспомогательные элементы	36
2.7 Измерительные приборы	40
3 ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	43
3.1 Принципы и методы измерений	43
3.2 Измерение температуры	45
3.3 Измерение давления и разности давлений	56
3.4 Измерение расхода и количества жидких, газообразных и сыпучих материалов	61

3.5 Контроль состава и свойств вещества	75
3.6 Приборы для автоматического контроля технологических свойств смеси	87
3.7 Контроль уровня жидких и сыпучих материалов и сигнализаторы излучения	92
3.8 Автоматический контроль загрязнения воздуха	94
3.9 Автоматический контроль сточных вод	95
3.10 Измерение силы и массы	97
3.11 Контроль скорости и положения деталей механизмов и машин	100
4 СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА	100
4.1 Общие сведения об аппаратах систем управления	100
4.2 Релейно-контакторное управление электроприводами	102
4.3 Программное управление	104
5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК	110
5.1 Стадии проектирования систем автоматизации	117
5.2 Процессы подготовки формовочных материалов	124
5.3 Автоматизация смесеприготовительного оборудования	133
5.4 Автоматизация формовочного и стержневого оборудования	139
5.5 Автоматизация процессов плавки сплавов	148
5.6 Автоматизация процесса заполнения форм расплавом	150
5.7 Автоматизация установок непрерывного литья	152
5.8 Автоматизация процессов выбивки, очистки и зачистки отливок	158
ЛИТЕРАТУРА	158

ВВЕДЕНИЕ

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).

1 ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

1.1 Технологические процессы и степень их автоматизации

Технологические процессы бывают непрерывные, состоящие из отдельных операций и связанные с пространственным перемещением объектов.

В зависимости от доли участия человека (оператора) в управлении *степень автоматизации процесса* может быть частичной, полной и комплексной. При управлении объектами, входящими в общую автоматизированную систему, функционально различные операции выполняются разными подсистемами: информационными; сигнализирующими; защитными и управляющими.

Информационные подсистемы включают технологический контроль, телеизмерения и телесигнализацию.

Подсистемы технологической сигнализации отличаются от подсистем технологического контроля тем, что могут подавать информацию в виде светового, звукового, цветового и одоризационного (появляется запах) сигналов.

Защитные подсистемы включают средства защиты и блокировки, предохраняющие технологическое оборудование от последствий неправильной эксплуатации.

К управляющим подсистемам относится дистанционное управление, телеуправление, а также подсистемы диспетчеризации, автоматического управления и регулирования.

1.2 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.

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

Объект управления — динамическая система нуждающаяся в целенаправленном воздействии извне.

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

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.

Управляющее воздействие — изменение входной физической величины, приводящее к достижению заданного режима в объекте управления.

Режим — определенное, обычно заданное сочетание параметров технологического процесса.

1.3 Основные принципы управления

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

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.

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

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.

Всякая система автоматического управления включает в себя объект регулирования и автоматический регулятор. 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).

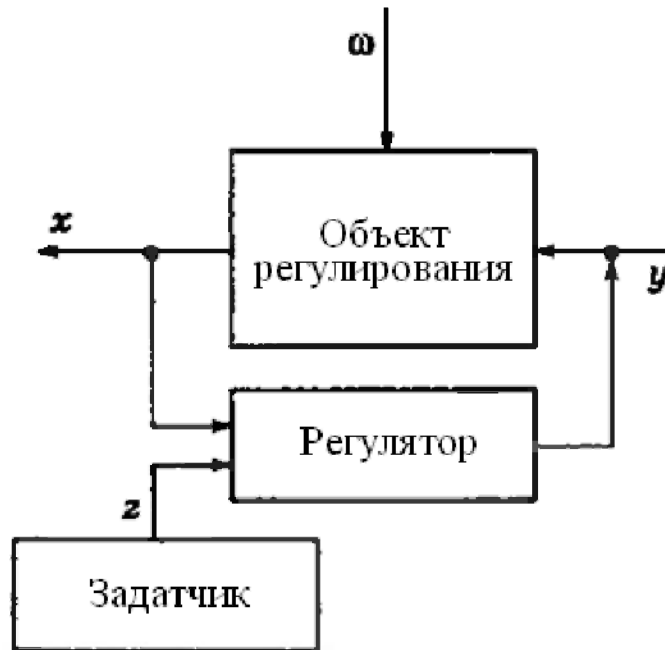


Рисунок 1.1

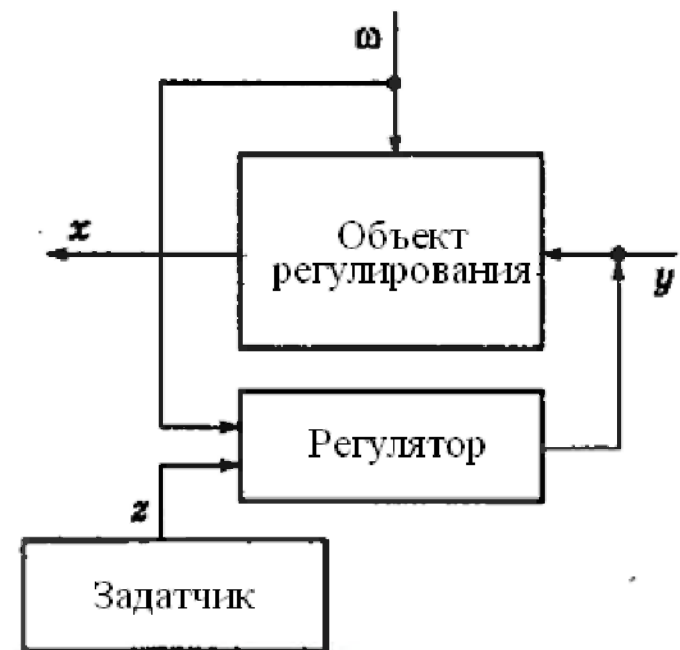


Рисунок 1.2

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 ω .

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.

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 управляющего воздействия U оператора на регулирующий орган РО. 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'_y сравнении ее текущего значения с заданным (нормируемым) и принятии решения об изменении положения РО.

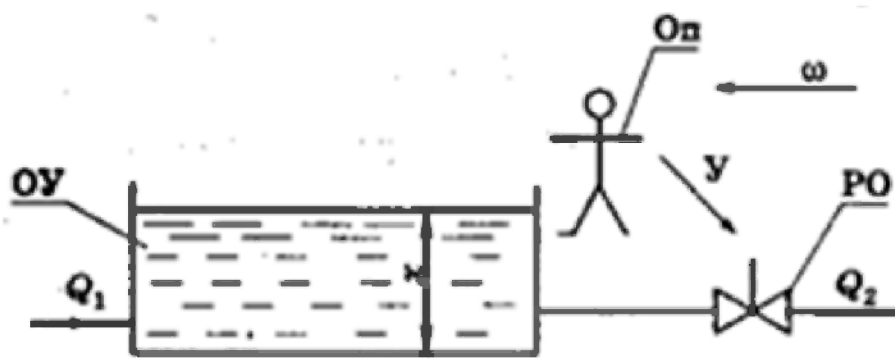


Рисунок 1.3

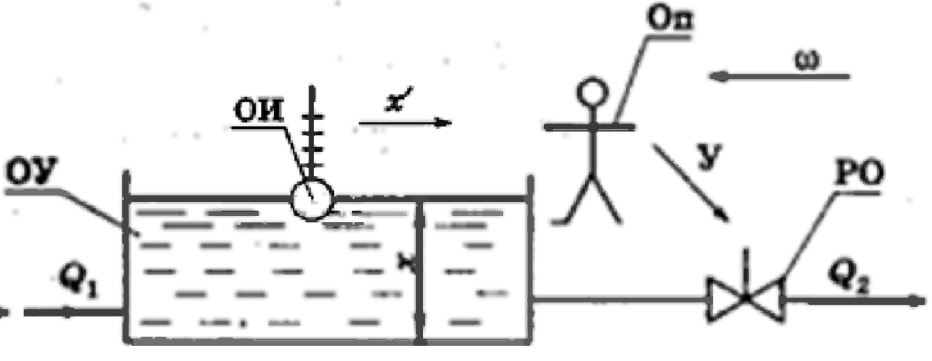


Рисунок 1.4

1.4 Автоматические регуляторы

Функционирование автоматических регуляторов основано на использовании отрицательной обратной связи. *Обратная связь* — воздействие результатов функционирования какой-либо системы на характер дальнейшего функционирования этой же системы. *Отрицательная обратная связь* (ООС) при отклонении объекта от равновесия вызывает нейтрализацию этого отклонения.

Различают регуляторы **прямого** (РПД) и **непрямого** (РНД) действия. РПД (рис. 1.5) приводятся в действие за счет энергии регулируемой среды. Их применяют, если усилия, развиваемого датчиком, достаточно для привода в действие регулирующего органа, который находится на относительно небольшом расстоянии от датчика.

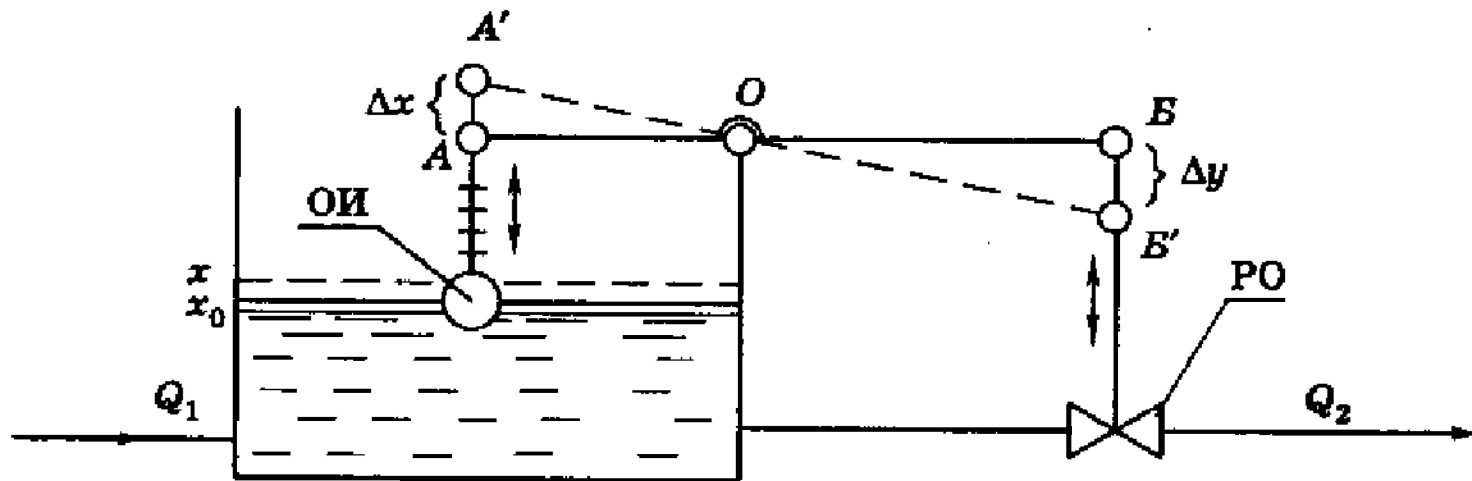


Рисунок 1.5

В регуляторах *непрямого действия* (РНД) для привода регулирующего органа используется энергия от постороннего источника. На рис. 1.6 приведена схема процесса непрямого регулирования уровня жидкости в резервуаре.

Измерительное устройство — поплавок *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.

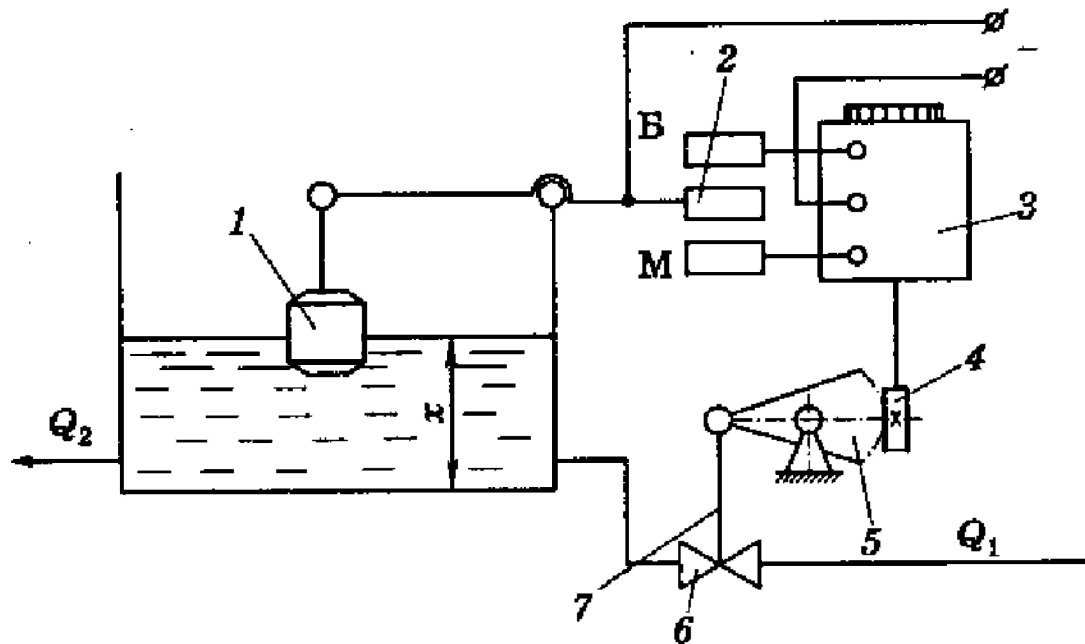


Рисунок 1.6

Регулирующее воздействие регуляторов может быть прерывистым и непрерывным.

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

Пропорциональный (статический) регулятор (П-регулятор), осуществляет пропорциональную зависимость между положением регулирующего органа y и отклонением регулируемого параметра x ,

$$y = K_1 x,$$

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

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,

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

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

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. Закон регулирования ПИ-регулятора содержит пропорциональную и интегральную составляющие,

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

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) 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.

ПИД-регуляторы рекомендуется применять для многоемкостных объектов с очень большим временем запаздывания.

1.5 Объект управления и его свойства

Процесс регулирования во многом зависит не только от регулятора, но и от свойств объекта: емкости, характера изменения нагрузки, времени разгона, самовыравнивания и запаздывания. В каждом объекте может одновременно регулироваться несколько разных величин.

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 выходу вещества или энергии из объекта [3].

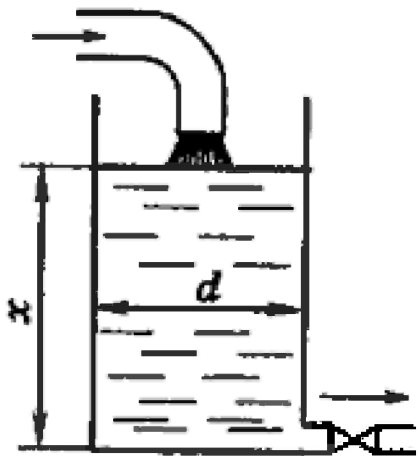


Рисунок 1.7

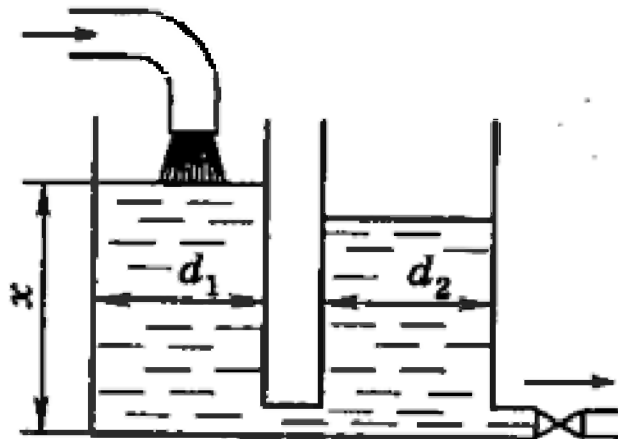


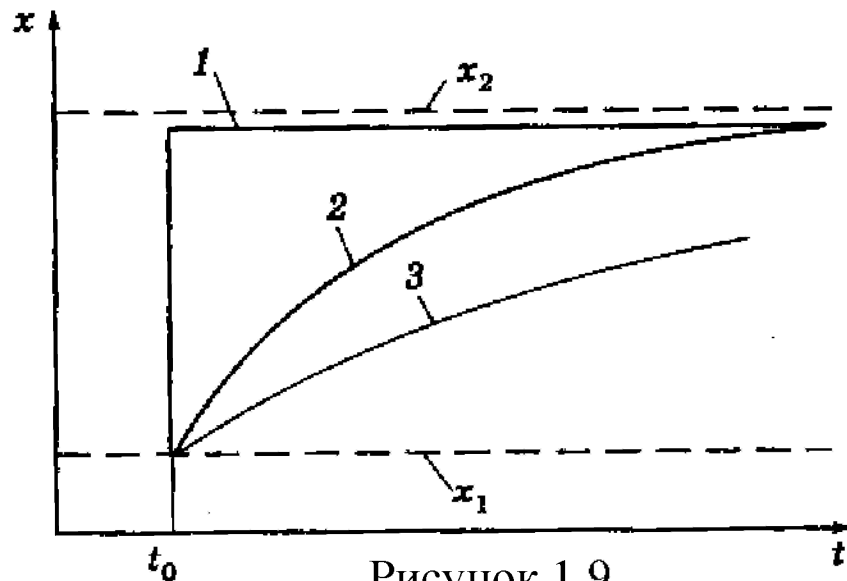
Рисунок 1.8

Чем больше емкость объекта, тем меньше скорость изменения параметра при одном и том же изменении количества подаваемого (расходуемого) вещества (энергии). Объекты могут быть одноёмкостными (рис. 1.7) и многоёмкостными (рис. 1.8).

Емкость объекта определяет такую характеристику, как *время разгона*.

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.

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.

Для исследования свойств автоматической системы регулирования (АСР) составляют структурную схему 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

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

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.

Реальные звенья обладают инерционностью. Поэтому передача воздействия с выхода происходит не одновременно с воздействием входной величины, а с некоторым временем запаздывания t_0 .

В двухъемкостных объектах (рис. 1.10) при скачкообразном нанесении возмущения в момент времени изменение параметров процесса начинается не сразу, а через промежуток времени $t_0 + t$, где (t — 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.

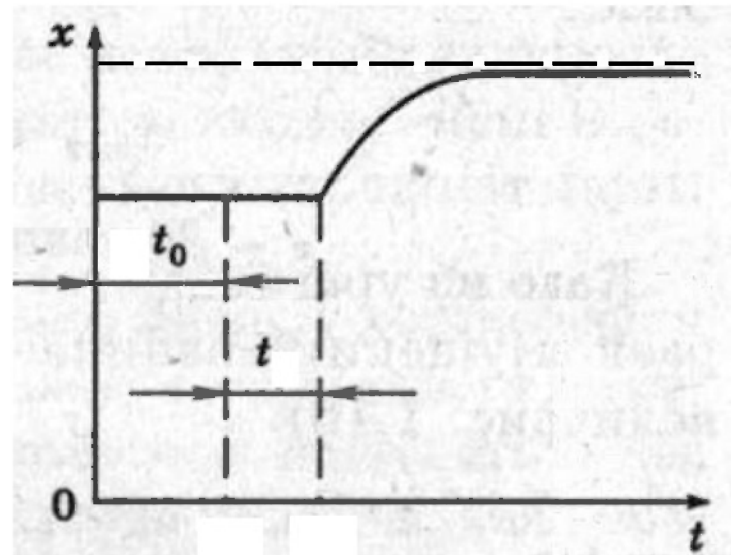


Рисунок 1.10

2 ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИКИ

2.1 Основные понятия и определения

Системы автоматики 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 X и выход Y . Входной величиной (*входным сигналом*) элемента могут быть мгновенные значения физических величин (скорости, ускорения, давления, температуры, перемещения, тока, напряжения и др.), амплитудные значения синусоидальных или импульсных электрических величин, частота физических величин и т.д. Выходной величиной (*выходным сигналом*) может быть электрический, пневматический, гидравлический сигналы, различные по величине и характеру.

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*.

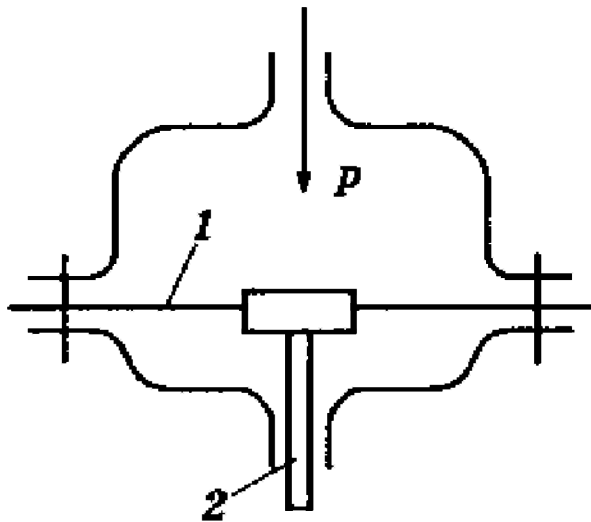
Наименьшее (по абсолютной величине) значение входного сигнала, способное вызвать изменение выходного сигнала, называется *порогом чувствительности*.

Погрешность элемента появляется из-за неточной тарировки или градуировки элементов в процессе их изготовления.

2.2 Первичные преобразователи

2.2.1 Преобразователи давления жидкостей и газов в перемещение

Для преобразования 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.



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.

Рисунок 2.1

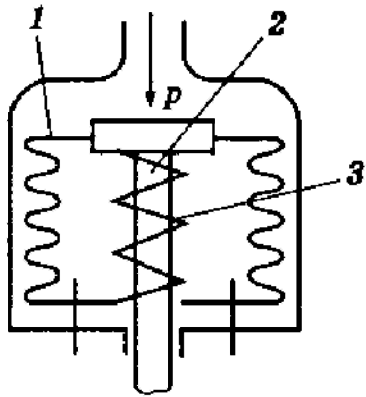


Рисунок 2.2

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 сжимаются, перемещая шток 2. При уменьшении давления сильфон распрямляется под действием пружины 3.

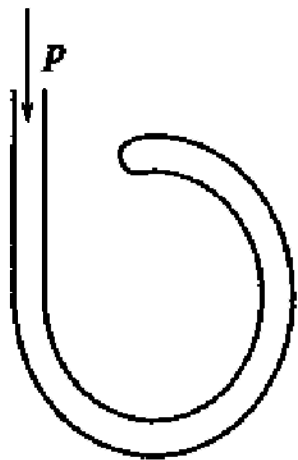


Рисунок 2.3

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, и запаянный незакрепленный конец трубки смещается на величину, пропорциональную приложенному давлению.

2.2.2 Преобразователи расхода жидкостей и газов в давление

Гидравлические и пневматические преобразователи преобразуют 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 — «**трубка 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 :

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

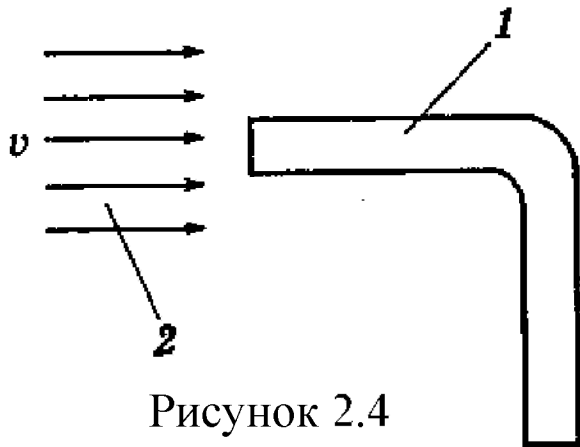


Рисунок 2.4

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.

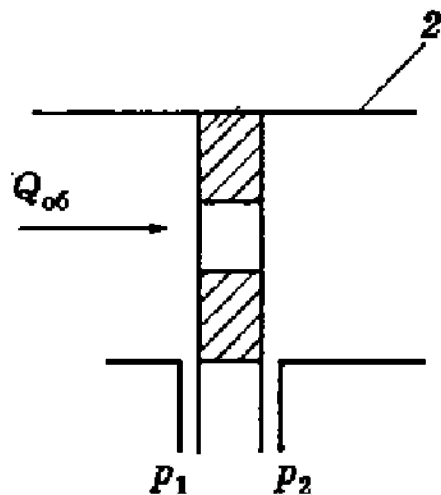


Рисунок 2.5

Примером *дроссельных преобразователей* является диафрагма 1, установленная в трубопроводе 2 (рис. 2.5). Кроме диафрагм применяют устройства, вызывающие местное сужение потока: диафрагмы, сопла (рис. 2.6, а), трубы Вентури и Фостера (рис. 2.6, б, в).

Вместе с тем диафрагма по сравнению с другими стандартными сужающими устройствами характеризуется наибольшей простотой. 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 $Q_{об}$.

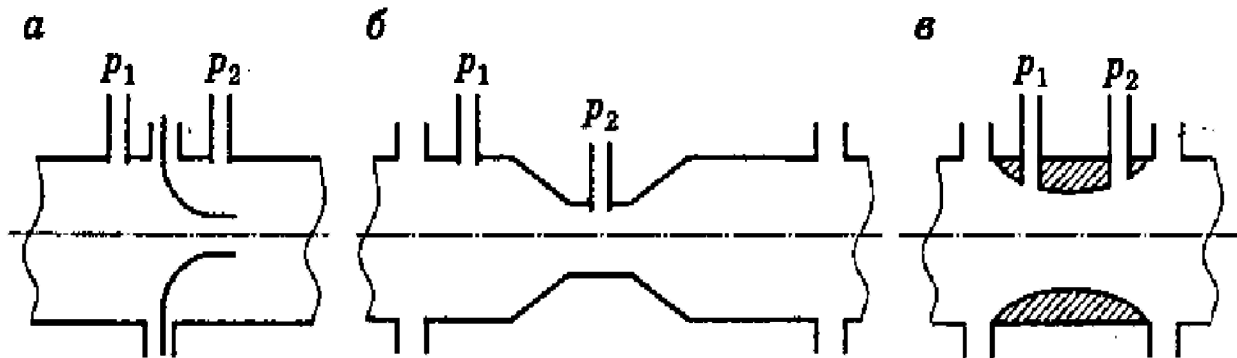


Рисунок 2.6

2.2.3 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. 2.7). Биметаллическая пластина состоит из двух соединенных пайкой или сваркой металлических слоев с различными коэффициентами линейного расширения.

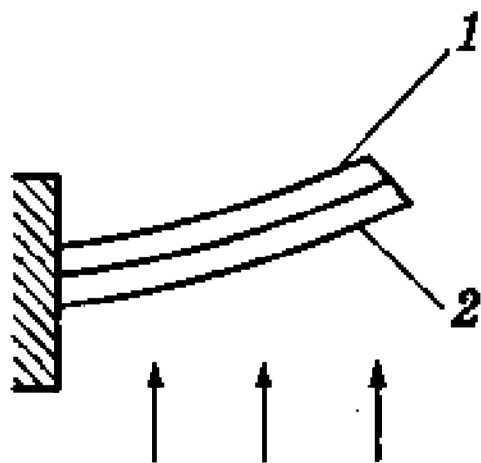


Рисунок 2.7

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 плоские и пространственные (спирали), которые с повышением температуры деформируются в сторону материала с меньшим коэффициентом линейного расширения.

2.2.4 Преобразователи перемещения в электрический сигнал

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

Реостатные датчики (рис. 2.8) являются преобразователями линейного или углового перемещения движка в пропорциональные значения постоянного или переменного напряжения, так как напряжение U_1 на сопротивлении нагрузки R_H зависит от положения x движка реостата (переменного резистора) R_0 .

Разновидностью реостатных датчиков являются реохорды.

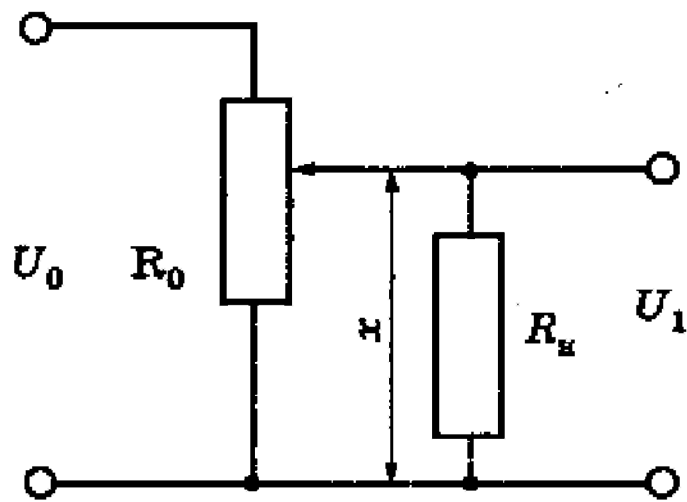


Рисунок 2.8

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 $^{\circ}\text{C}$).

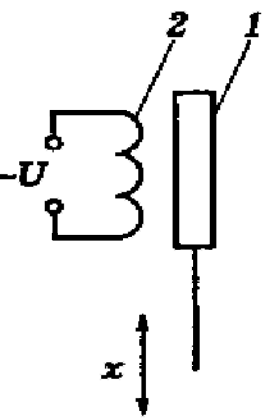


Рисунок 2.9

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

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 .

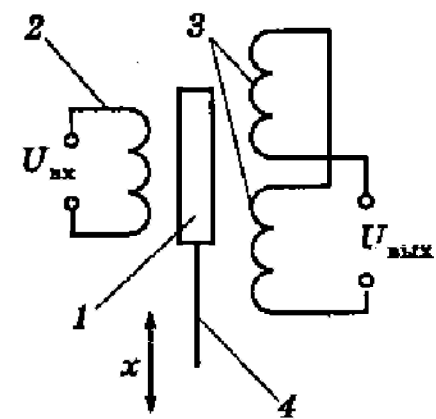


Рисунок 2.10

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.

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 ;

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 concentric сориентированными 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.

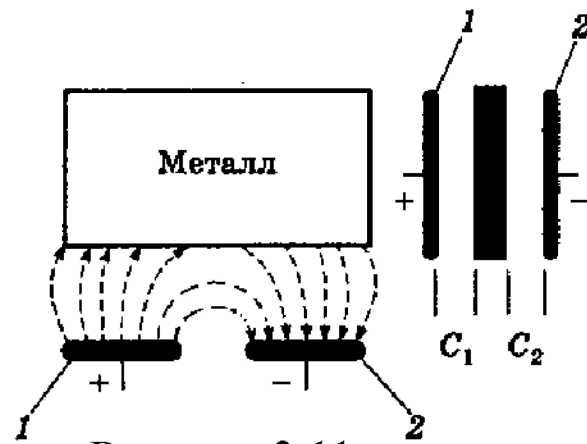


Рисунок 2.11

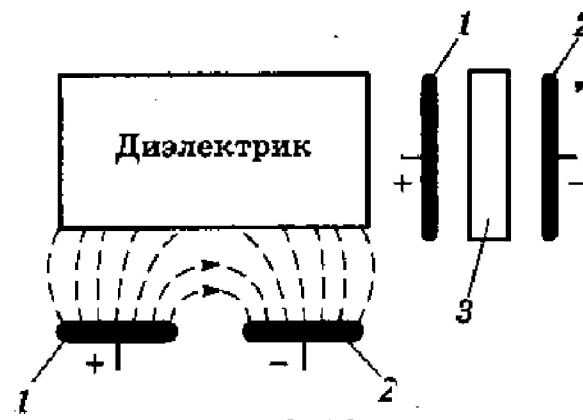


Рисунок 2.12

2.3 Усилители

Усилителем называется устройство, предназначенное для повышения мощности входного сигнала за счет энергии постороннего источника питания. 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.

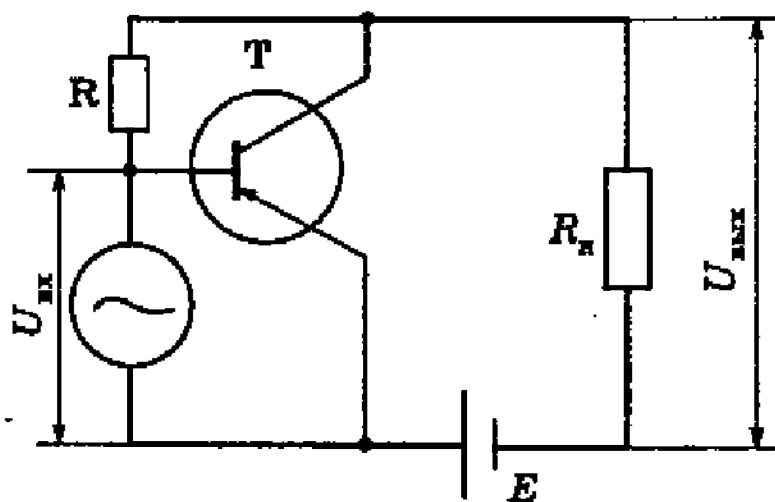


Рисунок 2.13

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

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 $\overset{U}{\sim} U_{\text{нагр.}}$ на нагрузке.

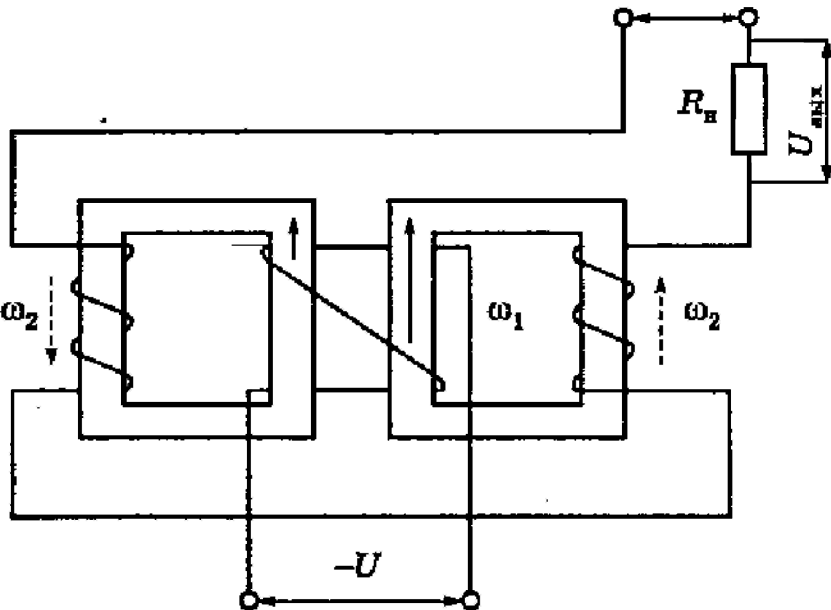


Рисунок 2.14

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.

2.4 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 классифицируют [4]:

- 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.

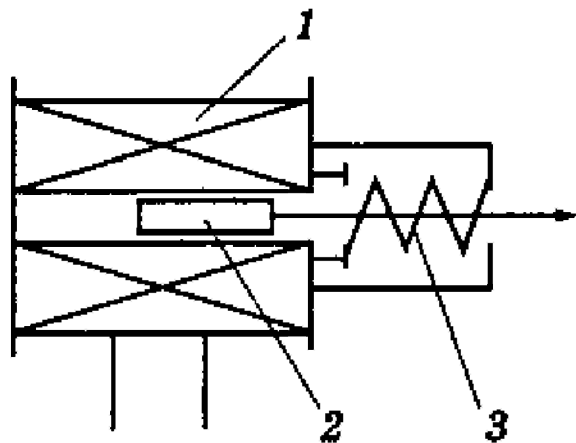


Рисунок 2.15

В *исполнительном электромагнитном механизме* (рис. 2.15) 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.

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

2.5 Регулирующие органы

Регулирующим органом называется устройство, непосредственно воздействующее на объект регулирования для поддержания заданного значения регулируемой величины (или изменения ее по заданному закону). Регулирующие органы приводятся в движение или удерживаются в определенном положении исполнительными механизмами.

Регулирующие органы для жидких и газообразных сред выполняют в виде клапанов и заслонок различной конструкции.

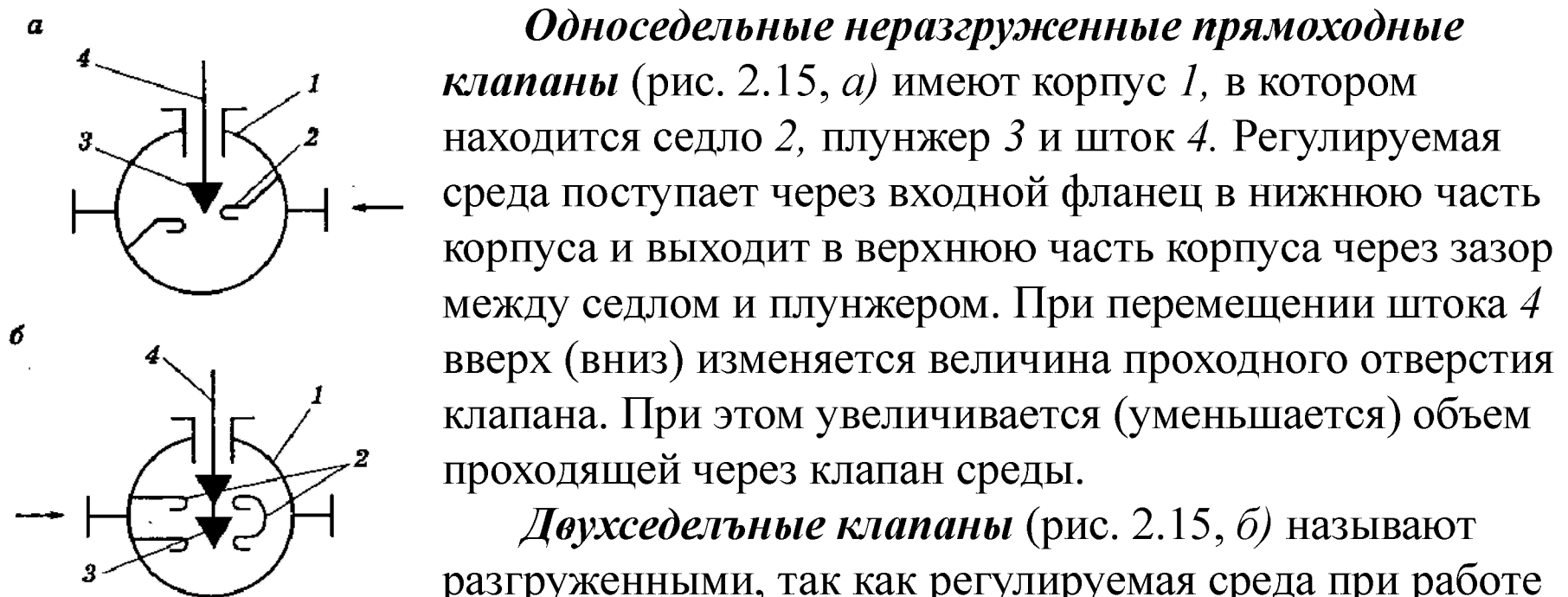


Рисунок 2.15

Односедельные неразгруженные прямоходные клапаны (рис. 2.15, 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) изменяется величина проходного отверстия клапана. При этом увеличивается (уменьшается) объем проходящей через клапан среды.

Двухседельные клапаны (рис. 2.15, б) называют разгруженными, так как регулируемая среда при работе действует одновременно на нижнюю и верхнюю поверхности плунжера.

2.6 Вспомогательные элементы

К *вспомогательным элементам* автоматики, основными функциями которых является преобразование сигналов, можно отнести реле, полупроводниковые приборы, трансформаторы и т. п. [5].

В *реле* непрерывному изменению входной величины соответствует скачкообразное изменение выходной величины. Реле применяют для включения и выключения электрических цепей.

В литейном производстве применяют электромагнитные реле с поворотным якорем, реле (герконовые) с магнито-управляемыми контактами, реле тепловые, моторные, фотореле и другие.

Входная электрическая цепь электромагнитного реле (рис. 2.16) представлена обмоткой 1, установленной в корпусе 4.

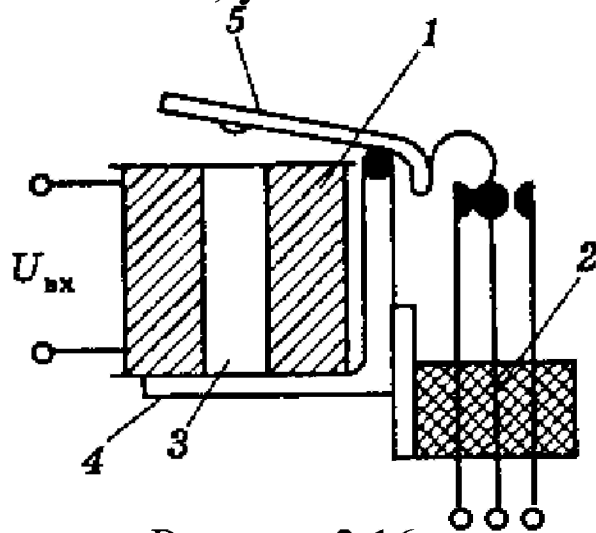


Рисунок 2.16

Выходная электрическая цепь включает группу изолированных друг от друга замкнутых и разомкнутых контактов 2.

При подаче напряжения $U_{ВХ}$ якорь 5 притягивается к сердечнику 3 и подвижный контакт 2 одновременно замыкает и размыкает электрические цепи (на рис. не показаны).

Герконовое реле (рис. 2.17) 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.

В качестве реле может быть использован *датчик ЭДС Холла* (рис. 2.18). 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.

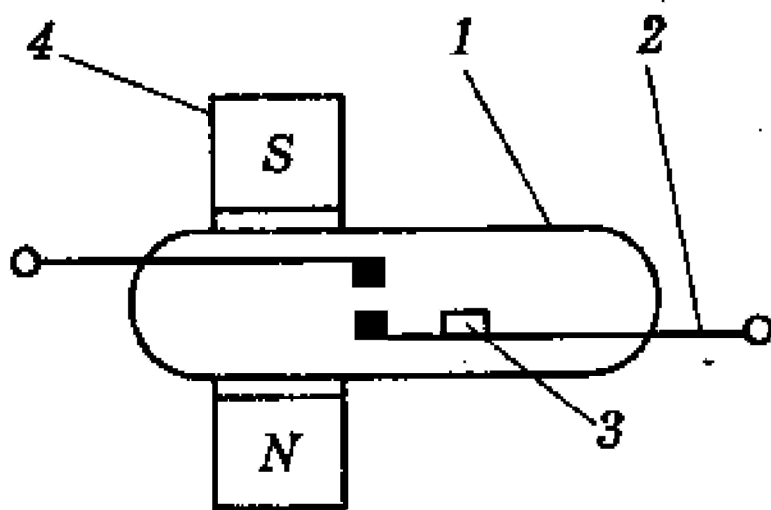


Рисунок 2.17

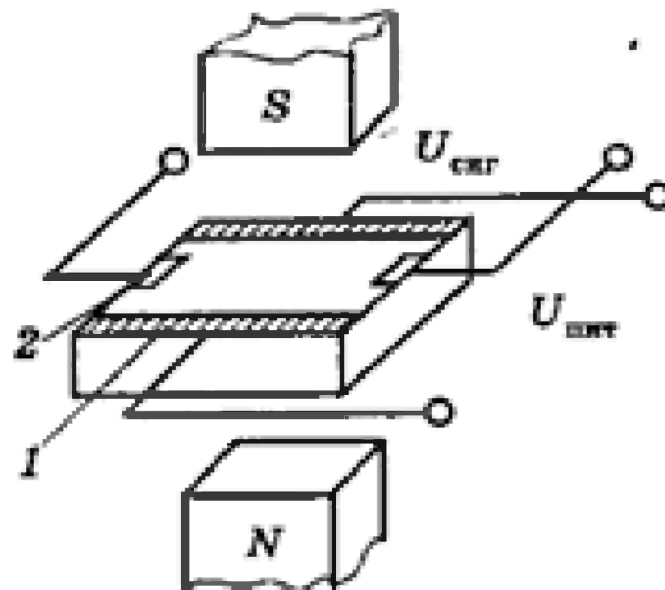


Рисунок 2.18

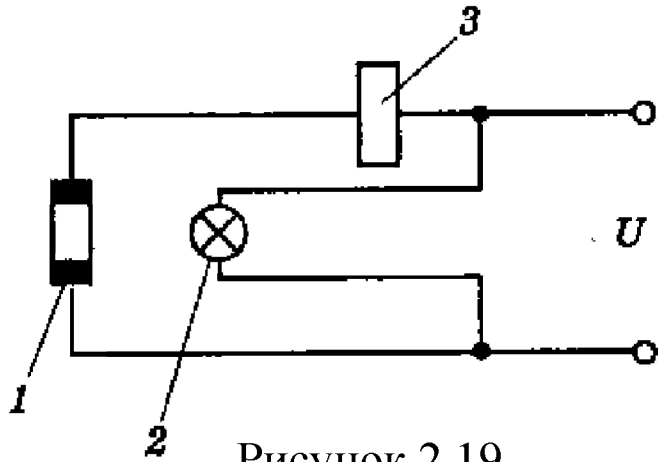


Рисунок 2.19

Фотореле (рис. 2.19) — устройство, которое может реагировать на изменение освещенности, интенсивности светового потока или частоты световых колебаний источника света 2. Воспринимающей частью фотореле являются фотоэлемент 1. Сигнал от фотоэлемента предварительно усиливают, а затем подают на электромагнитное реле 3, контактную систему которого используют для включения управляющих устройств оборудования.

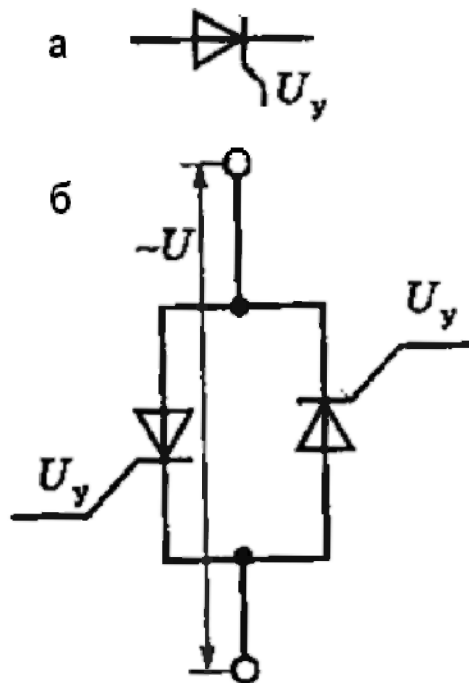


Рисунок 2.20

Тиристор (рис. 2.20, а) — полупроводниковый прибор (управляемый полупроводниковый диод). Тиристор переходит 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.

Для коммутации цепей переменного тока применяют *симисторы* — симметричные тиристоры, (рис. 2.20, б).

Для гальванической развязки управляющей и силовой электрических цепей используют полупроводниковые приборы — *оптроны* (рис. 2.21).

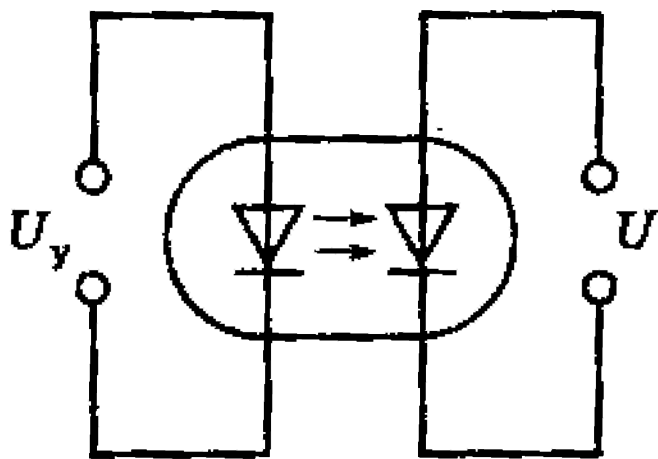


Рисунок 2.21

Оптрон — прибор, состоящий из излучателя света (светодиода) и фотоприемника (фотодиода), связанных друг с другом оптически и помещенных в общем корпусе. В фотодиоде оптрона полупроводниковый *p-n*-переход силовой цепи открывается под воздействием светового потока, излучаемого при прохождении тока по цепи управления светоизлучающим диодом.

Так как, цепь управления в оптроне гальванически не связана с силовой цепью, можно подключать исполнительные электрические механизмы непосредственно к выходам ЭВМ.

2.7 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)*.

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

Приборы с аналоговой формой представления информации перерабатывают непрерывно изменяющиеся во времени электрические, пневматические и другие сигналы. Дискретные сигналы, обрабатываемые изделиями Г.СП, представляются в импульсной форме.

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

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.

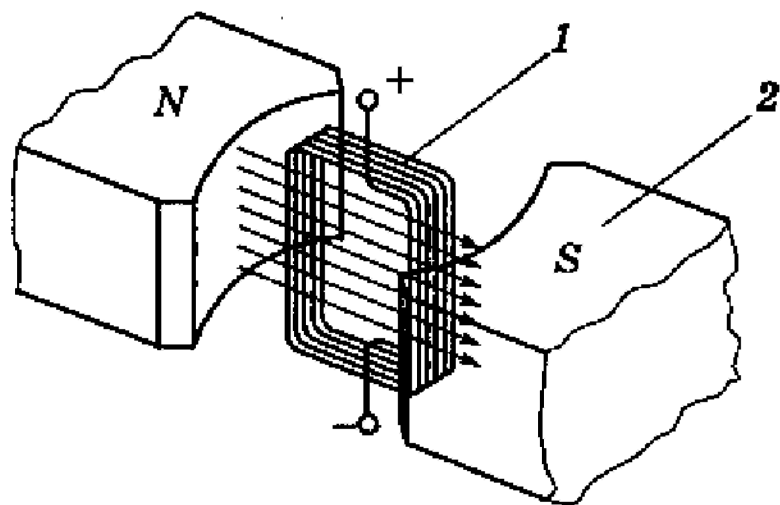


Рисунок 2.22

Действие милливольтметра (рис. 2.22) 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.

Для точных измерений применяют измерительные схемы, представляющие собой небалансные и балансные электрические мосты.

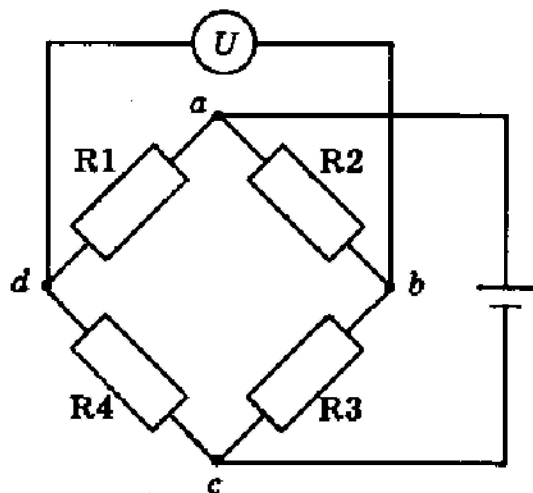


Рисунок 2.23

В мостовых схемах (рис. 2.23) для равновесия моста необходимо соблюдение равенства произведений сопротивлений накрест лежащих плеч моста:

$R1 \cdot R3 = R2 \cdot R4$. При изменении этого условия разность потенциалов в диагонали **db** будет не равна нулю.

Для измерения напряжения в измерительную диагональ **db** в *небалансной* схеме (рис. 2.23) включают измерительный прибор, шкалу которого градуируют в единицах измеряемой неэлектрической величины, например в градусах Цельсия.

В *балансных* схемах (рис. 2.24) выходную величину датчика (например, резистора **R4**) уравнивают с помощью равной ей величины такого же рода.

Например, перемещая движок реохорда **R1**, можно подобрать такое значение электросопротивления, при котором равновесие моста восстанавливается. Такие схемы часто называются также *компенсационными*.

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

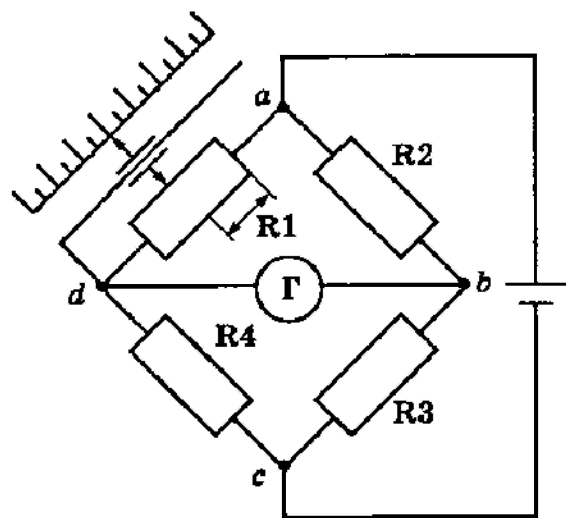


Рисунок 2.24

3 ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

3.1 Принципы и методы измерений

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.

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

Измерения могут быть прямые 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.

3.2 Измерение температуры

3.2.1 Термометры на основе преобразователей с механическими выходными сигналами

К средствам измерения температуры на основе преобразователей с механическими выходными сигналами (термометрам расширения) относят жидкостно-стеклянные, биметаллические, дилатометрические и манометрические термометры.

Жидкостно-стеклянные термометры являются местными измерительными приборами, предназначенными для измерения температур и визуального контроля непосредственно в технологических объектах в интервале температур от -200 до 750 °С.

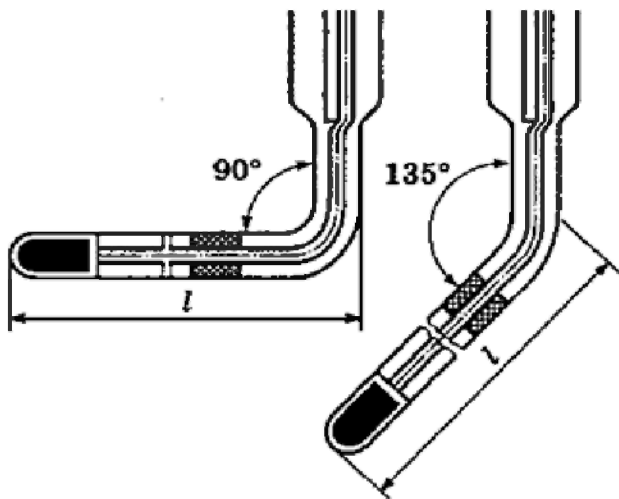
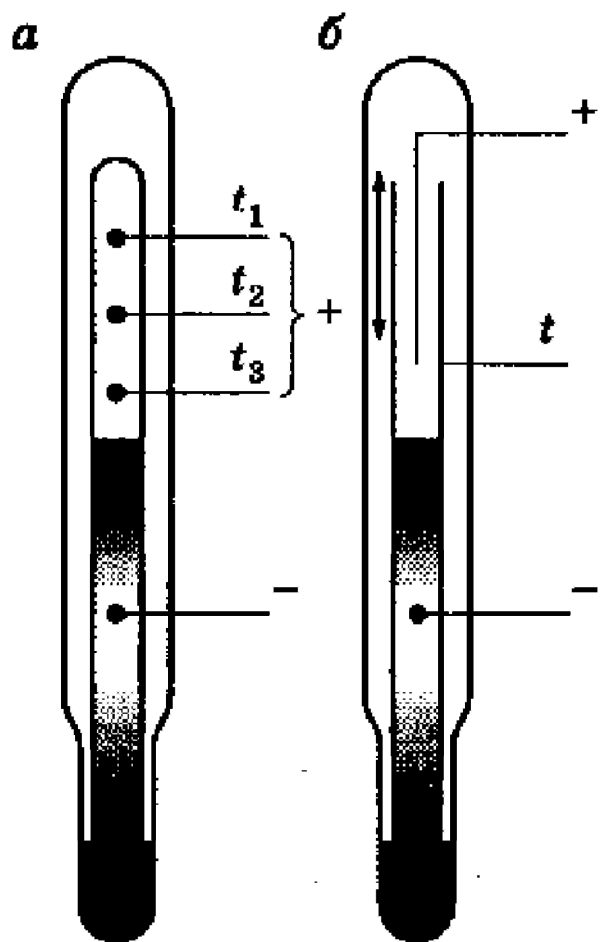


Рисунок 3.1

В системах автоматизации применяют технические и электроконтактные термометры. В качестве термометрических жидкостей в них используются ртуть, этиловый спирт, керосин, эфир, и др. Погружная часть термометра может быть прямой или согнутой под углом (рис. 3.1).



Электроконтактные термометры — применяют главным образом в качестве датчиков температуры. Ртуть является подвижным контактом. Вторым контактом могут быть вольфрамовые нити, впаянные (рис. 3.2, *a*) или опускаемые (рис. 3.2, *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.

Рисунок 3.2

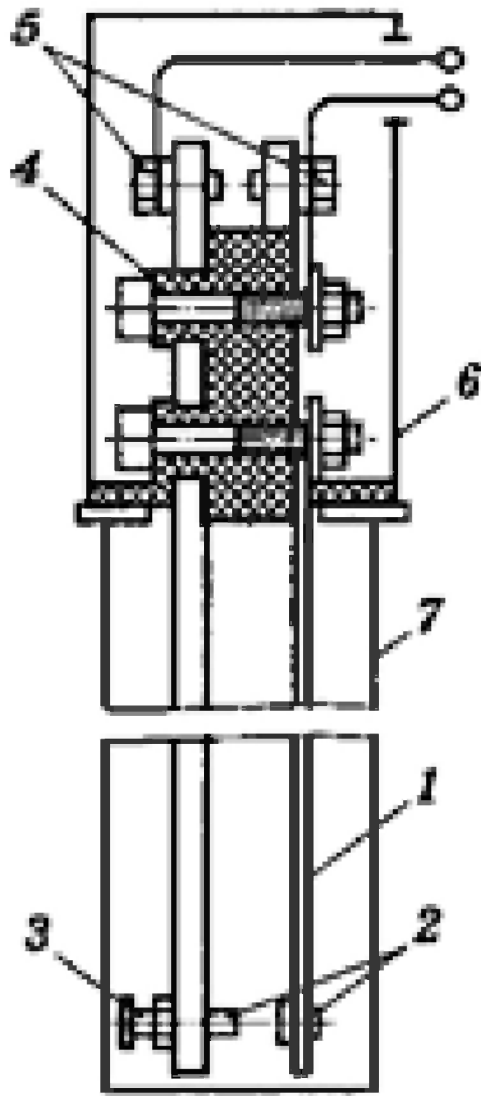


Рисунок 3.3

Биметаллическими термометрами называют местные преобразователи температуры с аналоговыми или дискретными электрическими и пневматическими выходными сигналами. Их используют в качестве показывающих приборов, а также сигнализаторов. В таких термометрах используют биметаллические пружины, величина деформации которых зависит от измеряемой температуры (рис. 3.3).

Реле биметаллическое 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.

Чувствительным элементом дилатометрического реле температуры (рис. 3.4) является металлическая трубка 2, 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.

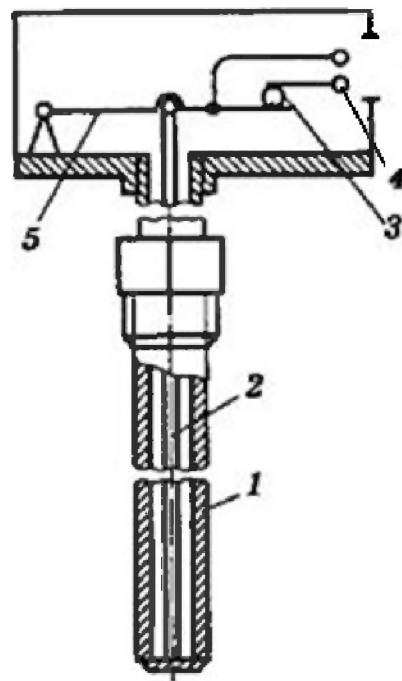


Рисунок 3.4

Чувствительность дилатометрического термометра определяют из выражения [3]

$$S = \frac{l_H(\alpha_T - \alpha_c)}{1 + t_H(\alpha_T - \alpha_c)},$$

где S — чувствительность, мм/°С;

t_H — начальная температура, °С;

l_H — рабочая длина чувствительного элемента при температуре t_H , мм;

α_T, α_c — температурные коэффициенты линейного расширения соответственно трубки и стержня.

Манометрические термометры являются техническими приборами, предназначенными для местного и дистанционного измерения температуры. Принцип действия манометрических термометров основан на однозначной зависимости между измеряемой температурой и давлением термометрического вещества, заключенного в замкнутой системе постоянного объема. Термометр (рис 3.5) 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).

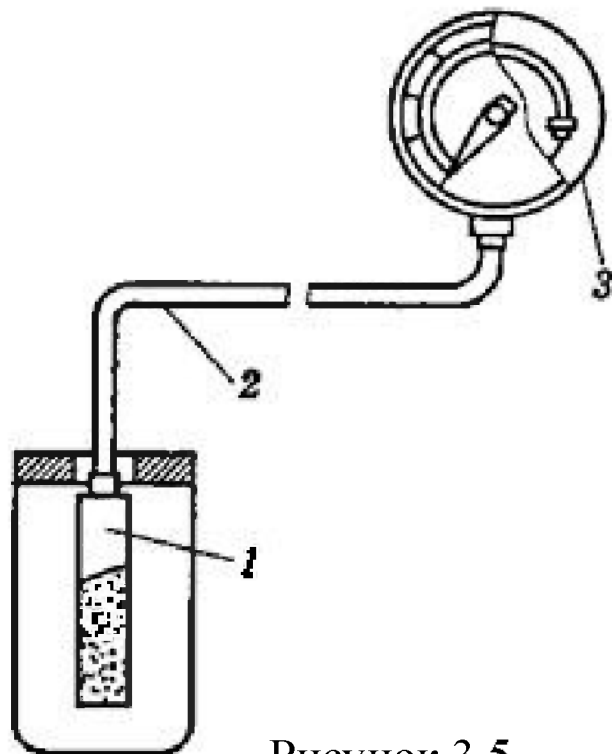


Рисунок 3.5

Все элементы термометра соединены между собой так, что их внутренние полости составляют один общий объем.

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.

3.2.2 Термометры на основе преобразователей с электрическими выходными сигналами

К термометрам с электрическими выходными сигналами относятся **термометры сопротивления** и **термоэлектрические термометры**.

Термометр сопротивления состоит из первичного преобразователя температуры и электроизмерительного прибора. Действие термометра сопротивления основано на зависимости электрического сопротивления металлических проводников от температуры. С увеличением температуры сопротивление металлических проводников возрастает. Выбор материала проволоки обусловлен пределами измеряемых температур: $-50... 180$ °С — медь; $-200...500$ °С — платина. В термометрах сопротивления также применяют полупроводниковые преобразователи сопротивления (термисторы). Термисторы представляют собой твердые полупроводники (германий, оксиды меди, марганца, титана). Их сопротивление при нагреве резко снижается. Термисторы применяются при температурах до 600 °С.

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

Логометр — прибор магнитоэлектрической системы с небалансной измерительной мостовой схемой.

Компенсаторы мостовые — автоматические уравновешенные мосты показывающие и самопишущие .

Упрощенная схема термоэлектрического термометра показана на рис. 3.11.

Термоэлектрический термометр включает термопару — два разнородных изолированных друг от друга проводника 1 и 3, имеющих спай 2, и измерительный прибор 5 (например, пирометрический милливольтметр), подключенный к проводникам в точках 4. Спай 2 называют *горячим спаем*, а точки 4 — *холодным спаем термопары*. Электроды изолируют друг от друга бусами из фарфора и помещают в защитный кожух из стали или керамики. **Работа термопары** основана на зависимости контактной разности потенциалов (между двумя разнородными металлами) от температуры. Характеристики некоторых типов термопар в таблице 3.1.

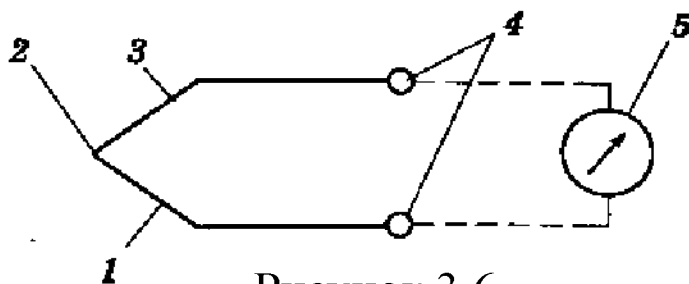


Рисунок 3.6

Таблица 3.1 — Характеристики нескольких типов термопар

Тип термопары	Обозначение	Рабочий диапазон длительного режима работы, °С	Максимальная температура кратковременного режима 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)-платинородневая (6 % родия)	ПР 30/6(В)	-300...1600	1800
Вольфрамрений (5 % рення)-вольфрамрениевая (20 % рення)	ВР5/20-1(А)	0...2200	2500

В качестве измерительных приборов в термоэлектрических термометрах применяют *пирометрические милливольтметры* и *автоматические мостовые компенсаторы*.

Пирометрические милливольтметры — дистанционные измерительные приборы. Милливольтметры бывают показывающие и самопишущие. 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 °С, 0...500 °С и т.д.

В *автоматических мостовых компенсаторах* используют компенсационный метод измерения термоЭДС, основанный на уравнивании термоЭДС

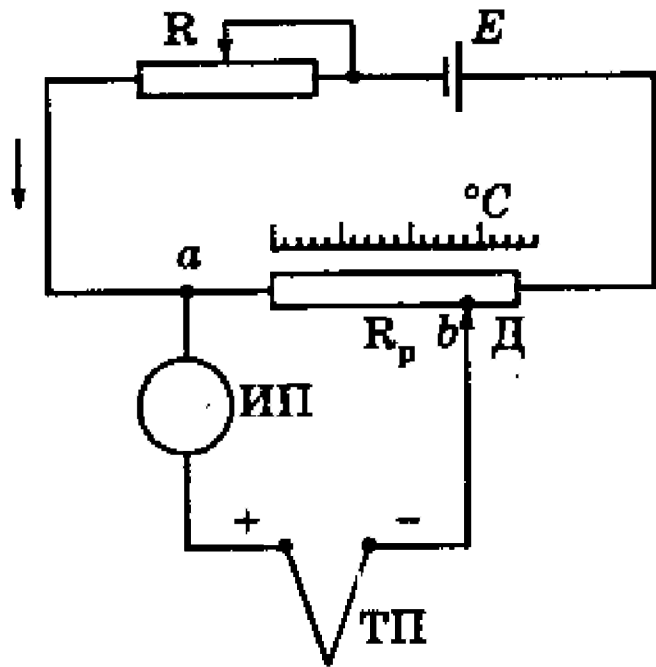


Рисунок 3.7

термопары и известного падения напряжения на калиброванном сопротивлении (реохорде). Упрощенная принципиальная схема потенциометра показана на рис. 3.7. Уравнивающее напряжение в этой схеме создается с помощью ЭДС батареи Е. Признаком достижения компенсации будут показания измерительного прибора ИП (стрелка прибора покажет ноль). При этом положение точки *б* относительно шкалы, отградуированной в градусах Цельсия, будет соответствовать измеряемой температуре.

3.2.3 Бесконтактные термометры

Для измерений температур выше $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ в технологических процессах литейного производства случаях применяют бесконтактные термометры — **пирометры излучения**. Действие пирометров основано на зависимости параметров излучения от температуры измеряемого тела или среды. Пирометры бывают **яркостные**, **радиационные** и **цветовые**. Их изготавливают в виде ручных или стационарно устанавливаемых приборов, которые визируется на поверхность, излучающую тепло в виде непрерывного спектра.

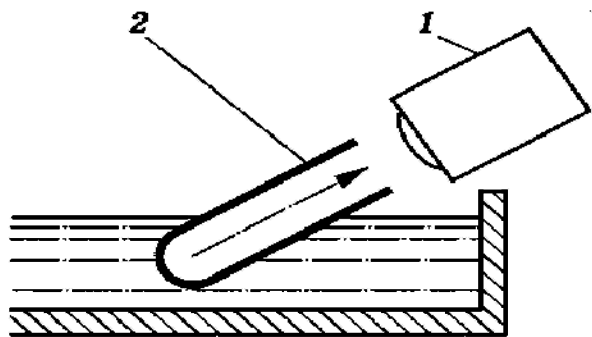


Рисунок 3.8

При измерении температуры газов и паров, имеющих линейчатые или полосовые спектры, используют огнеупорные «черные» трубки (рис. 3.8), которые помещают в измеряемую среду. Пирометром *1* измеряют температуру трубки *2* и, следовательно, температуру окружающей ее среды. На точность измерения оказывает влияние состояние

промежуточной среды, находящейся между объектом измерения и пирометром. Частичное поглощение излучения пылью, дымом и парами, содержащимися в среде между измеряемым телом и пирометром, ослабляет излучение.

Для непрерывного контроля температуры закрытых объектов применяют световодные технологии, основанные на формировании и передаче через футеровку печи или шлак теплового излучения (рис. 3.9). Излучение от расплава 1 по световодному устройству 2 и волоконно–оптическому кабелю 8 после преобразования в детектирующем устройстве 6 подается на вторичный измерительный прибор 7, индикатор которого отображает температуру расплава. В состав прибора также входят термостатирующий кожух 3, визирное устройство 4, фокусирующее устройство 5, также трубки 9 для подачи хладагента в кожух 3.

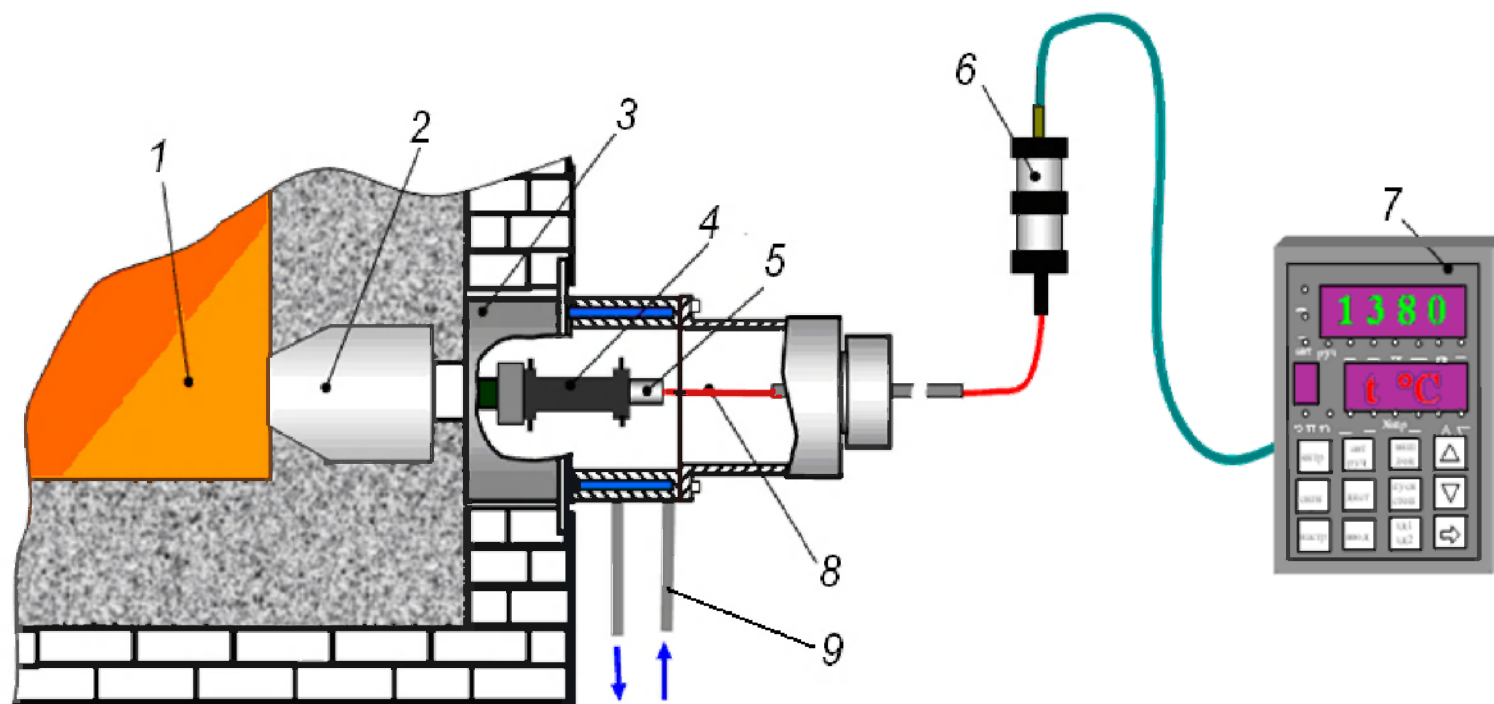


Рисунок 3.9

Современные цветковые пирометры предназначены для измерения температуры выше $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ с основной погрешностью $+1\%$. Действие **цветковых пирометров** основано на использовании зависимости цветкового излучения поверхности нагретого тела от его температуры (рис. 3.10). Поток излучения тела I 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 микроэлектродвигателем 10. Амплитуды импульсов напряжения, 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.

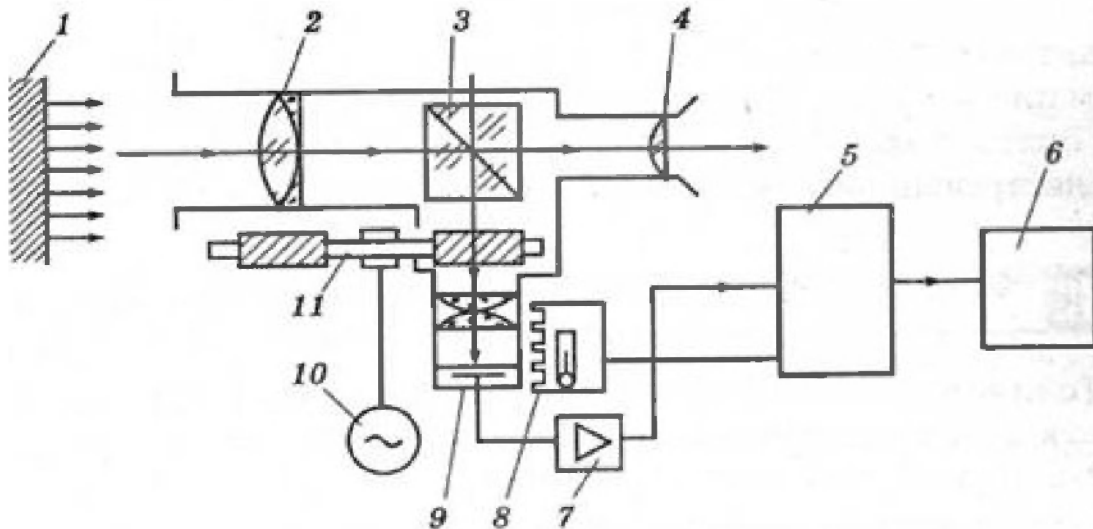


Рисунок 3.10

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.

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).

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;
- *напаромеры* — для измерения небольшого избыточного давления;
- *тягонапаромеры* — 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.

3.3.1 Жидкостные манометры

Наиболее простым по конструкции является жидкостный ***U-образный манометр*** (рис. 3.11), 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.).

Чашечный (однотрубный) манометр (рис. 3.12) состоит из измерительной трубки 1, соединенной с сосудом большего диаметра 2. Газ под давлением подводится к сосуду 2, а конец трубки остается открытым. При измерении давления отсчет производится по шкале. У ***чашечных микроманометров***, предназначенных для измерения малых давлений измерительную трубку делают наклонной.

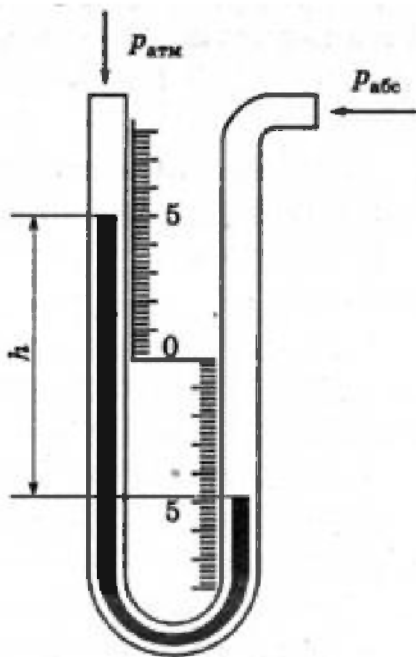


Рисунок 3.11

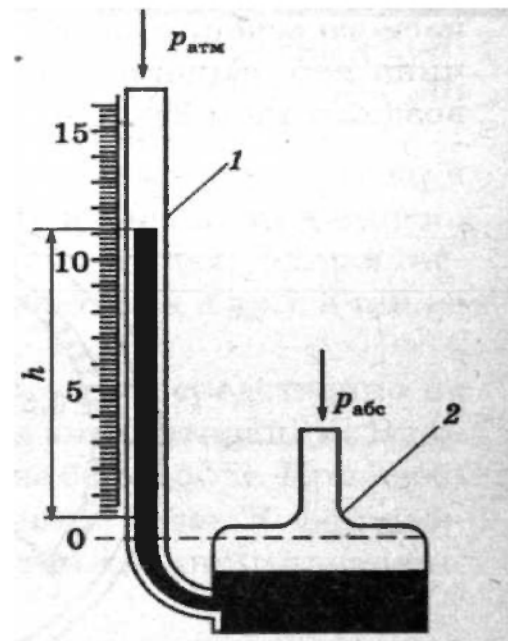
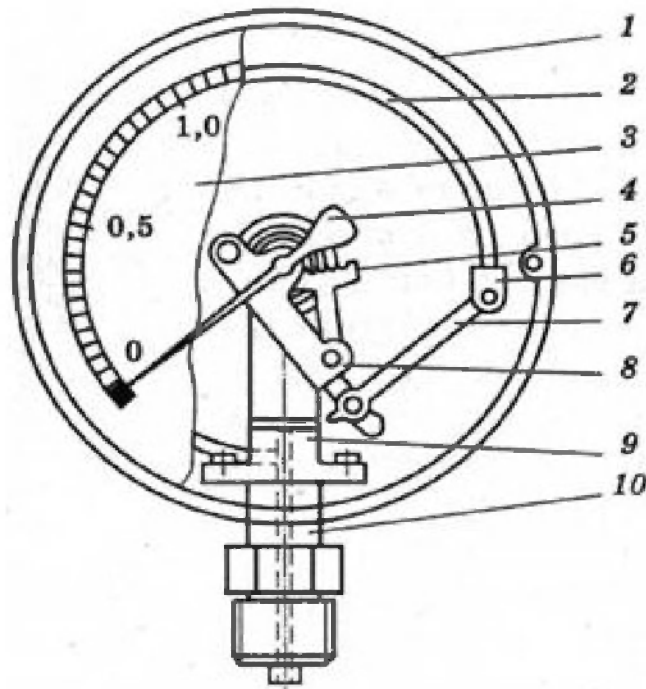


Рисунок 3.12

3.3.2 Пружинные манометры

Пружинные приборы используют для измерения избыточного давления и разрежения. Действие пружинных приборов основано на деформации упругих элементов под действием давления жидкости или газа. Давление (разрежение) определяется по величине упругой деформации чувствительного элемента.

Основными частями *технического манометра* (рис. 3.13) с одновитковой трубчатой пружиной [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.

Рисунок 3.13

3.3.3 Приборы для измерения перепада давления

Для измерения разности (перепада) давлений предназначены **дифференциальные манометры (дифманометры)**. По устройству дифманометры разделяют на **жидкостные, пружинные, компенсационные и поршневые**.

Основными узлами поплавковых жидкостных дифманометров (рис. 3.14) являются две металлические гидравлические камеры 1 и 4, внутренние полости которых соединены трубкой 5.

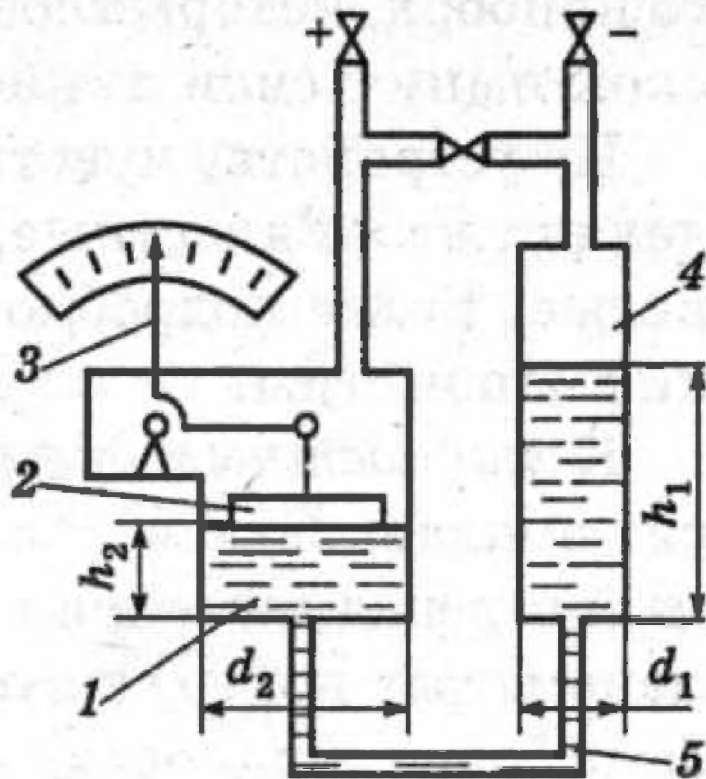


Рисунок 3.14

Камеры до определенного уровня заполняют жидкостью (ртуть, трансформаторное масло). В камере 1 находится поплавок 2, шарнирно связанный со стрелкой 3. В камере 4 находится поплавок 2, шарнирно связанный со стрелкой 3. В поплавковых дифманометрах сосуд 4 сменный. Для каждого перепада давления устанавливают свой сосуд. К блоку вентилей трубами подводится жидкость или газ. Больше давление обозначено «+», меньше — «-». Для установки стрелки на нуль предназначен средний вентиль.

В **пружинных дифманометрах** (рис. 3.15) перепад давления определяется и уравнивается деформацией упругого пружинного элемента, которым являются мембранные 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 дифференциально-трансформаторного преобразователя с обмоткой возбуждения 2 и двумя вторичными обмотками 6. Снаружи дифференциально-трансформаторный преобразователь защищен кожухом 3.

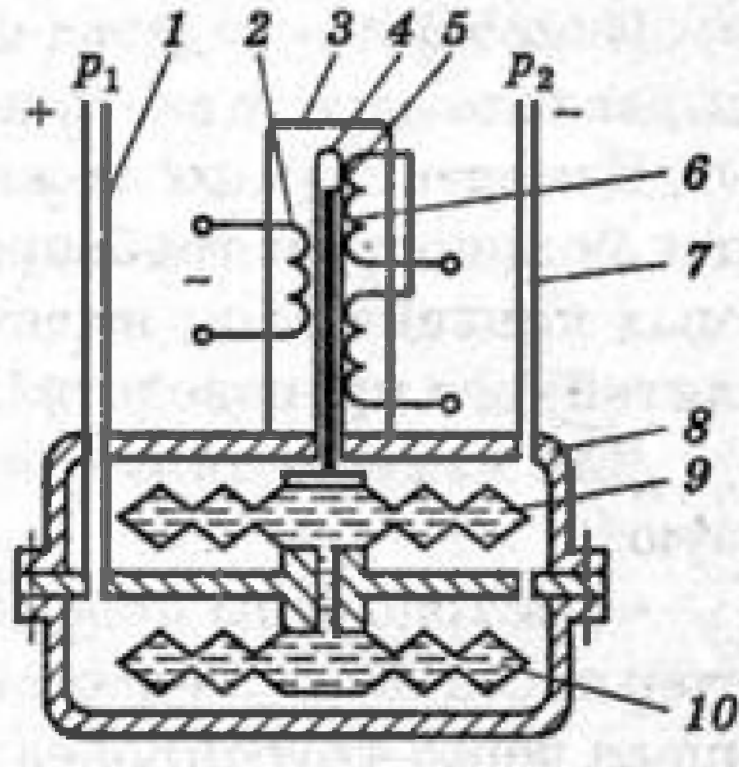


Рисунок 3.15

Трубки 2 и 7 предназначены для подвода жидкости или газа. 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 результате этого возникает электрический сигнал рассогласования, который от дифференциально-трансформаторного преобразователя по проводам передается измерительному прибору.

3.4 Измерение расхода и количества жидких, газообразных и сыпучих материалов

Расход — объем или масса вещества, протекающие через поперечное сечение транспортного устройства в единицу времени. Приборы для измерения расхода называются *расходомерами*.

Количество вещества представляет суммарный объем или массу, прошедшие через поперечное сечение транспортного устройства за любой промежуток времени. Приборы для измерения количества вещества называют счетчиками количества.

Для измерения расхода жидких и газообразных 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.

3.4.1 Расходомеры жидкостей и газов

Наиболее распространенным методом измерения расхода жидкостей, газов и паров является *метод сужения потока*. Метод сужения потока реализуется в двух вариантах: при *переменном* и *постоянном* перепадах давлений.

В *расходомерах переменного перепада давлений* в качестве первичных преобразователей применяют устройства, вызывающие местное сужение потока: диафрагмы, сопла (рис. 3.16, *а*), трубы Вентури и Фостера (рис. 3.16, *б*, *в*). 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.

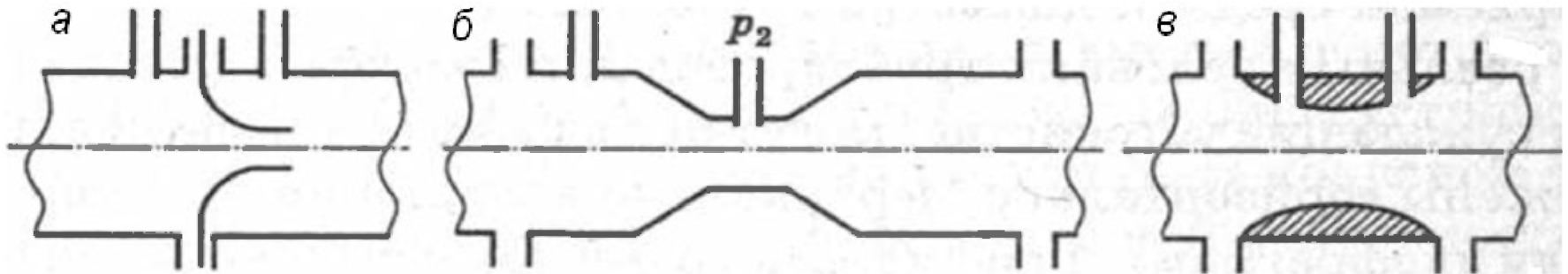


Рисунок 3.16

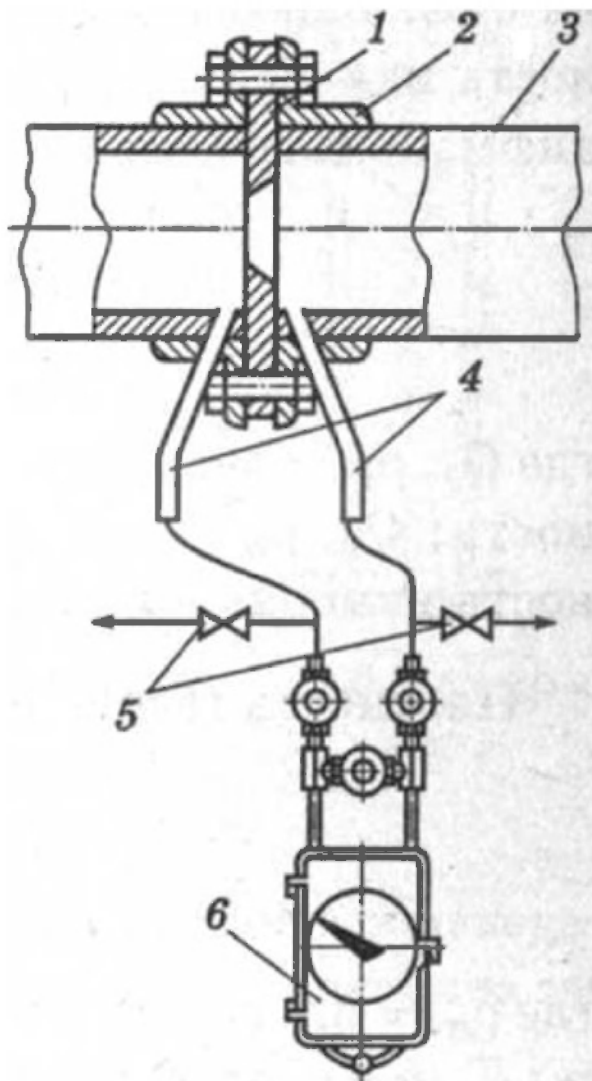


Рисунок 3.17

Для измерения перепада давления и соответственно расхода жидкости или газа к сужающему устройству 1, закрепленному между фланцами 2 трубопровода 3, подключают дифманометр 6 (рис. 3.17). 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.

Расходомеры постоянного перепада (ротаметры) применяют для измерения расхода газов и жидкостей. Технические ротаметры бывают двух видов: неавтоматического действия и автоматические.

К ротаметрам **неавтоматического действия** относят стеклянные ротаметры (рис. 3.18) состоящие из стеклянной конусной трубки 2, расширяющейся кверху.

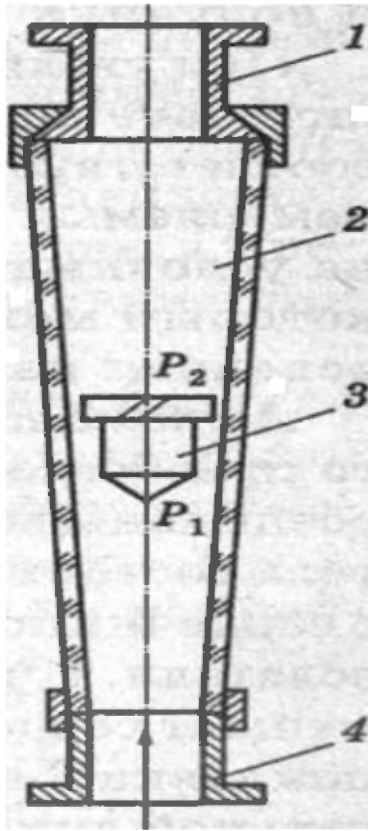


Рисунок 3.18

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 поплавок, помещенного в коническую трубу, динамическим напором поступающей снизу струи жидкости или газа. Рабочее положение ротаметра должно быть строго вертикальным. Каждому расходу соответствует свое положение поплавок. Высота подъема поплавок пропорциональна расходу жидкости или газа, проходящих через ротаметр. Показания ротаметра непосредственно отсчитываются по шкале.

Автоматические ротаметры (рис. 3.19) состоят из первичного преобразователя и измерительного прибора [3]. Оба элемента соединены между собой линией связи. Первичный преобразователь состоит из корпуса 1 и поплавка 2. Поплавок связан тягой 3 с сердечником 4 дифференциально-трансформаторного преобразователя. При увеличении расхода поплавок поднимается и перемещает сердечник дифференциально-трансформаторного преобразователя, который преобразует линейное перемещение поплавка 2 в электрический сигнал, передаваемый по соединительной линии измерительному прибору 5.

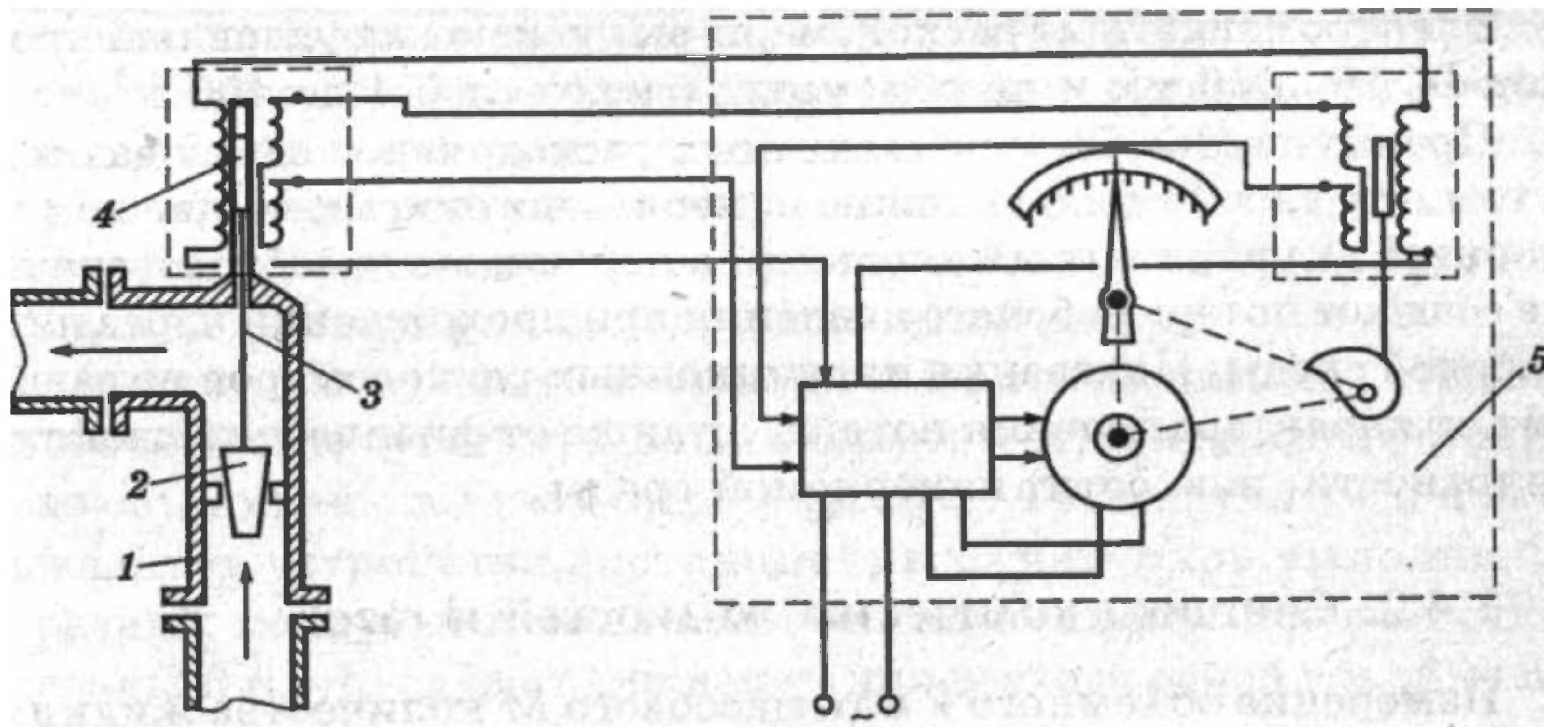


Рисунок 3.19

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 10^{-3} Ом/м, что соответствует электропроводности водопроводной воды. 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 (объемному расходу $Q_{об}$) :

$$E = \frac{4BVQ_{об}}{\pi D},$$

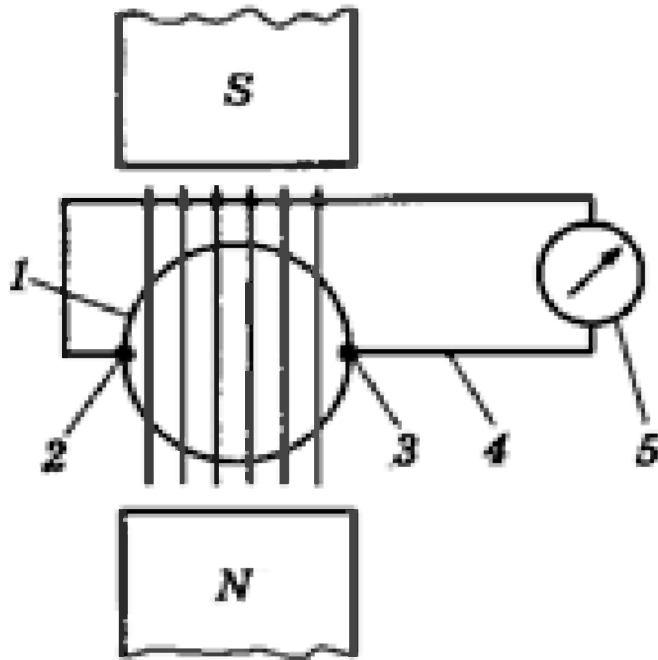


Рисунок 3.20

где B — магнитная индукция;

D — внутренний диаметр трубопровода.

Расходомер (рис. 3.20) состоит из первичного преобразователя и измерительного прибора.

Первичный преобразователь включает участок трубопровода 1 , выполненный из немагнитного материала, с встроенными токоотводящими электродами 2 и 3 , а также постоянный магнит.

Он связан проводами 4 с измерительным прибором 5 .

3.4.2 Измерение расхода и количества сыпучих материалов

Измерения расхода и количества сыпучих материалов проводят при использовании конвейера и пневмотранспорта.

Устройство для измерения расхода и количества сыпучих материалов [4] при использовании конвейерного транспортера (рис. 3.21) включает взвешивающий транспортер 1 на ленту которого материал поступает из питающего бункера 2. Транспортер приводится в движение электродвигателем 3.

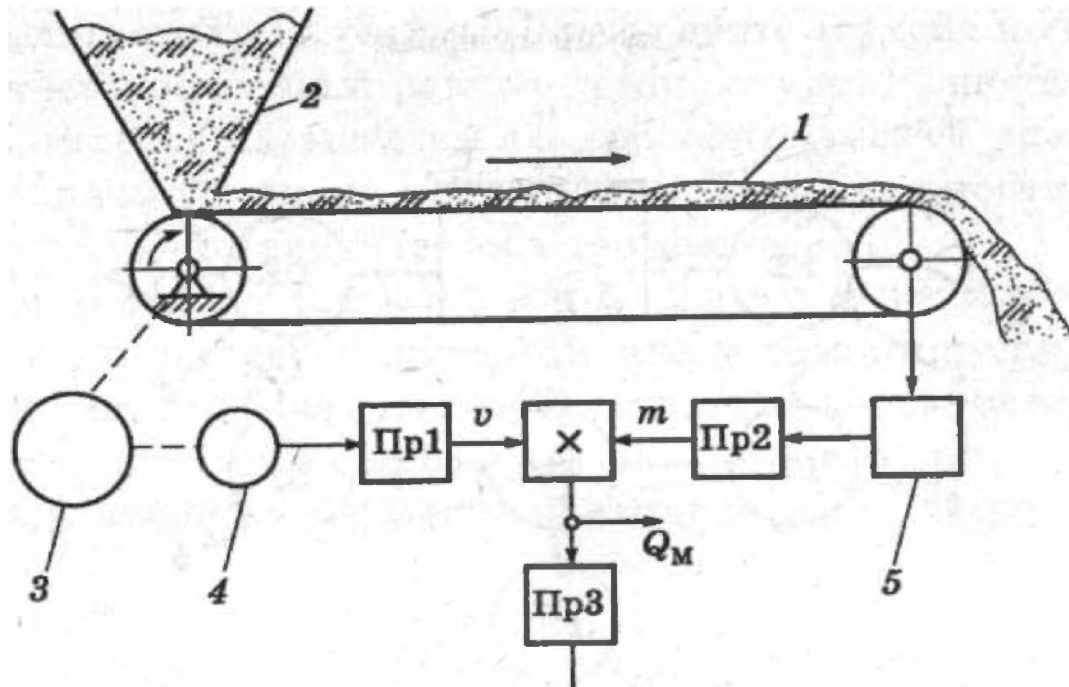


Рисунок 3.21

Угловая скорость вала электродвигателя привода (и, следовательно, скорость 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 (x), который в определенном масштабе отображает массовый расход Q_M сыпучего материала ($Q_M = mv$).

Преобразователь Пр3 превращает сигнал расхода в соответствующий частотный сигнал, который вводится в частотный интегратор I 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. 3.22. Расход несущего газа Q_r измеряется на входе в пневмокамерный насос 1, а плотность аэросмеси $\delta_{см}$ — 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. 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.

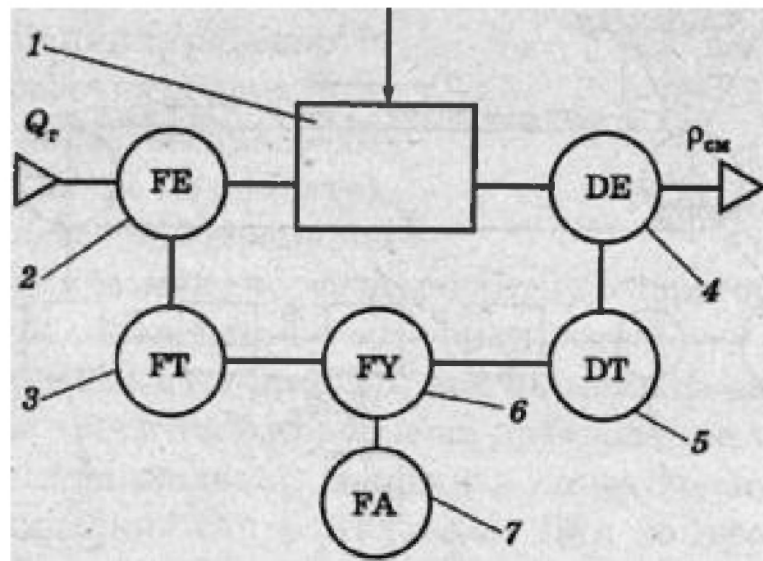


Рисунок 3.22

3.4.3 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 :

$$V = \int_0^t Q_{об}(t) dt; \quad M = \int_0^t Q_{м}(t) dt.$$

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 разных корпусах и соединены линиями связи. Пример счетчика количества воды — *скоростной водомер с вертикальной вертушкой* диаметром 15...40 мм (измеряемый расход 1...6 м³/ч) (рис. 3.23). Действие скоростных водомеров основано на измерении количества оборотов вертушки (крыльчатки), приводимой в движение струей, протекающей через корпус счетчика, так как скорость вращения вертушки пропорциональна расходу жидкости. Основными частями такого счетчика являются корпус 1 , вертушка 2 , зубчатая передача 3 , суммирующий стрелочный счетчик 4 .

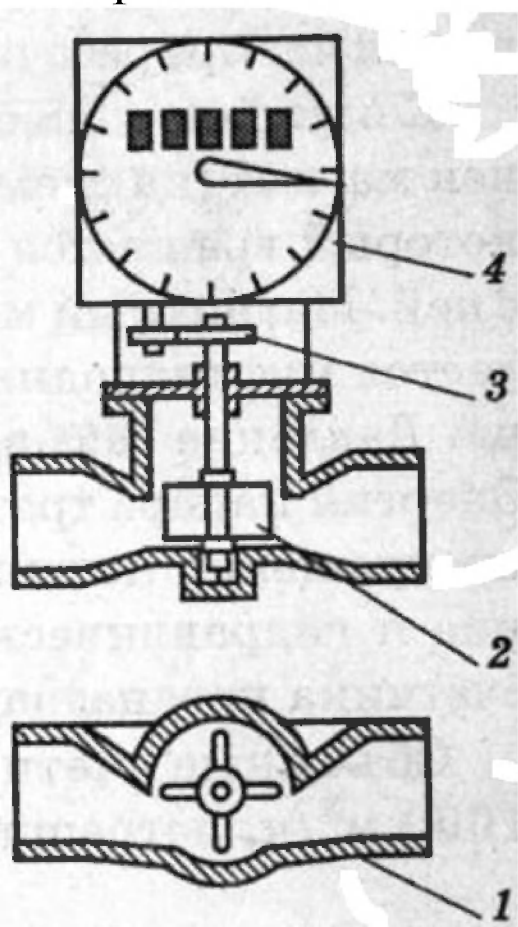


Рисунок 3.23

3.5 Контроль состава и свойств вещества

3.5.1 Измерение влажности воздуха

Для измерения влажности воздуха применяют *влажмеры*, например *психрометрические*. Действие таких влагомеров основано на определении разности показаний рядом расположенных «сухого» и «мокрого» термометров. Испарение влаги с поверхности «мокрого» термометра приводит к понижению его температуры.

В результате «сухой» и «мокрый» термометры показывают разную температуру.

Психрометрический автоматический влагомер является дистанционным самопишущим прибором. Комплект прибора (рис. 3.46) состоит из измерительного прибора *1* и первичного преобразователя *2* соединенных между собой электрическими проводами [3]. Первичный преобразователь — это камера, в которую помещены два одинаковых термосопротивления: R_{TC} — постоянно «сухой» и R_{TM} — «мокрый», покрытый гигроскопической тканью, увлажняемой водой с помощью специального увлажнителя.

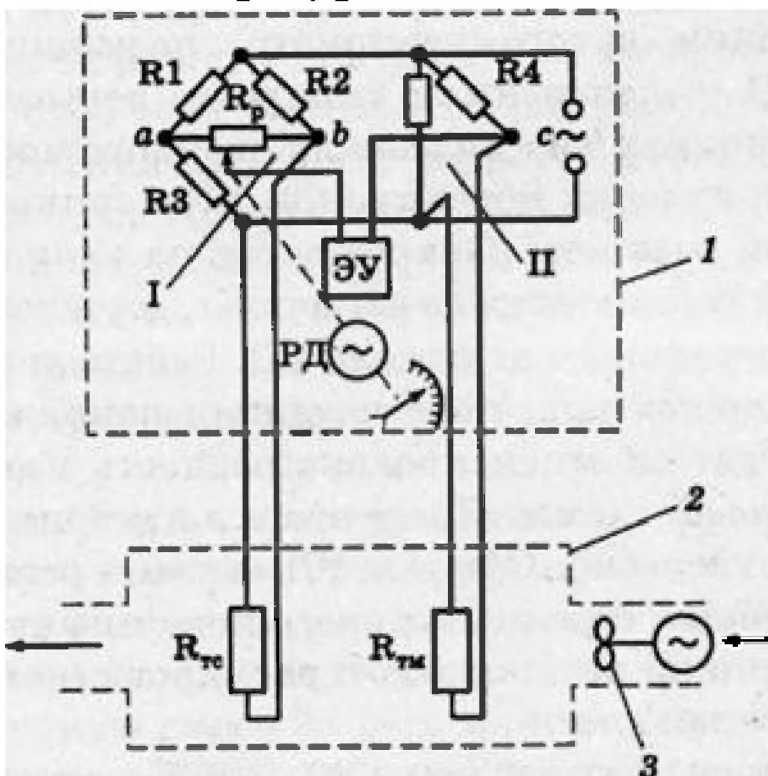


Рисунок 3.24

В камере вентилятором 3 осуществляется непрерывная циркуляция контролируемого газа. Относительную влажность φ в зависимости от психрометрической разности $(t_c - t_m)$ определяют по формуле

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

где p_v — упругость паров воды, насыщающих испытываемую среду при температуре «мокрого» термометра t_m ;

p_c — упругость паров воды, насыщающих испытываемую 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 сдвоенного автоматического моста I и II. Мост I образуют резисторы **R1**, **R2**, **R3**, **R_{ТС}**, мост II — резисторы **R1**, **R3**, **R4**, **R_{ТМ}**. На вершинах *b* и *c* диагонали двойного моста возникает разность электрических потенциалов. Она подается на вход электронного усилителя ЭУ и усиливается до величины, достаточной для вращения вала реверсивного двигателя РД, РД перемещает движок реохорда **R_p** до тех пор, пока 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.

3.5.2 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.

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.

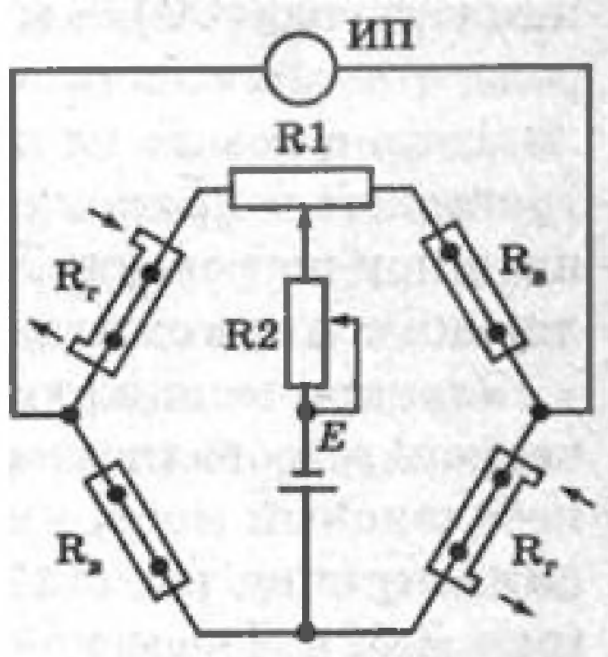


Рисунок 3.31

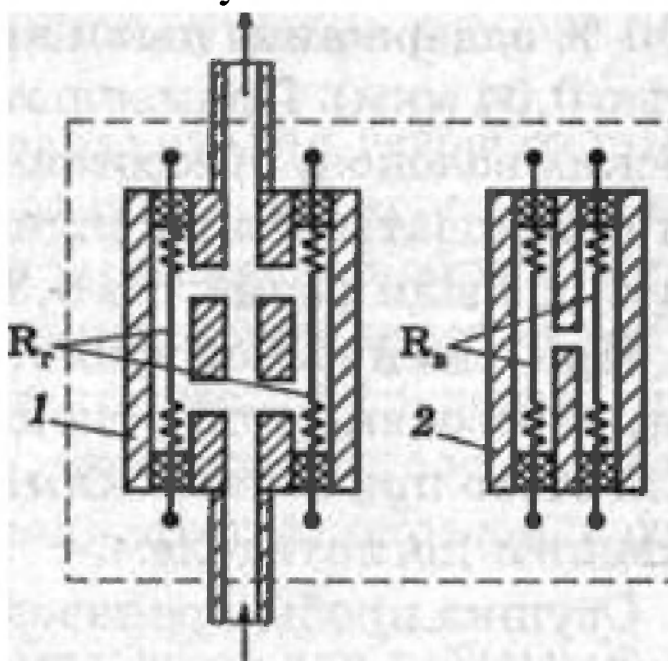


Рисунок 3.32

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. 3.31) состоит из первичного преобразователя и измерительного прибора ИП.

Она представляет четырехплечий электрический небалансный мост, включающий одинаковые резисторы (платиновые нити) R_r и R_B . Резисторы R_r установлены в проточной ячейке 1 (рис. 3.32), через которую непрерывно пропускают исследуемый газ, а резисторы R_B — в непроточных ячейках 2, в которых находится атмосферный воздух. Переменные резисторы $R1$ и $R2$ предназначены для регулировки состояния равновесия и рабочего 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 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Дымовые газы имеют повышенное содержание углекислого газа. Теплопроводность CO_2 почти на 40% ниже теплопроводности атмосферного воздуха, поэтому при прохождении дымовых газов через камеру I температура резисторов R_r 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 $1,5\%$.

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

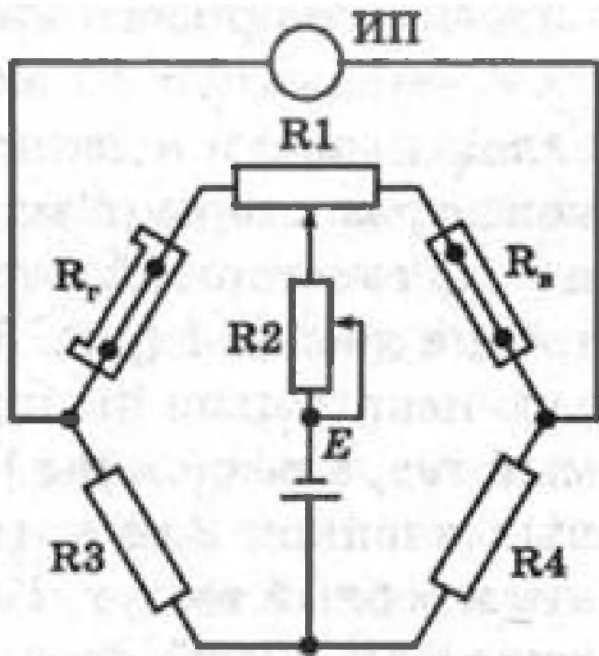


Рисунок 3.31

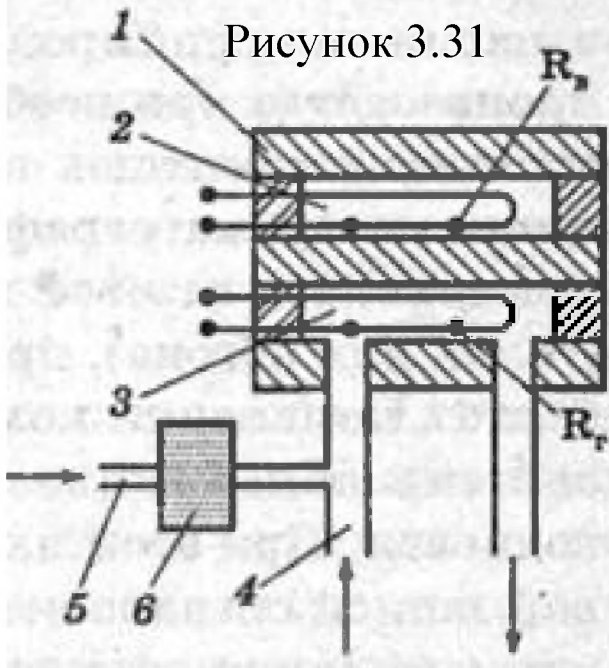


Рисунок 3.32

Термохимические газоанализаторы применяют в литейном производстве для определения содержания продукта неполного сгорания углерода (СО) — 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. 3.31). Переменные резисторы **R1** и **R2** предназначены для регулировки 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 **R3** и **R4** выполнены из манганиновой проволоки. Резисторы **Rr** и **Rb** представляют собой платиновые нити, заключенные в отдельных камерах общего металлического корпуса *1* (рис 3.32).

Мощность источника постоянного тока рассчитана так, чтобы каждая из нитей могла нагреваться до $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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 $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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.

3.5.3 Измерение плотности жидкостей

Качество формовочных и стержневых смесей во многом зависит от концентрации и плотности связующих материалов. Плотность жидкостей измеряют *техническими плотномерами: поплавковыми* (ареометрическими), *пьезометрическими* (гидростатическими), *массовыми, вибрационными и радиоизотопными* (табл. 3.2).

Таблица 3.2 — 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
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

3.5.4 Экспресс-анализ сплавов и шлака

Для определения содержания элементов сплавов и компонентов шлака широко используются экспрессные инструментальные методы. Наибольшее распространение получили спектральные методы анализа: *рентгено-флуоресцентный* и *эмиссионный*.

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

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.

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.

3.5.5 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.

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 фотоэлемент, 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.

3.5.6 Измерение влажности формовочных материалов

Для определения влажности сыпучих формовочных материалов применяют влагомеры, использующие различные методы измерения:

- *электрокондуктометрический,*
- *емкостный,*
- *СВЧ-метод,*
- *метод определения влажности по технологическим характеристикам контролируемой смеси (формуемости) и др.*

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.

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.

Автоматический контроль влажности смесей может осуществляться по их сыпучести. **Сыпучесть** — способность смеси просыпаться через калиброванную щель. **Устройство контроля сыпучести** (рис. 3.25) 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.

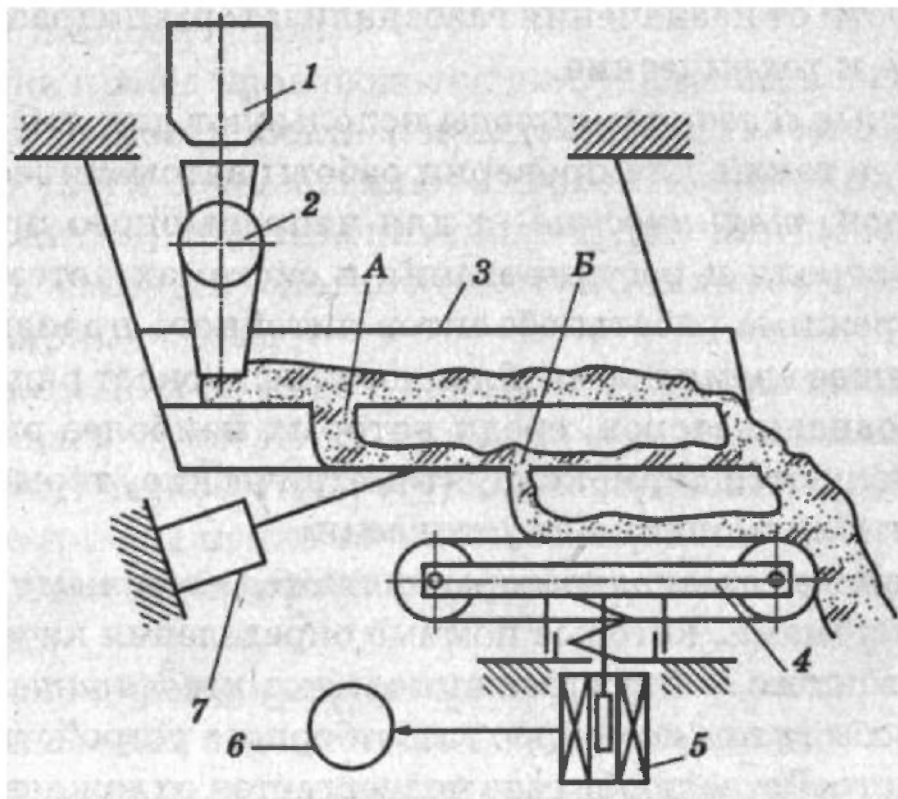


Рисунок 3.25

Смесь из пробоотборника 1 проходит разрыхлитель 2, разрыхляется, падает и перемещается по верхней деке лотка 3. При этом часть смеси проходит щели А и Б и попадает на конвейер 4, снабженный весовым устройством, включающим дифференциально-трансформаторный датчик расхода 5 и вторичный прибор 6 со специально отградуированной шкалой. Чем больше влажность смеси, тем меньше её просыпается на конвейер 4.

3.5.7 Автоматический контроль сточных вод

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

Электрокондуктометрическим методом 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.

Потенциометрический 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.

3.6 Приборы для автоматического контроля технологических свойств смеси

Современные автоматизированные смесеприготовительные установки комплектуются приборами для текущего контроля технологических свойств смеси, которые обычно устанавливаются на выходе из смесителя и размещаются над ленточным транспортером, принимающим из него смесь [6].

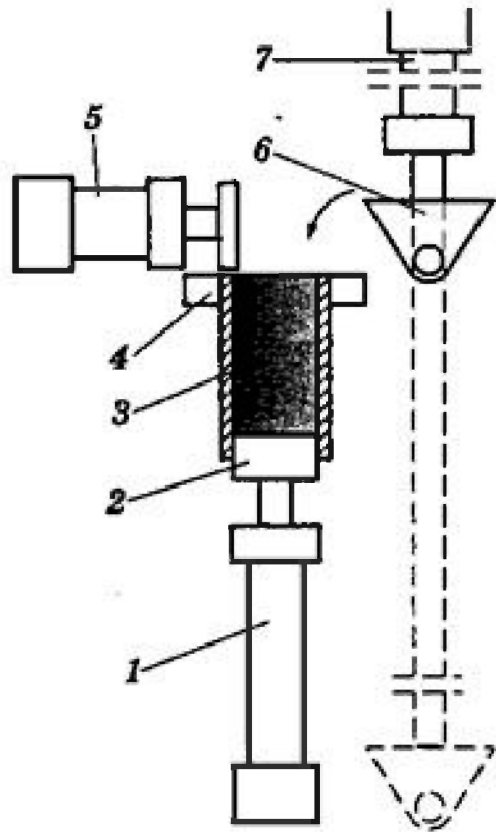


Рисунок 3.26

На рис. 3.26 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. Смесью с транспортера может подаваться ковшом 6 прямолинейным движением (штрих-пунктирная линия на рис. 6.7) или ковшом с поворотным устройством.

Образец смеси остается в гильзе 3 и может быть подвергнут испытаниям на уплотняемость, твердость, прочность при срезе или сжатии.

Для определения уплотняемости смеси (рис. 3.27) верхний срез гильзы закрывается крышкой 3 и образец сжимается поршнем 2, который перемещается вверх под действием цилиндра 1. Цилиндр 1 оказывает давление 1 МПа.

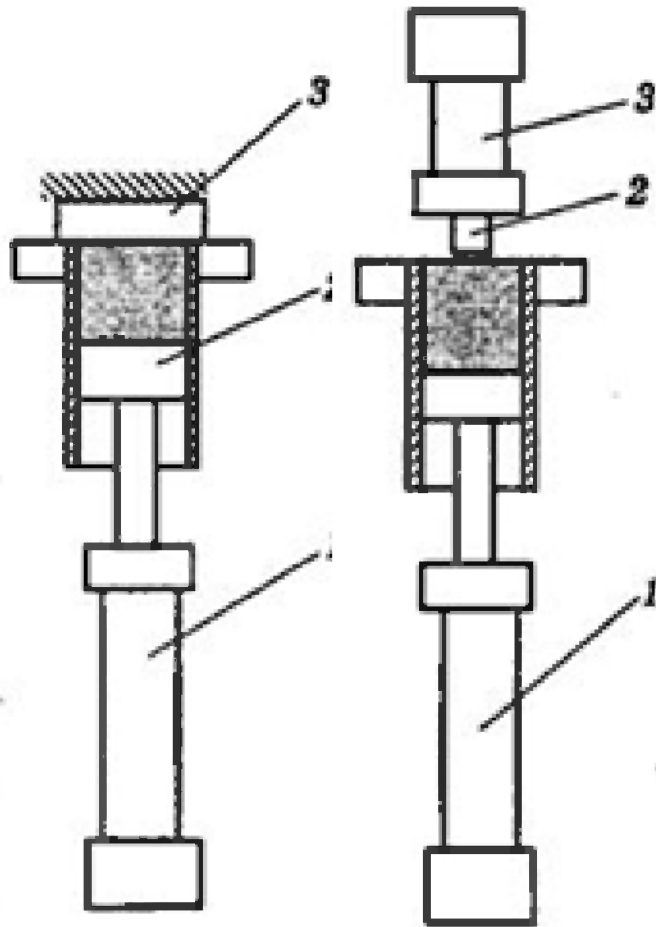


Рисунок 3.27

Рисунок 3.28

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. 3.28) 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.

В установках, определяющих прочность смеси при сжатии и срезе, эти испытания производят на разных образцах.

Для определения прочности смеси при сжатии (рис 3.29) 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.

Для измерения прочности образца при срезе (рис. 3.30) 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.

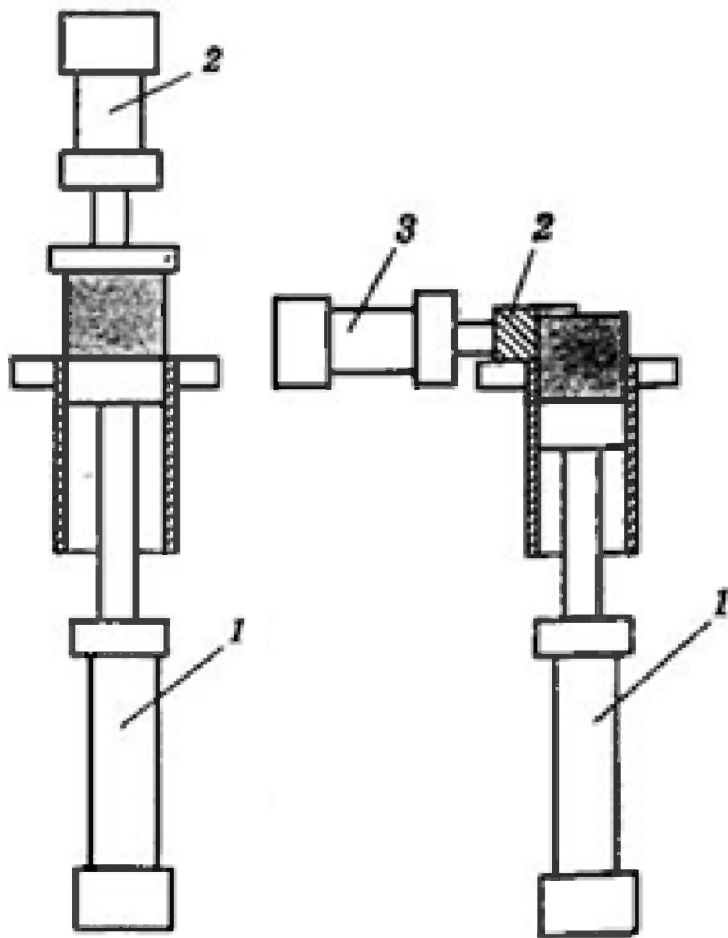


Рисунок 3.29

Рисунок 3.30

3.6 Контроль уровня жидких и сыпучих 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. 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).

В *поплавковых и буйковых уровнемерах* (сигнализаторах уровня) использовано перемещение поплавков или буйков, плавающих на поверхности жидкой контролируемой среды под действием подъемной силы.

3.6.1 Механические уровнемеры

Для постоянного контроля за предельными значениями уровня сыпучих материалов в бункерах применяют механические **флажковые сигнализаторы** (рис. 3.33). 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.

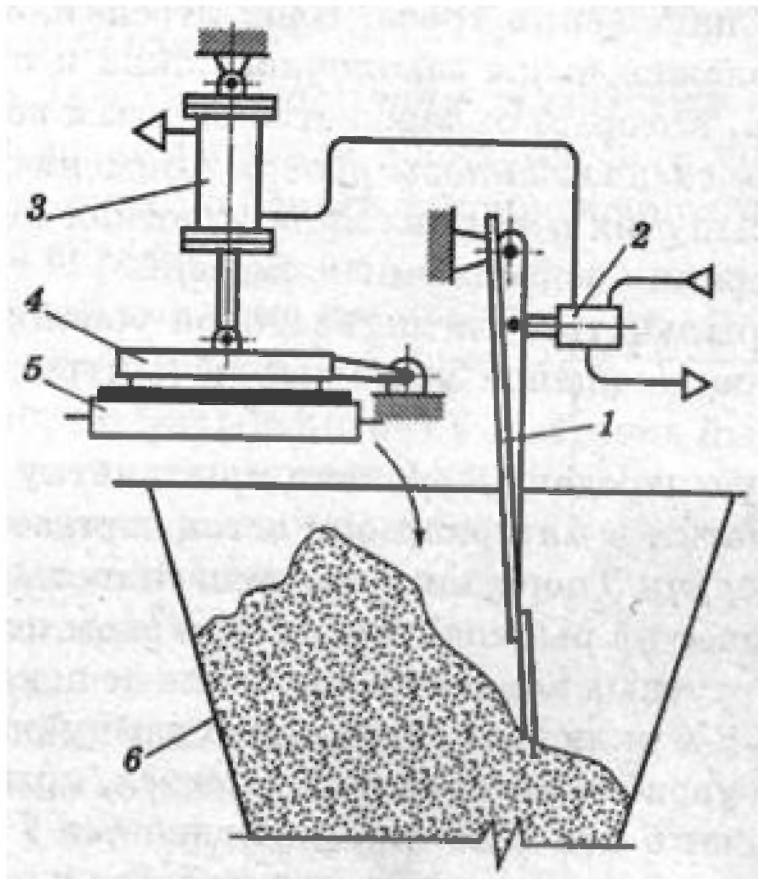


Рисунок 3.33

При достижении верхнего 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.

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]. На рис. 3.34 показан вариант схемы установки и подключения преобразователей 1 и 2 в бункере для сыпучих материалов.

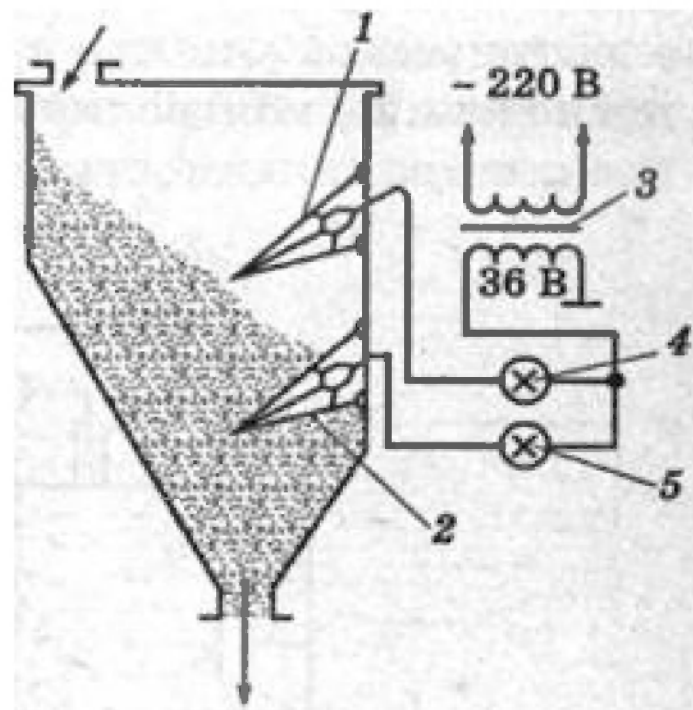


Рисунок 3.34

В отсутствие материала в бункере сигнальные лампы 4 (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. 3.35 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.

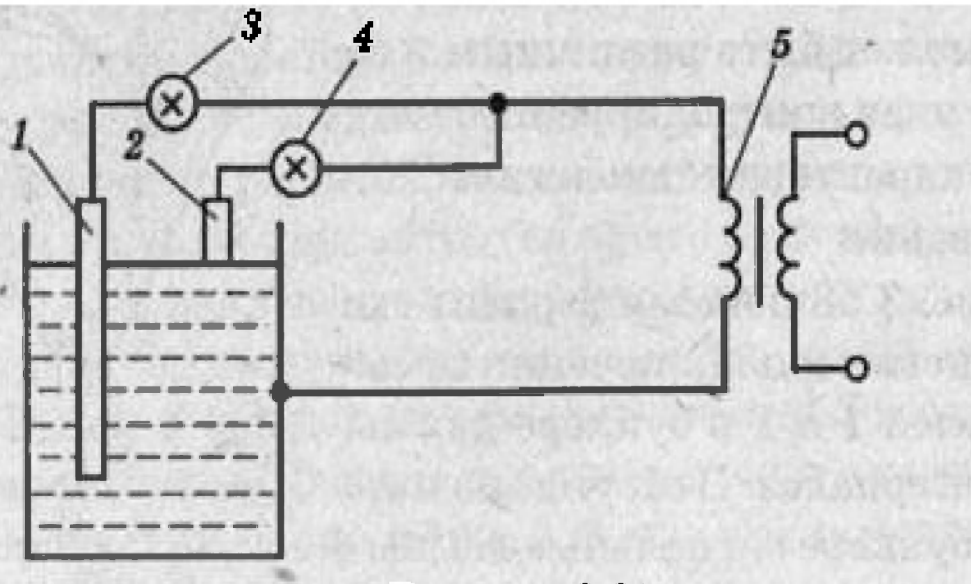


Рисунок 3.35

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.

3.6.3. Гидростатические уровнемеры

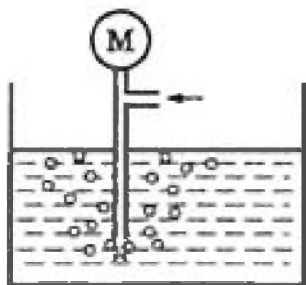


Рисунок 3.36

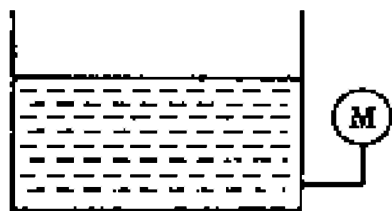


Рисунок 3.37

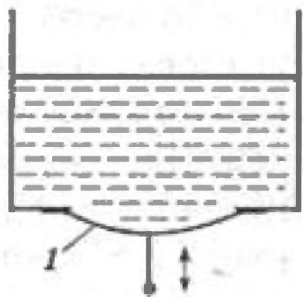


Рисунок 3.38

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. 3.36) или гидростатического давления жидкости (рис. 3.37), а также на измерении стрелы прогиба мембраны 1 под давлением жидкости (рис. 3.38). Последний способ пригоден для измерения уровня сыпучих материалов при отсутствии налипания их на мембрану.

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. Гамма-излучатель и гамма-индикатор радиоактивного сигнализатора уровня, устанавливаются снаружи контролируемого объекта.

Действие радиоактивных сигнализаторов уровня основано на различной способности воздуха и контролируемого материала поглощать гамма-излучение. В качестве источников излучения используют искусственные радиоактивные изотопы Co^{60} , Sr^{90} , Cs^{133} . Изотопы помещают в толстостенные ампулы, имеющие окна для выхода гамма-лучей. Приемниками служат ионизационные камеры сигналы от которых поступает в релейные блоки и усиливается до величины, достаточной для включения контактной системы реле. Прибор может работать при толщине стенок стальных резервуаров до 100 мм.

3.7 Автоматический контроль загрязнения воздуха

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.

Метод осаждения пыли на фильтре основан на пропускании газового потока через фильтр с постоянной скоростью и измерении перепада 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. 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.

3.8 Измерение силы и массы

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.

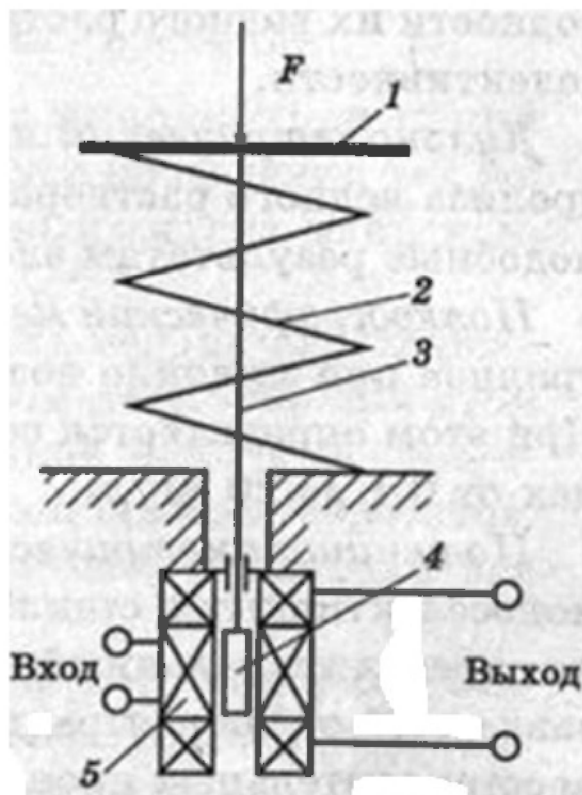
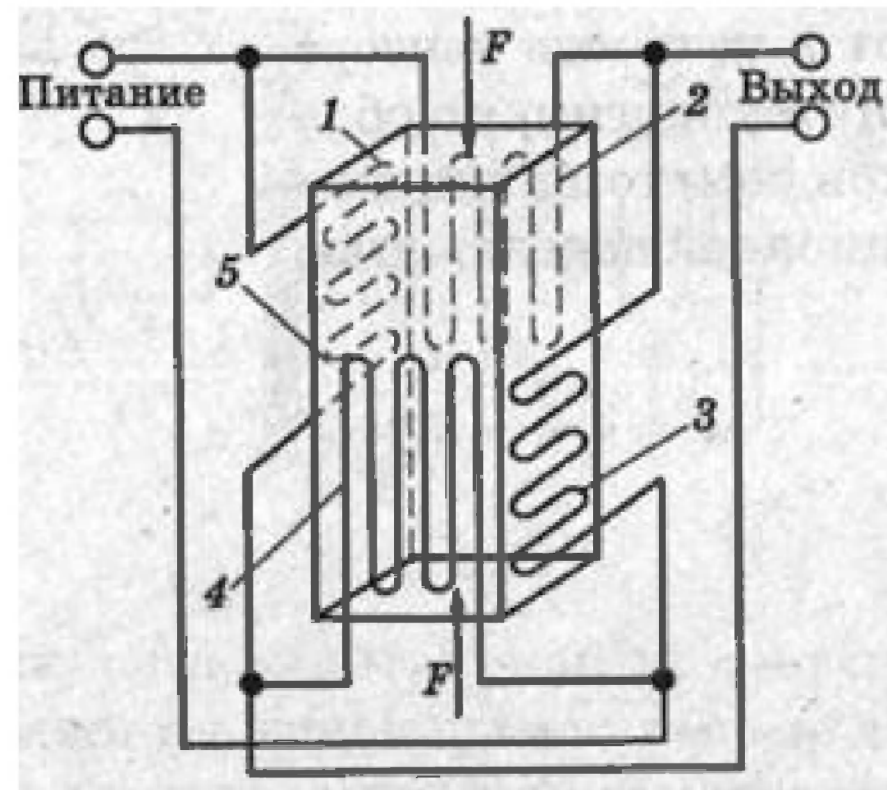


Рисунок 3.39

Принцип действия силоизмерительного устройства первой группы, (рис. 3.39) заключается в том, что платформа 1, перемещающаяся 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, подверженных действию ударных нагрузок

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. 3.40) 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.

Рисунок 3.40

3.9 Контроль скорости и положения деталей 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 валов называются *тахометрами*.

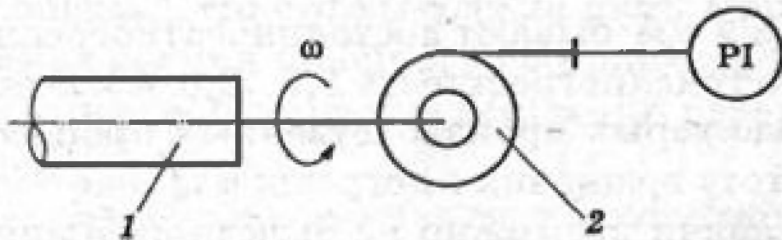


Рисунок 3.41

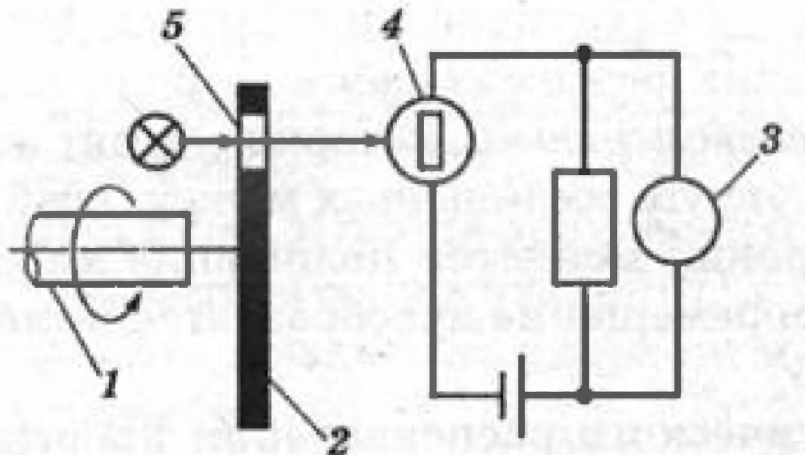


Рисунок 3.42

Принцип действия *пневмотахометра* (рис. 3.41) заключается в преобразовании частоты вращения со вала 1 в давление газа (жидкости) p , развиваемое микромагнетителем 2.

Диск *оптического импульсного тахометра* 2 (рис. 3.42) с прорезью 5, соединенный с вращающимся объектом 1, является прерывателем светового потока на фоторезистор 4, включенный в схему с частотомером 3.

В системах автоматического управления электроприводом технологического оборудования широко используются *тахогенераторы* (разновидность тахометров). Тахогенератор (рис. 3.43) 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). Тахогенераторы с частотным выходом имеют более высокую точность, обусловленную тем, что частота выходного сигнала, как мера контролируемой скорости, однозначно определяется ее значением и не подвержена влиянию других факторов.

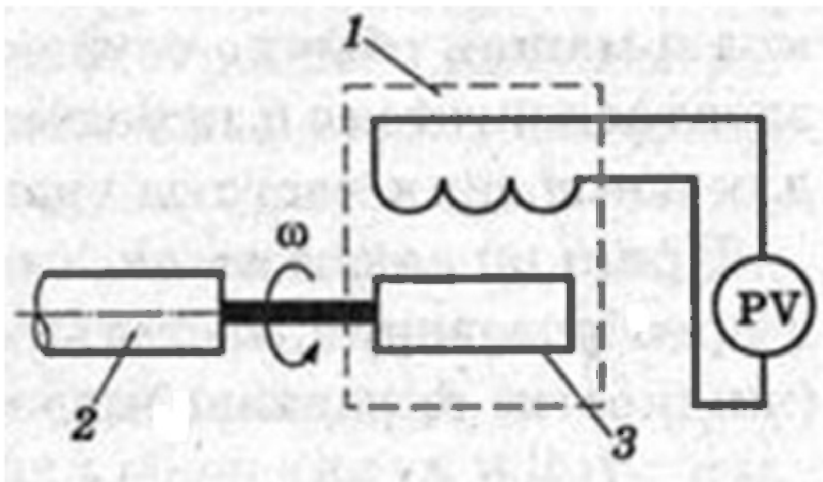


Рисунок 3.43

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.

Контактные *выключатели* и *переключатели* по своему устройству аналогичны кнопкам.

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, размыканию электрической цепи управления приводом.

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.

4 СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

4.1 Общие сведения об аппаратах систем управления

В литейном производстве применяются системы управления, состоящие из измерительных приборов, вычислительных устройств, исполнительных механизмов, регулирующих органов и других аппаратов. Различают *релейно-контакторные* и *бесконтактные* системы управления, средства *пневматической* и *гидравлической* автоматики, а также *программное* управление на основе вычислительной техники.

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).

Программное управление может быть реализовано комбинированием обычных электромагнитных реле и реле времени с помощью программных реле времени, командоаппаратов и программируемых контроллеров.

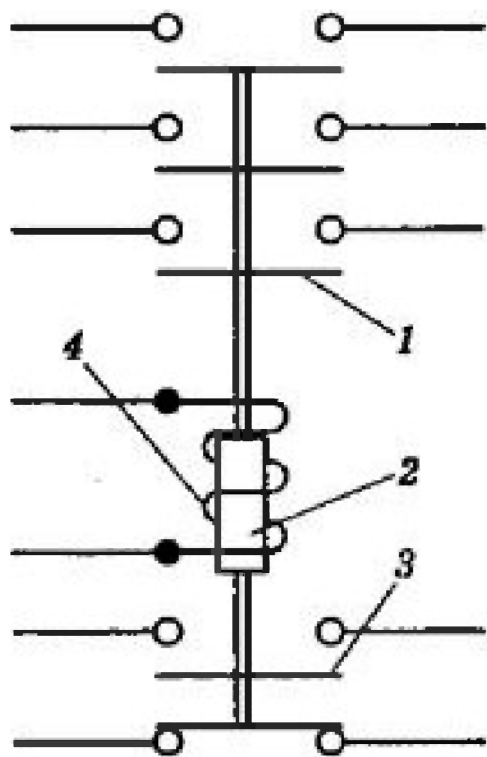
При использовании реле времени довольно просто программное реле можно получить последовательным их включением. В такие программные реле после отсчета выдержки времени одним каскадом автоматически начинается отсчет выдержки другим каскадом.

Для программного управления часто применяют кулачковые командоаппараты — устройства, вырабатывающие и выдающие через определенное время и в заданной последовательности сигналы на включение и отключение цепей управления.

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.

4.2 Релейно-контакторное управление электроприводами

В качестве исполнительных механизмов в электроприводах литейных машин широко используются трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором. Для управления такими двигателями часто используют релейно-контакторную аппаратуру, в частности контакторы [6].



Контактор представляет собой выключатель с контактами, управляемыми электромагнитом. Контакторы различаются по роду тока в катушке (постоянный или переменный), напряжению катушки и номинальному току, протекающему через главные контакты. Основными частями контактора (рис. 4.1) 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.

Рисунок 4.1

Блокировочный контакт служит для шунтирования (параллельного включения) кнопки «Пуск». Во время работы контактора через этот контакт протекает ток питания катушки 4.

На принципиальных электрических схемах контакты контакторов и других устройств изображаются в исходном положении, т.е. при отсутствии тока в катушке соответствующего аппарата (рис. 4.2). 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.

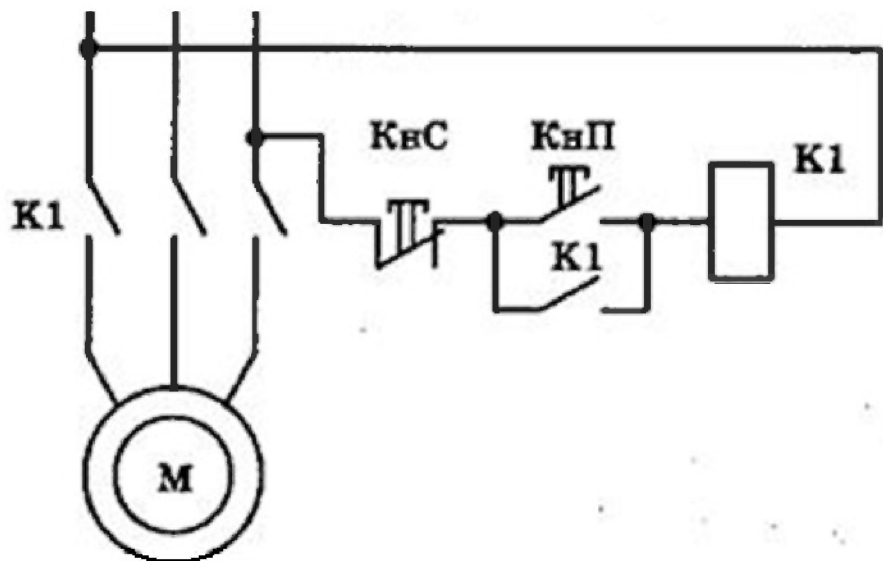


Рисунок 4.2

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.

4.3 Программное управление

4.3.1 Программное управление кулачковыми командоаппаратами

В *кулачковом командоаппарате* (рис. 4.3) вал синхронного электродвигателя 1 через редуктор 2 с регулируемым передаточным отношением соединен с валом 3, на котором закреплены и могут переставляться кулачки 5 и 6, включающие и отключающие контакты КЭП-1, КЭП-2, КЭП-3 и т. д. Контакты аппарата имеют механизмы мгновенного действия 7. Один контакт аппарата (КЭП-3) имеет дополнительный привод от электромагнита 4 и используется для управления работой КЭП.

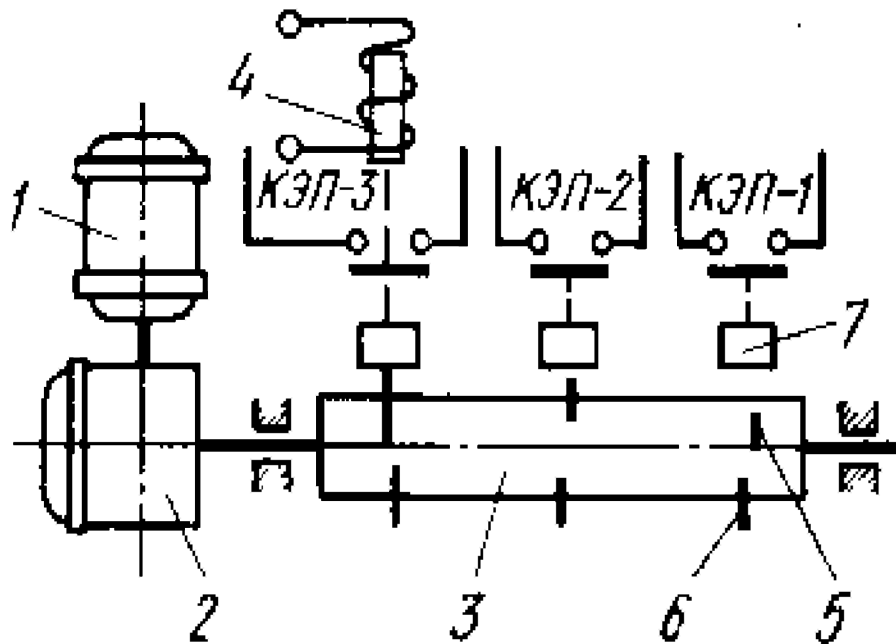


Рисунок 4.3

Этот контакт включается в начале цикла электромагнитом и отключается в конце цикла кулачком, установленным на валу 3. Время цикла, которым управляет КЭП, равно времени одного оборота кулачкового вала и регулируется изменением передаточного отношения редуктора 2. Начало и окончание операций внутри цикла регулируется перестановкой включающих и отключающих кулачков 5 и 6.

В пневматических (гидравлических) командоаппаратах последовательность выполнения операций сложного цикла устанавливается на механическом устройстве, которым в большинстве случаев является вращающийся распределительный вал. Основным органом управления программного пневматического командоаппарата (рис. 4.4) является равномерно вращающийся распределительный вал 3 с кулачками 4 и 5. Вал приводится в движение синхронным электродвигателем 1 через редуктор 2.

При вращении вала кулачки через определенные моменты и в определенной последовательности действуют на ролики путевых переключателей $K1$ и $K2$, которые, срабатывая, подают воздух в полости управления главных распределителей $P1$ и $P2$.

Гидравлические командоаппараты устроены аналогично.

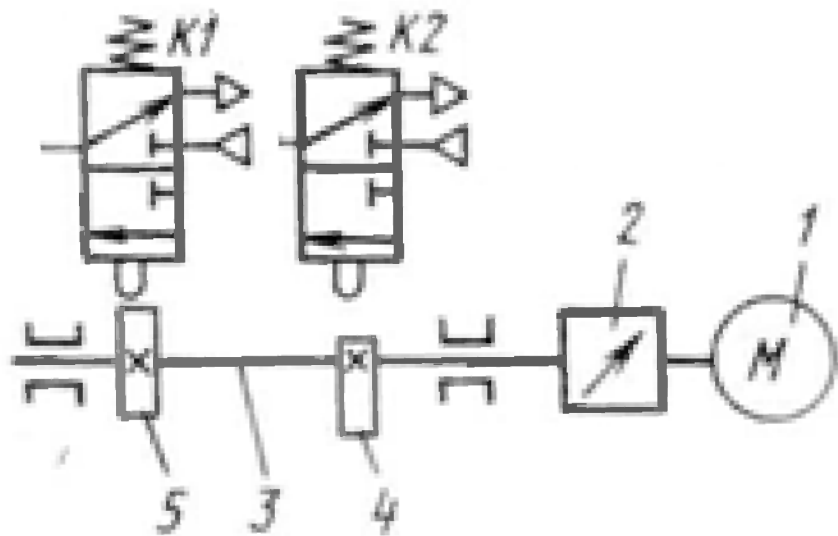


Рисунок 4.4

Продолжительность цикла работы зависит от времени одного оборота распределительного вала. Скорость вращения распределительного вала можно регулировать в широком диапазоне изменением передаточного отношения редуктора.

4.3.2 Программное управление программируемыми логическими контроллерами

В качестве программируемых устройств управления в производстве применяют (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. Структурная схема программируемого контроллера представлена на рис. 4.5.

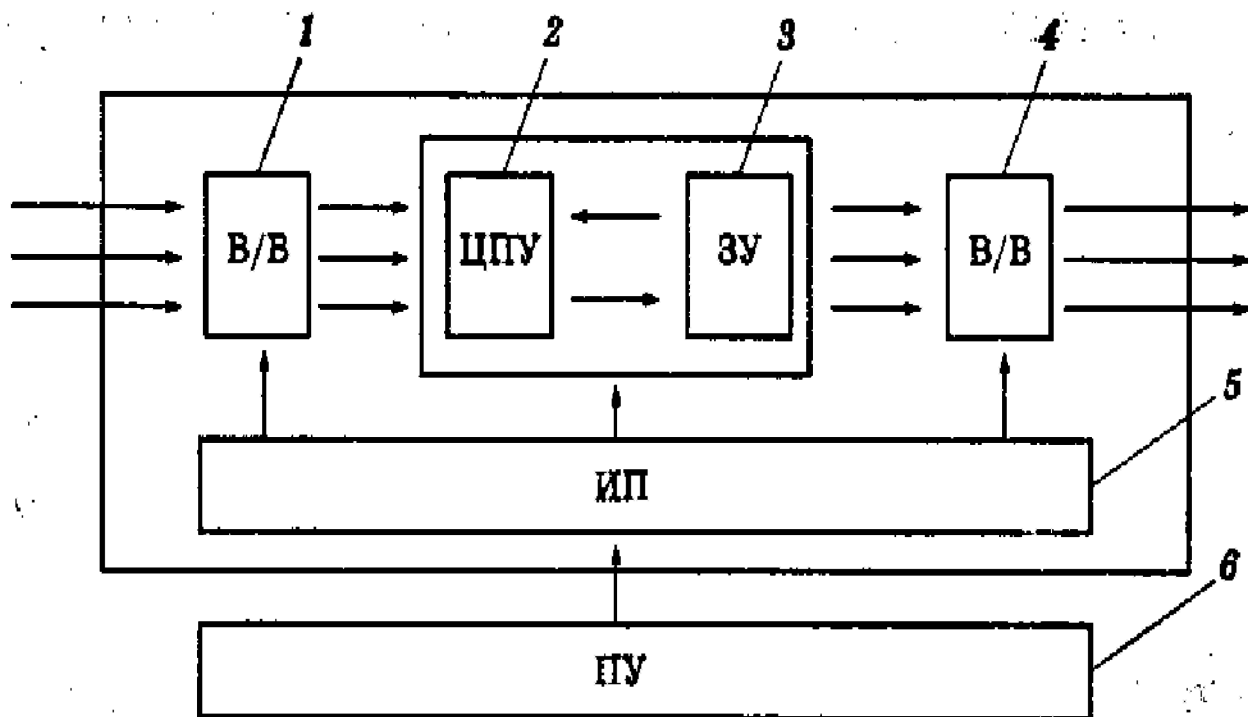


Рисунок 4.5

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.

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.

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.

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.

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.

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.

Управляющая программа обычно состоит из большого числа таких подпрограмм, которые выполняются последовательно одна за другой.

При модернизации систем управления действующего оборудования командоаппараты и релейные схемы обычно заменяются программируемыми контроллерами.

5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

5.1 Стадии проектирования систем автоматизации

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.

В процессе разработки **технического задания** (ТЗ) определяются исходные технические требования и планируются научно-исследовательские, опытно-конструкторские, проектные и монтажно-наладочные работы по срокам исполнения и организациям-исполнителям.

На стадии **технического проектирования** разрабатываются основные технические решения по созданию информационного и специального математического обеспечения связи средств автоматизации управления и механизации технологических операций, достаточных для создания рабочего проекта.

Созданием **рабочего проекта** завершается проектирование систем автоматизации производственных процессов.

На стадиях **опытного внедрения** и **промышленной эксплуатации** системы автоматизации производится:

- выполнение строительных, монтажных и наладочных работ;
- опытная эксплуатация и доработка системы по её результатам;
- приемно-сдаточные испытания по вводу системы в промышленную эксплуатацию;
- анализ функционирования системы с определением фактической экономической эффективности и предложений по ее совершенствованию.

В процессе проектирования применяют структурные, функциональные, алгоритмические, принципиальные и монтажные схемы.

Структурной схемой называют схему, определяющую основные части системы автоматизации и их взаимосвязи.

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.









Алгоритмическая схема (схема алгоритма) отображает последовательность действий в процессе решения задачи.

Принципиальная схема определяет полный состав элементов системы и связей между ними.

Монтажные схемы определяют соединения элементов системы автоматизации: провода, жгуты, кабели, зажимы, разъемы и другие — и показывают места их присоединения и ввода.

На функциональных схемах технологических процессов римскими цифрами обозначают *оборудование*, арабскими - *средства автоматизации*, которые показывают с помощью упрощенных условных обозначений (см. таблицу 5.1).

Таблица 5.1 — Некоторые условные обозначения приборов и средств автоматизации

Наименование и функции	Обозначение
Первичный измерительный преобразователь (датчик), прибор, устанавливаемый по месту	
Прибор, устанавливаемый на щите	
Исполнительный механизм:	
общее обозначение (положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала не регламентируется)	
Линия связи (электрический провод, трубопровод)	
Пересечение линий связи:	
без соединения друг с другом	
с соединением между собой	

Буквенные обозначения элементов автоматизации делятся на основные и дополнительные. Основные обозначения измеряемых величин и функций 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 применяются для указания функциональных признаков элементов автоматизации.

При построении условного буквенного обозначения прибора используется позиционный принцип (рис. 5.1).

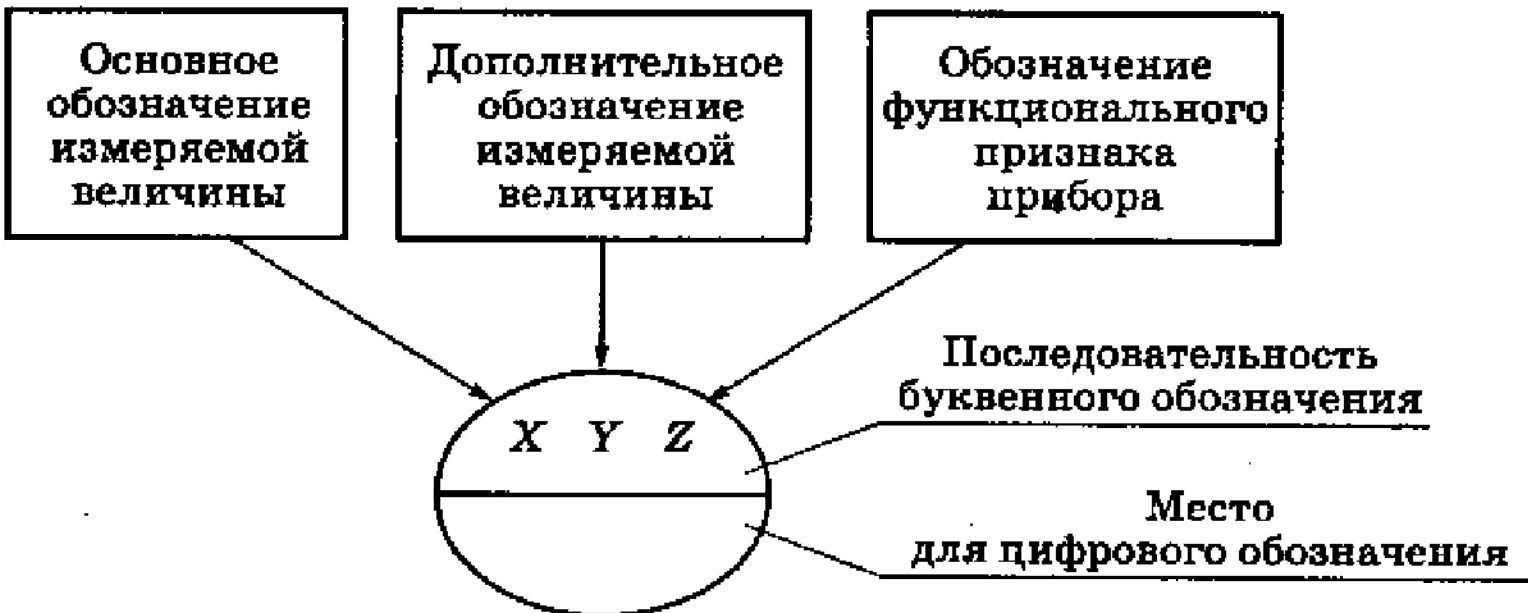


Рисунок 5.1

Таблица 5.2 — 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

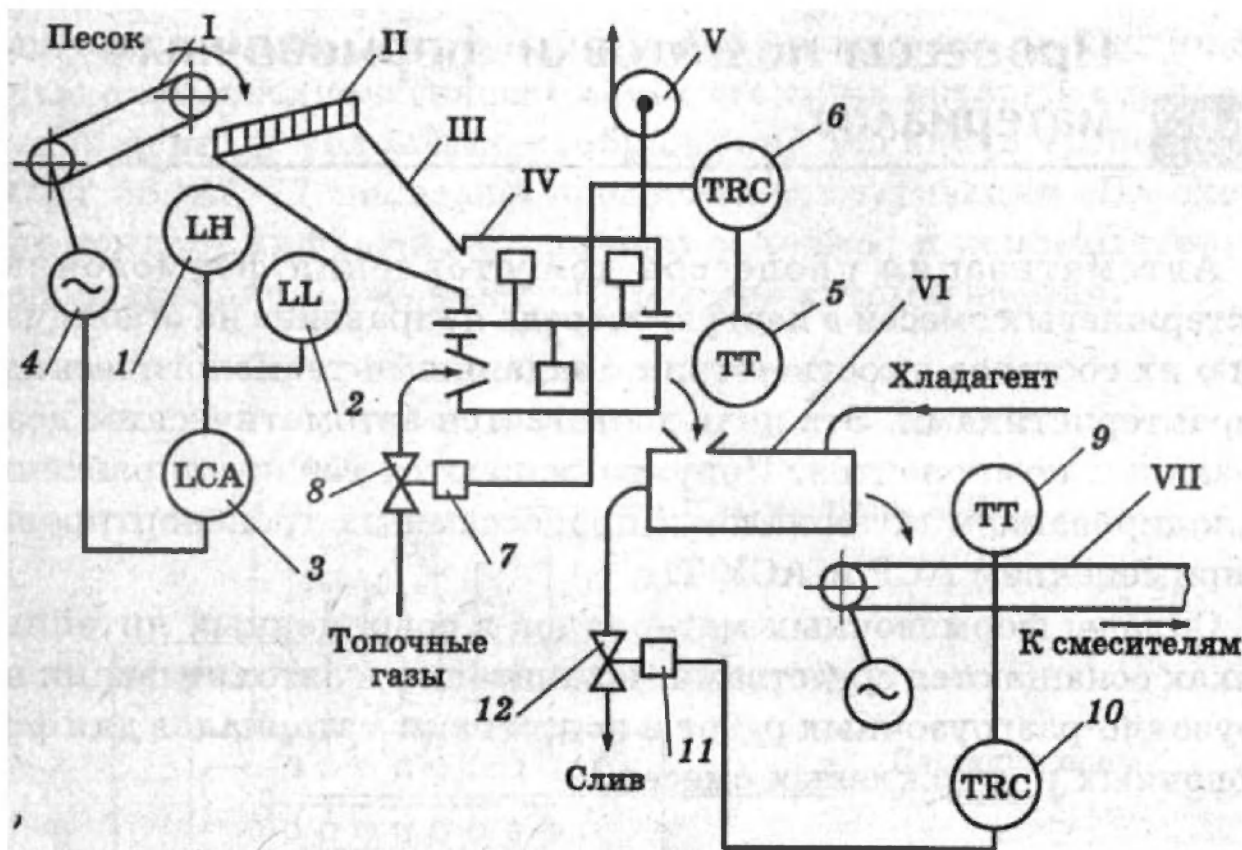
Таблица 5.3 — Дополнительные буквенные обозначения функциональных признаков элементов автоматизации

Наименование	Обозначение
<p>Приборы автоматики:</p> <p>чувствительный элемент, выполняющий первичное преобразование сигнала(физической величины)</p> <p>приборы с дистанционной передачей сигнала</p> <p>станция управления для выбора вида управления (автоматическое, ручное и т.п.) и дистанционного управления</p>	<p>E</p> <p>T</p> <p>K</p>
<p>Род энергии сигнала:</p> <p>электрический</p> <p>пневматический</p> <p>гидравлический</p>	<p>E</p> <p>P</p> <p>G</p>
<p>Связь с вычислительным комплексом:</p> <p>передача сигнала на ЭВМ</p> <p>вывод информации с ЭВМ</p>	<p>B_i</p> <p>B₀</p>

5.2 Процессы подготовки формовочных материалов

5.2.1 Автоматизация процесса подготовки песка

Основное и вспомогательное оборудование автоматизированной поточной линии подготовки формовочного песка (рис 5.2): 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.

Рисунок 5.2

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 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

Основное и вспомогательное оборудование поточной линии (рис. 5.3): ленточные конвейеры I, IV, IX, барабанное сито II, воронка III, дробилка V, охладитель VI, вибрационное сито VII и центробежный воздушный сепаратор VIII.

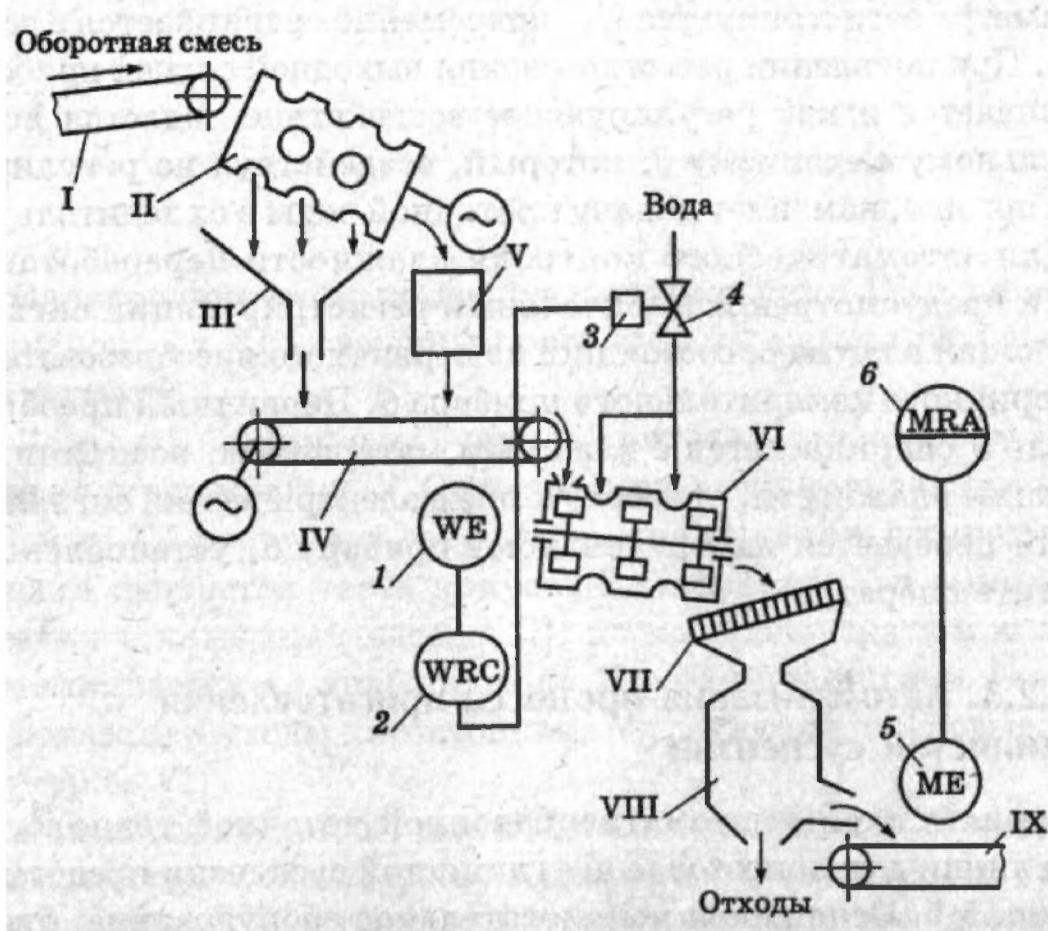


Рисунок 5.3

Электродвигатели приводов сит II и VII, дробилки V, охладителя VI и ленточных конвейеров постоянно включены и режимы их работы не изменяются. Обратная смесь из-под выбивных решеток, предварительно подвергнутая магнитной сепарации, 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. 119

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

Основное и вспомогательное оборудование (рис. 5.4): 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.

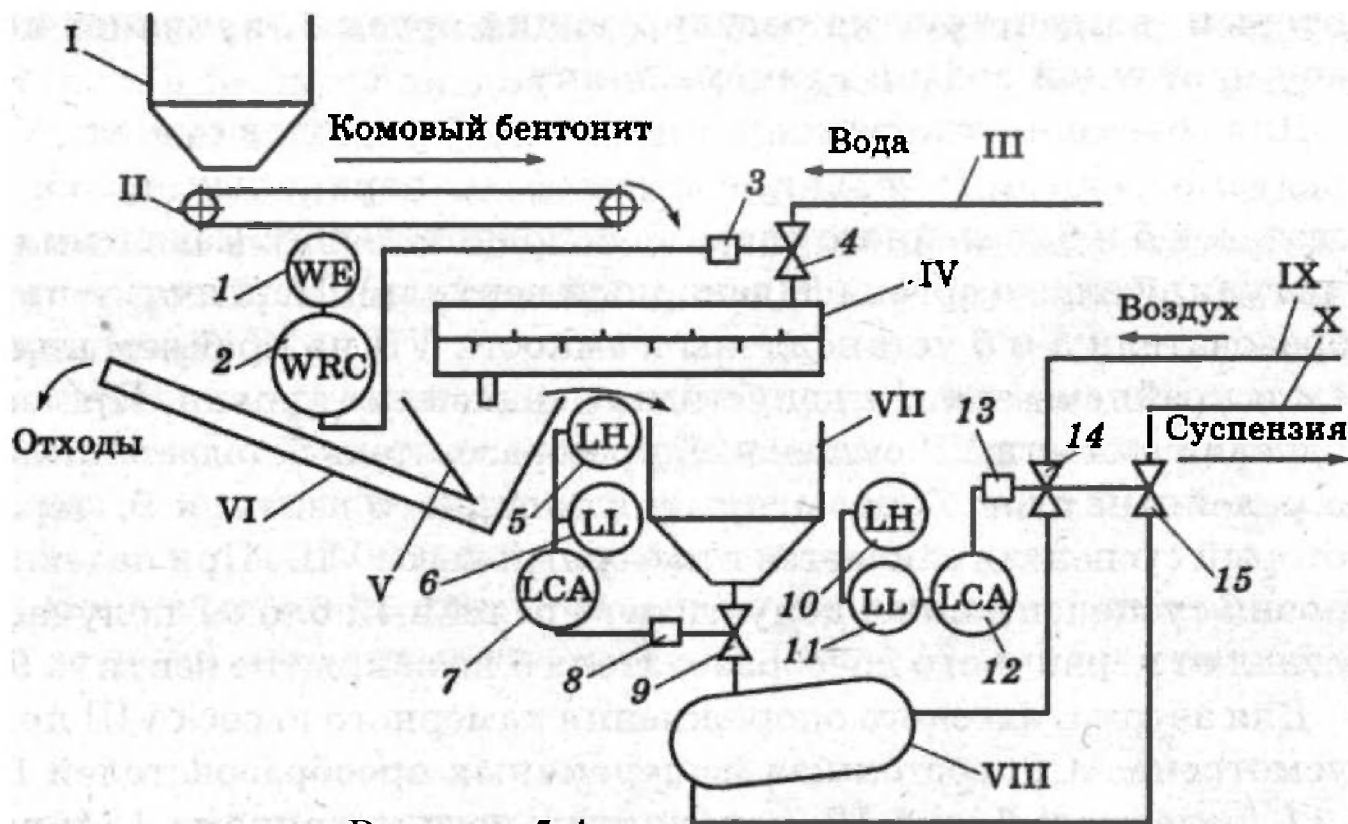


Рисунок 5.4

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 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 регулирующей 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 вентиль).

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 вентиля 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 вентиля 9.

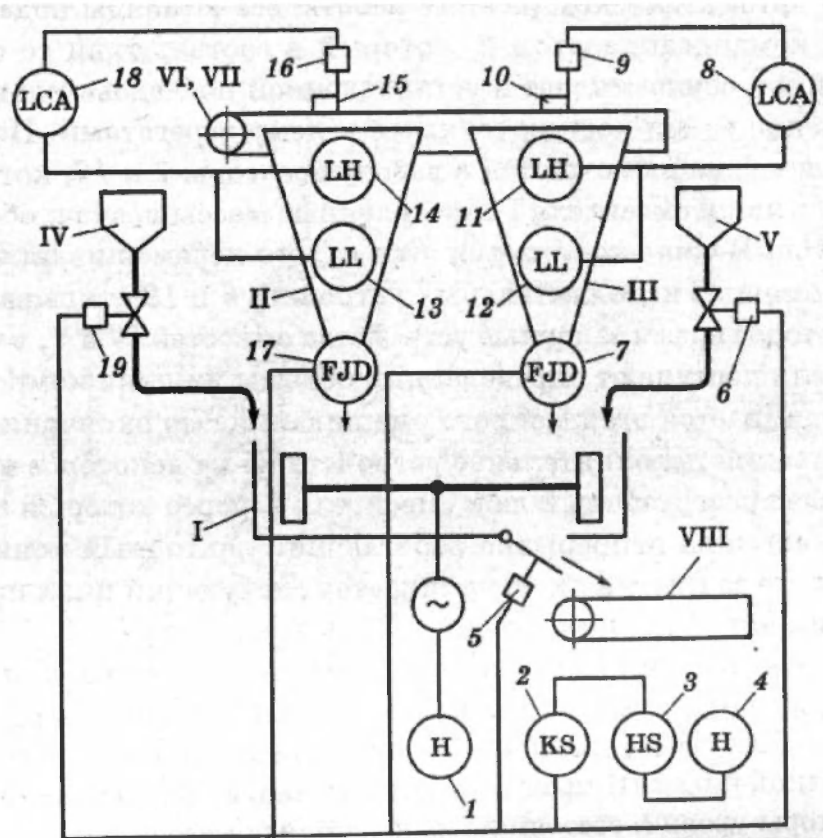
Для автоматического опорожнения камерного насоса VIII предусмотрена АСР, состоящая из первичных преобразователей 10 и 11 у релейного блока 12, исполнительного механизма 13 и регулирующих органов (запорные вентили) 14 и 15. Первичные преобразователи 10 и 11 установлены в камерном насосе VIII на крайнем 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 вентилей 14 и 15 исполнительным механизмом 13. Через вентиль 14 в камерный насос поступает сжатый воздух, с помощью которого суспензия подается в накопительную емкость на участок смесеприготовления. При снижении уровня ниже допустимого релейный блок 12 получает сигнал от первичного преобразователя 11 на закрытие вентилей 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.

5.3 Автоматизация смесеприготовительного оборудования

5.3.1 Автоматизация смесителя периодического действия

Технологическое оборудование включает (рис. 5.5): 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



готовой смеси. Для автоматического управления смесителем по заданной программе предназначен командный электрический прибор (командоаппарат) 2. 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.

Рисунок 5.5

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 смесителя предусмотрены отдельные автономные системы контроля и регулирования. Для своевременного пополнения бункеров II и 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

Технологическое оборудование включает (рис. 5.6): ленточный конвейер I, бункер II, питатель III, смеситель IV, конвейер V, емкость VI и насос VII.

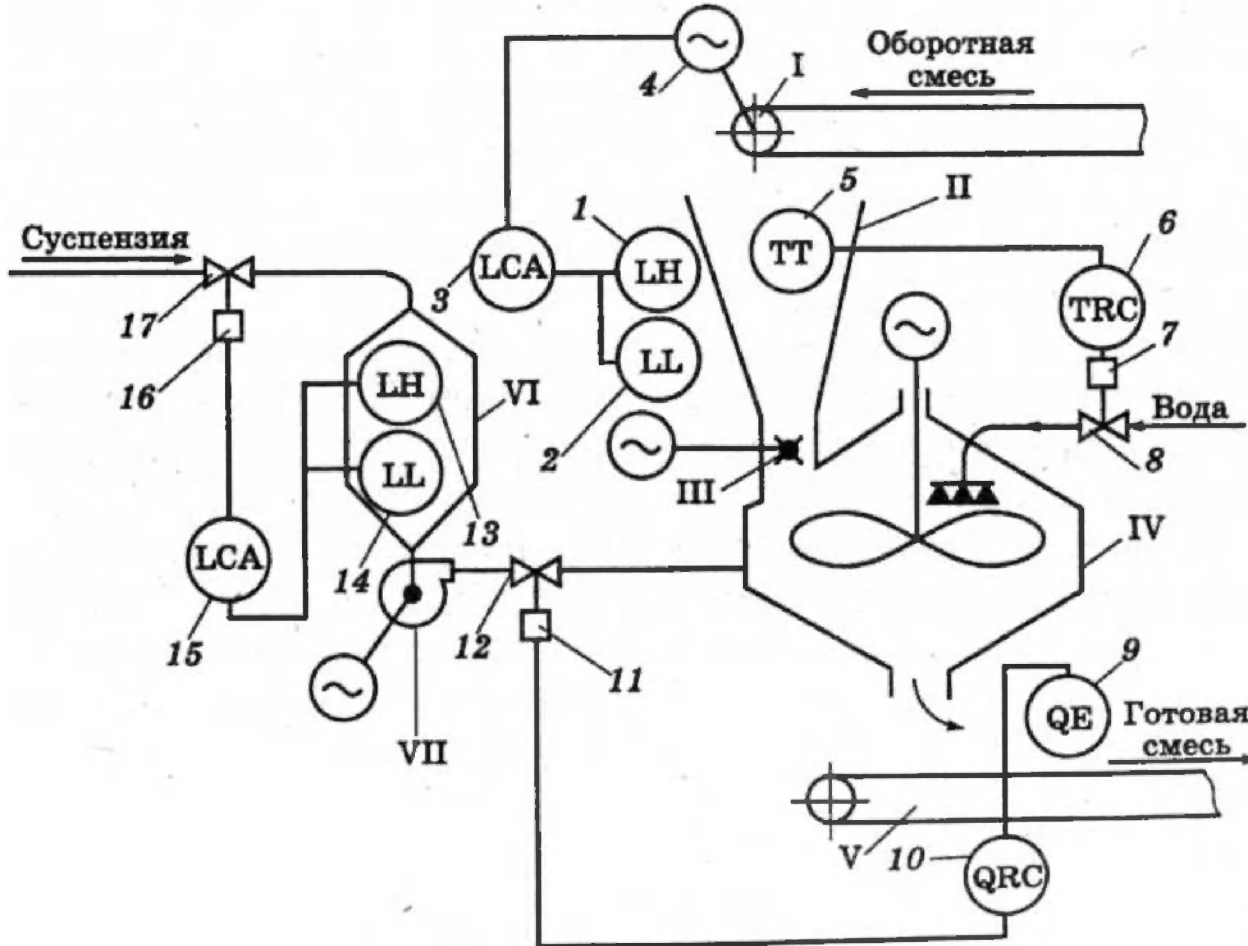


Рисунок 5.6

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 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 формуемости, 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

Технологическое оборудование включает (рис. 5.7) [9]: ленточный конвейер для транспортирования оборотной формовочной смеси I смеситель II, емкость 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 2 и 3 с электромагнитным приводом. В механизмах разгрузки смесителя II и весового дозатора VII применены пневмоцилиндры 5 и 7.

Управление установкой осуществляется с помощью программируемого контроллера и ПЭВМ, размещенных в шкафу управления 1. В качестве запорной арматуры использованы клапаны 2 и 3 с электромагнитным приводом. В механизмах разгрузки смесителя II и весового дозатора VII применены пневмоцилиндры 5 и 7.

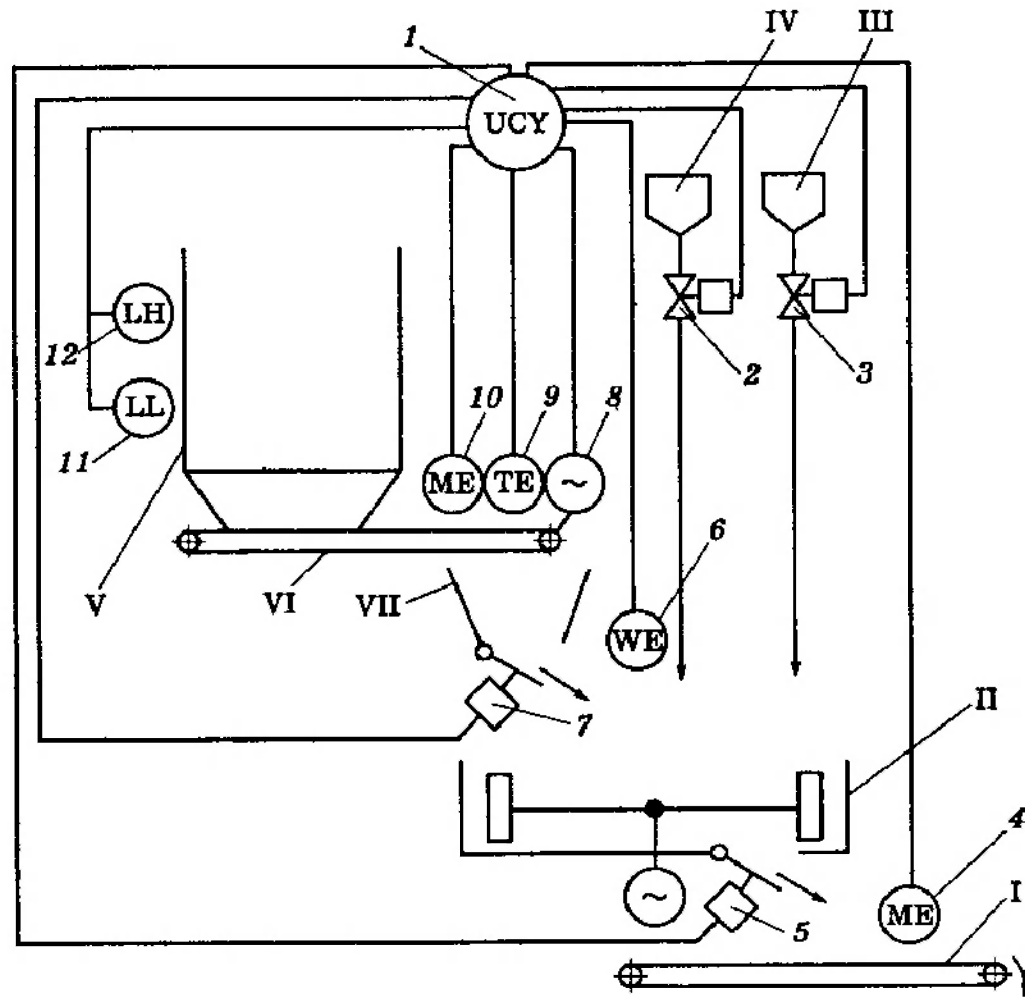


Рисунок 5.7

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

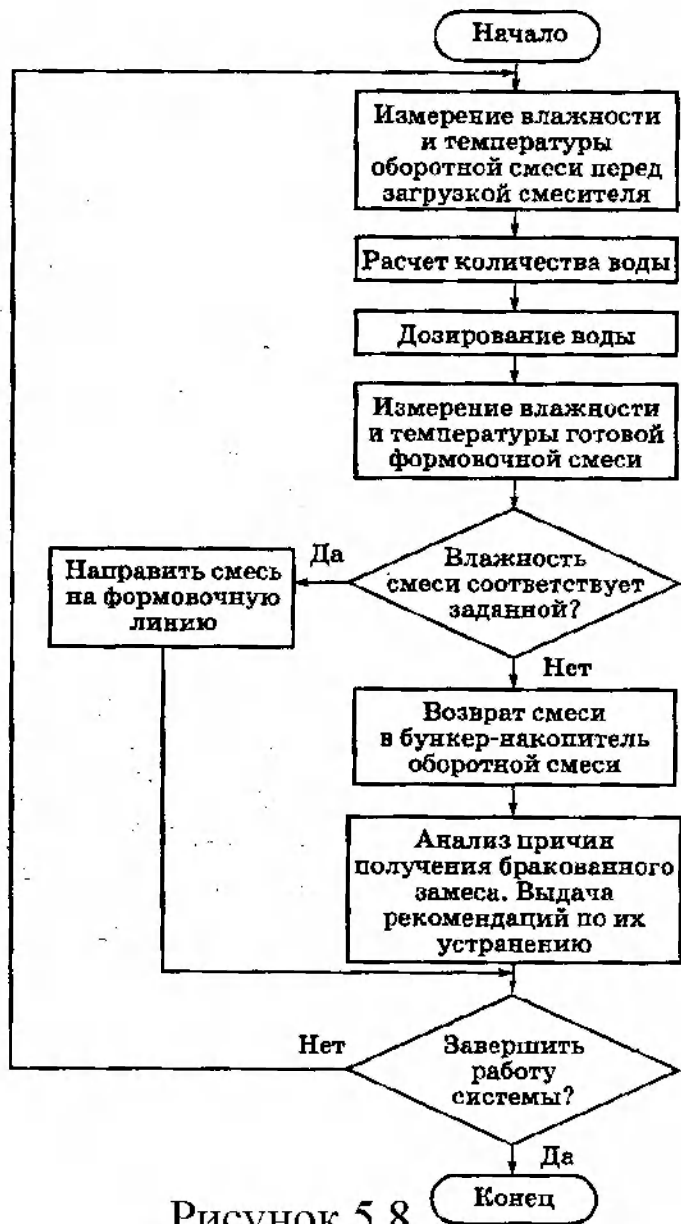


Рисунок 5.8

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. 5.8) предусматривает наличие трех взаимосвязанных между собой управляющих систем: измерение исходной влажности и температуры оборотной смеси с расчетом требуемого для замеса количества воды; управление системой подачи воды (либо глинистой суспензии) в смеситель; контроль влажности готовое смеси и управление процессом транспортирования смеси от смесителя до формовочной машины. Если влажность готовой смеси не соответствует требованиям технологической инструкции, то вырабатывается 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 Автоматизация формовочного и стержневого оборудования

5.4.1 Автоматизация прессовой формовочной машины

Основные элементы однопозиционной формовочной машины (рис. 5.9): неподвижная плита (стол) I, пресс-форма с моделью отливаемой детали II, бункер III, дозирующая задвижка IV, ленточные конвейеры V, VI, VII. Формовочную смесь засыпают в бункер III ленточным конвейером V.

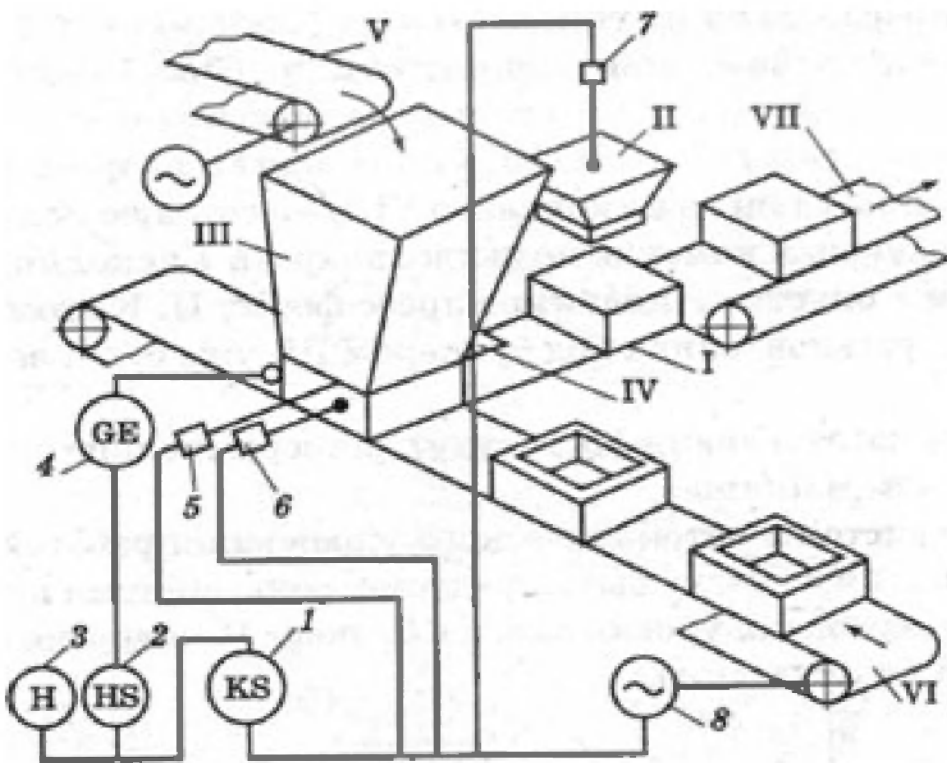


Рисунок 5.9

Опоки к машине подаются циклично действующим конвейером VI, а готовые полуформы передают на поточную линию конвейером VII.

Для автоматического управления машиной применен (командоаппарат) I. 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).

Система позволяет переходить с автоматического режима работы на ручное управление. Для выбора режима предусмотрены универсальный переключатель 2 и пульт управления 3.

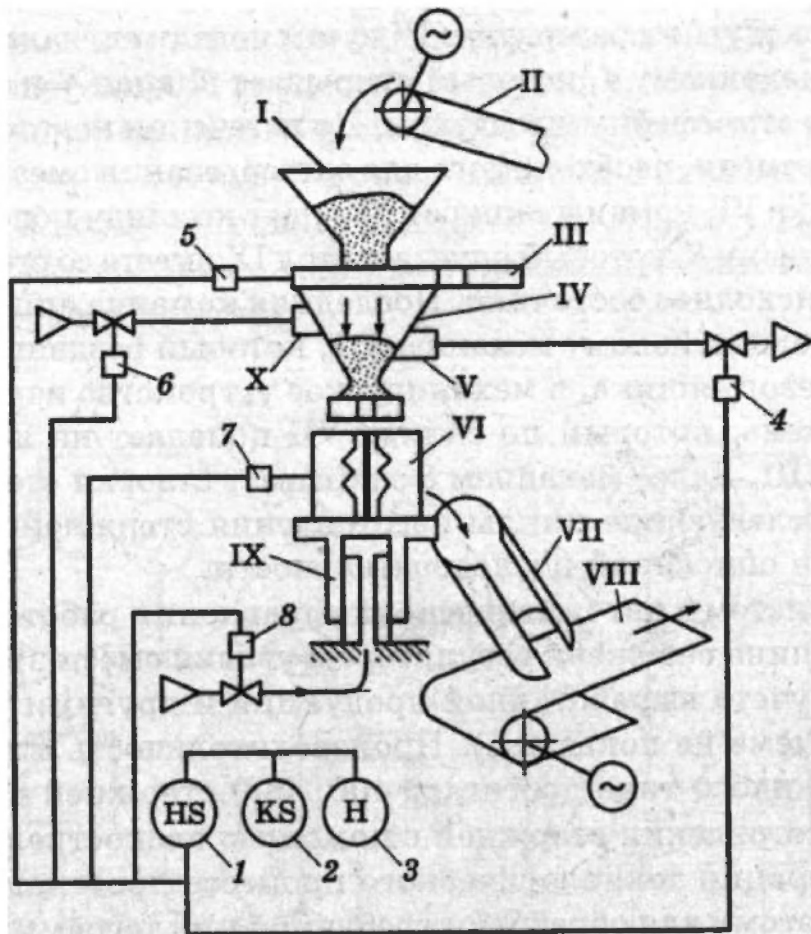
В автоматическом режиме работы при включенном ленточном конвейере VI опоки подаются под дозирующую задвижку IV до достижения фиксированного положения на столе машины. При этом опока вплотную подходит к толкателю конечного выключателя 4, который включает прибор 1. Первая команда прибора 1 — остановка на короткое время (на период операций с опокой на столе) двигателя 8 конвейера VI. 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 смесь 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.

5.4.2 Автоматизация стержневой машины

Основные элементы машины (рис. 5.10): бункер для стержневой смеси I, конвейер II для заполнения стержневой смесью бункера I, подвижный шибер-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 многоцепным командоаппаратом 2, контактная система которого для каждого вида стержня настраивается (программируется) заранее. Система предусматривает два вида управления: ручное и автоматическое.

Ручное (дистанционное) управление может быть осуществлено с помощью пульта управления 3. Для переключения в автоматический режим управления служит ключ 1.

Рисунок 5.10

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 IV. Следующая команда аппарата 2 приводит к срабатыванию исполнительного механизма 5 для дозирования по времени стержневой смеси при засыпке её в пескодувный резервуар из бункера I. 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. Пескодувная машина обычно снабжена регулятором уровня смеси в бункере I, средством учета выработанной продукции и другими устройствами (на схеме не показаны).

5.4.3 Автоматизация процесса сушки форм и стержней

Функциональная схема автоматизации сушильной камеры периодического действия, отапливаемой природным газом, показана на рис. 5.11.

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.

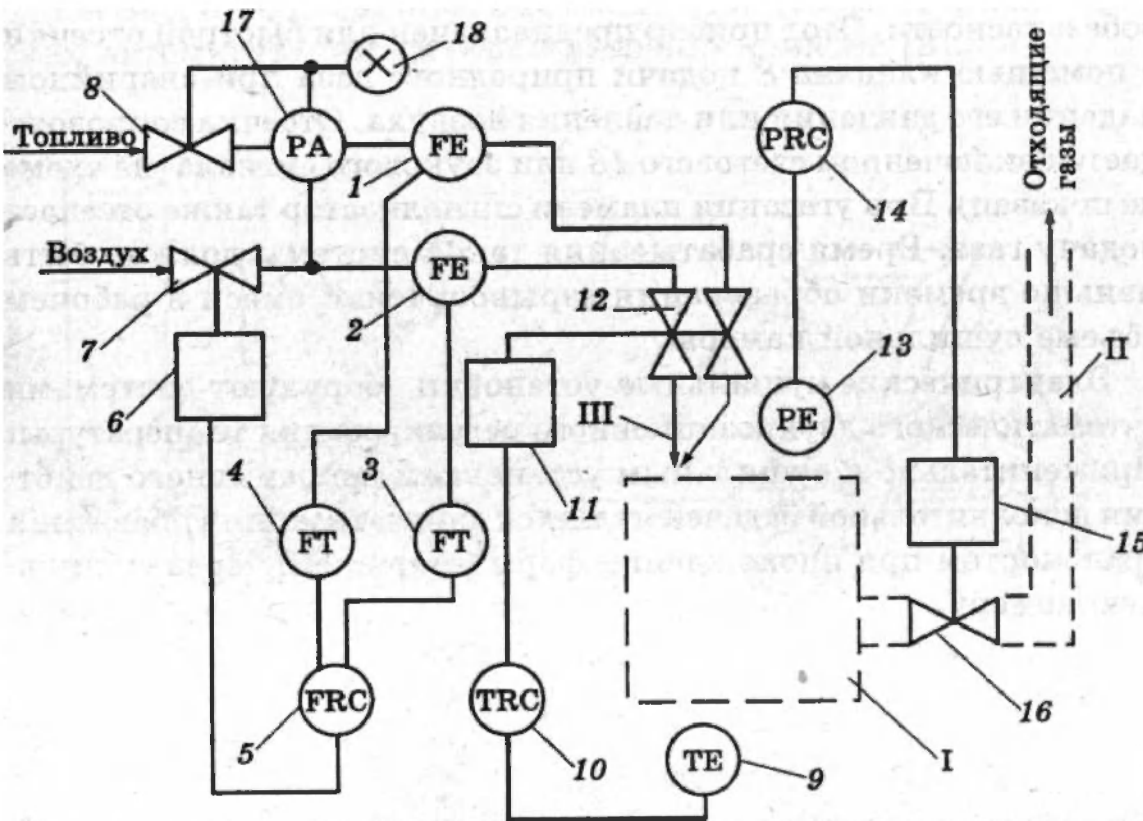


Рисунок 5.11

Изменение расхода воздуха пропорционально изменению расхода топлива. АСР процесса горения включает: диафрагмы 1 и 2 на соответственных топливо- и воздухопроводах, дифманометры 3 и 4, регулятор соотношения воздуха и топлива 5, исполнительный механизм 6 и регулирующий орган 7.

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 газовой 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 выбивающимися 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.

5.5 Автоматизация процессов плавки сплавов

5.5.1 Автоматизация процесса загрузки вагранки

Технологическое оборудование включает (рис. 5.12): 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.

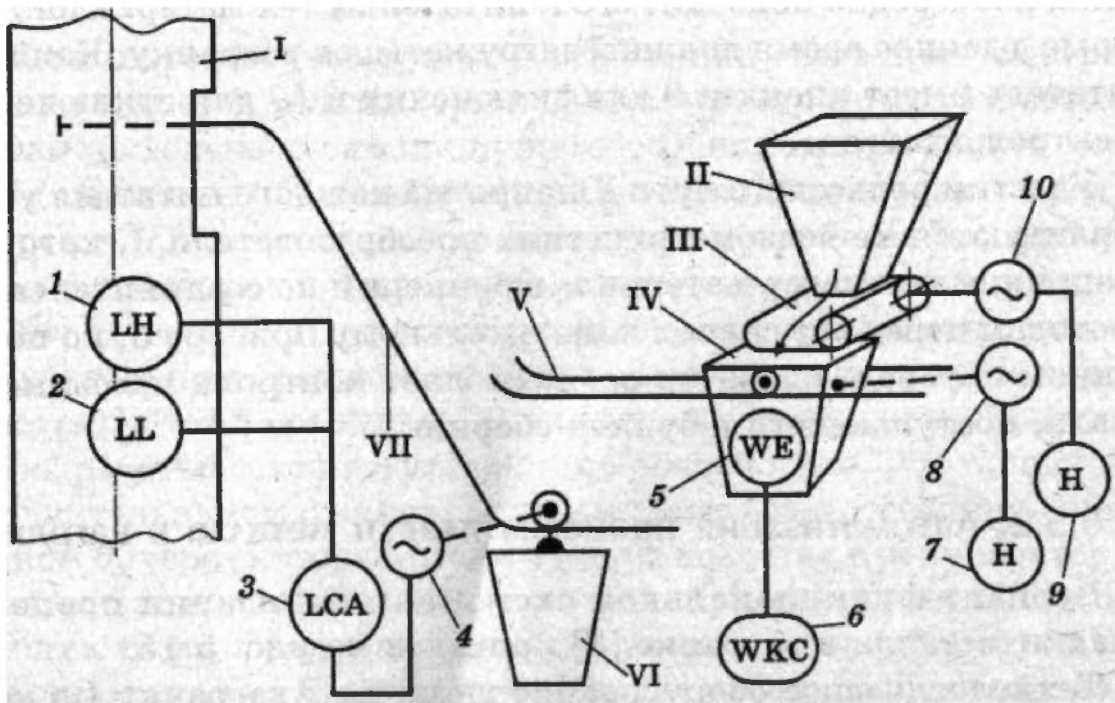


Рисунок 5.12

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

Технологическое оборудование включает (рис.5.13): вагранку I в комплекте с охлаждающей рубашкой II и фурменным поясом III, мокрый очиститель IV, радиационный V и конвекционный VI рекуператоры, дымосос VII, вентилятор VIII, копильник IX для слива расплава.

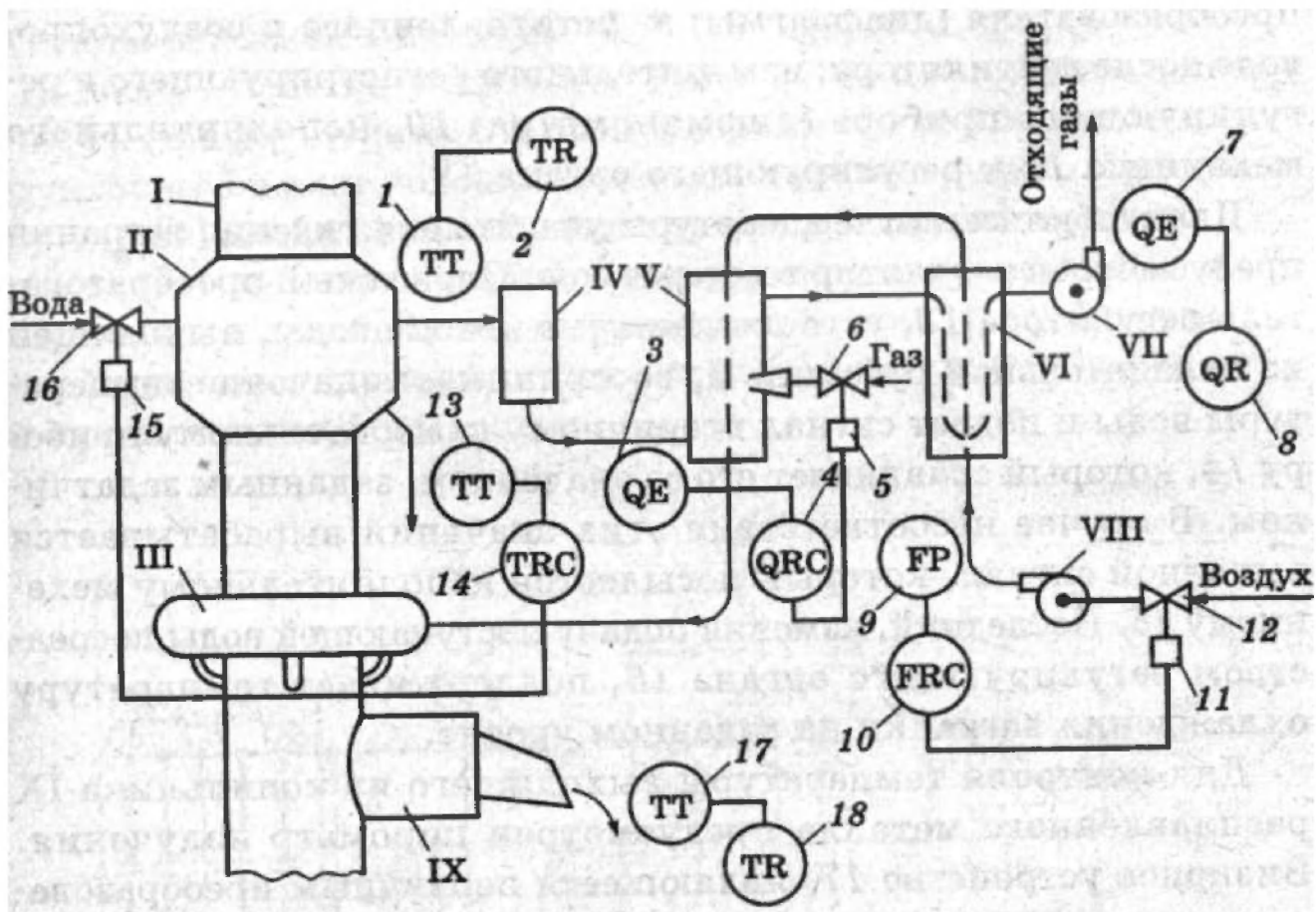


Рисунок 5.13

Для измерения температуры отходящих газов предусмотрен комплект, состоящий из термоэлектрического преобразователя 1 и измерительного самопишущего потенциометра 2. Для полного дожигания СО, содержащегося в отходящих газах, предусмотрена АСР, 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 СО.

Для контроля полноты дожигания СО в отходящих газах в радиационном рекуператоре предусмотрен газоанализатор СО₂. 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 копильника 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*.

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.

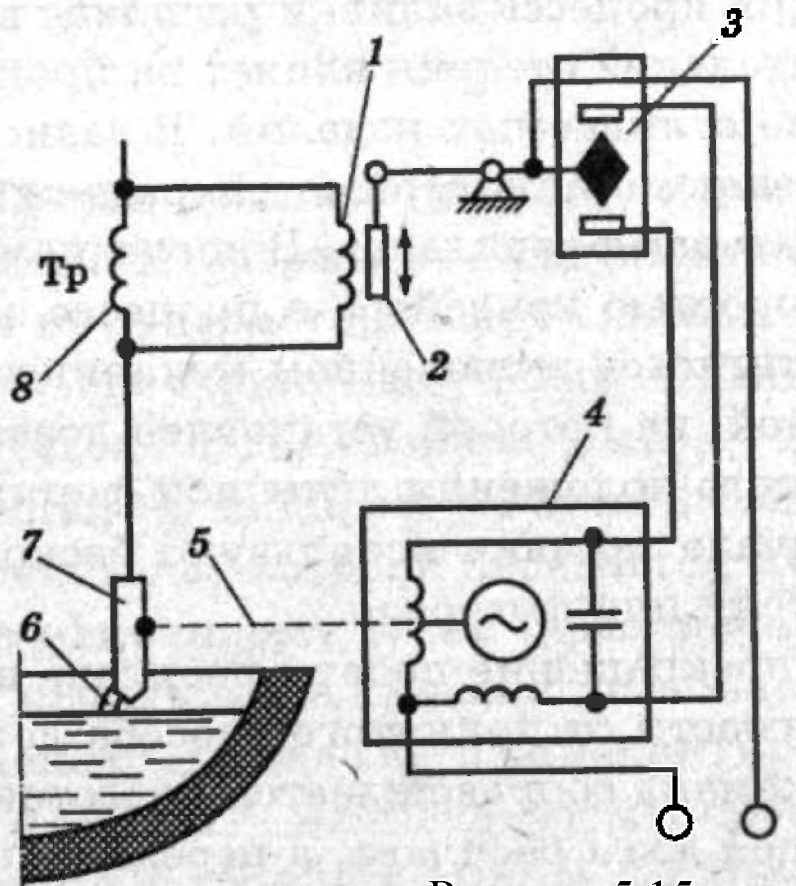
Оптимальное регулирование коэффициента мощности индукционных плавильных установок достигается компенсацией реактивной мощности индуктора путем параллельного подключения к нему емкостей $C1...C5$ конденсаторной батареи δ . Вводом соответствующего значения емкости, изменяющегося по ходу плавления шихты, достигают оптимальных условий работы печи при $\cos \varphi \rightarrow 0,98...1,00$.

Для контроля состояния тигля и изоляции индуктора используется источник постоянного тока ϑ , 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 δ .

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

В основу действия регулятора дуговой электропечи (рис. 5.15) положена 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

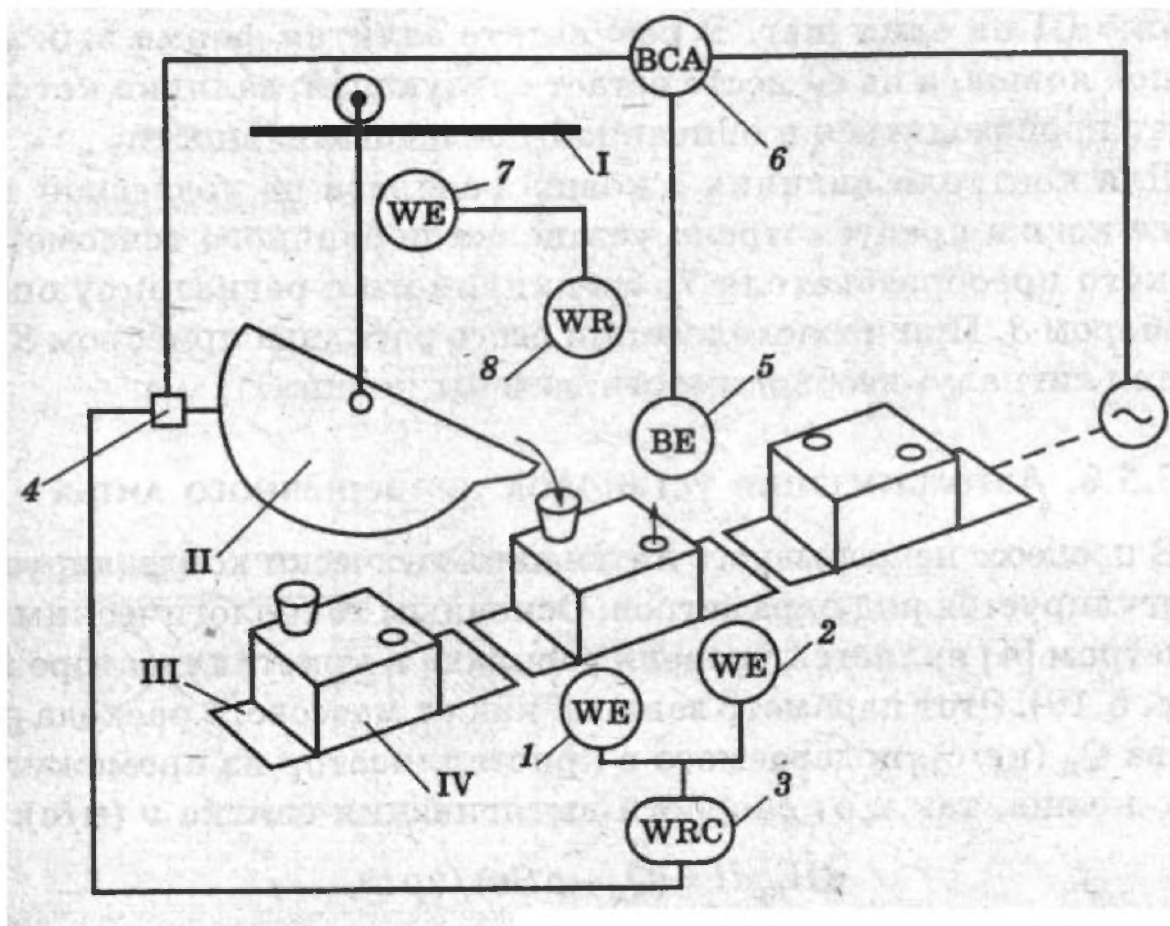


катушке 8 питающего трансформатора. Всякое изменение напряжения, вызванное внешними возмущениями, приводит к изменению положения сердечника 2 в магнитном поле катушки 1. Так как сердечник 2 кинематически связан с контактной системой поляризованного реле 3, подключенной к питающим обмоткам реверсивного 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.

Рисунок 5.15

5.6 Автоматизация процесса заполнения форм расплавом

Технологическое оборудование участка автоматической разливки включает (рис. 5.16): монорельсовый путь I, по которому периодически подаются разливочные ковши II; конвейерную линию III для подачи подготовленных к заливке форм IV.



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.

Рисунок 5.16

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. Фотоэлемент 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 S. При израсходовании всего расплава прибором 8 подается сигнал о необходимости замены ковша.

5.7 Автоматизация установок непрерывного литья

Основным технологическим параметром установок непрерывного литья является уровень расплава в кристаллизаторе $H_{кр}$ (рис. 5.17). 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):

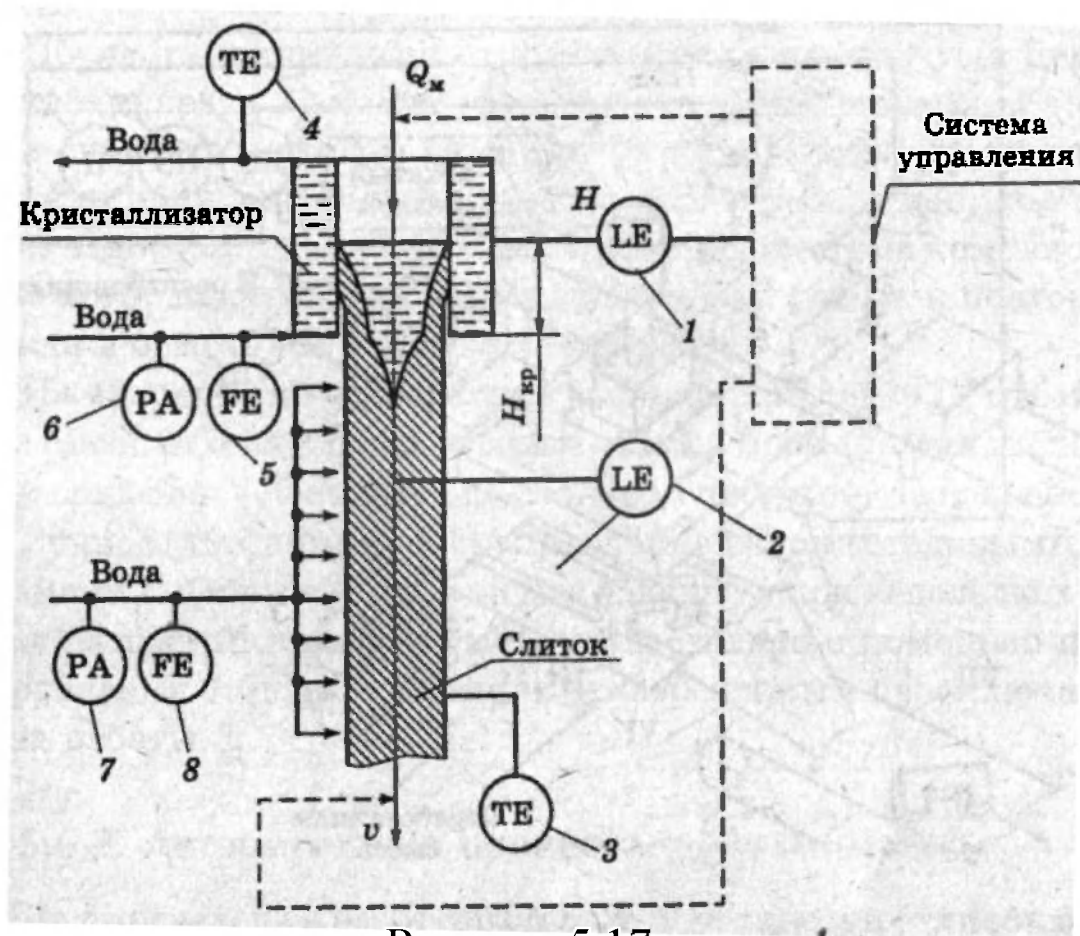


Рисунок 5.17

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.

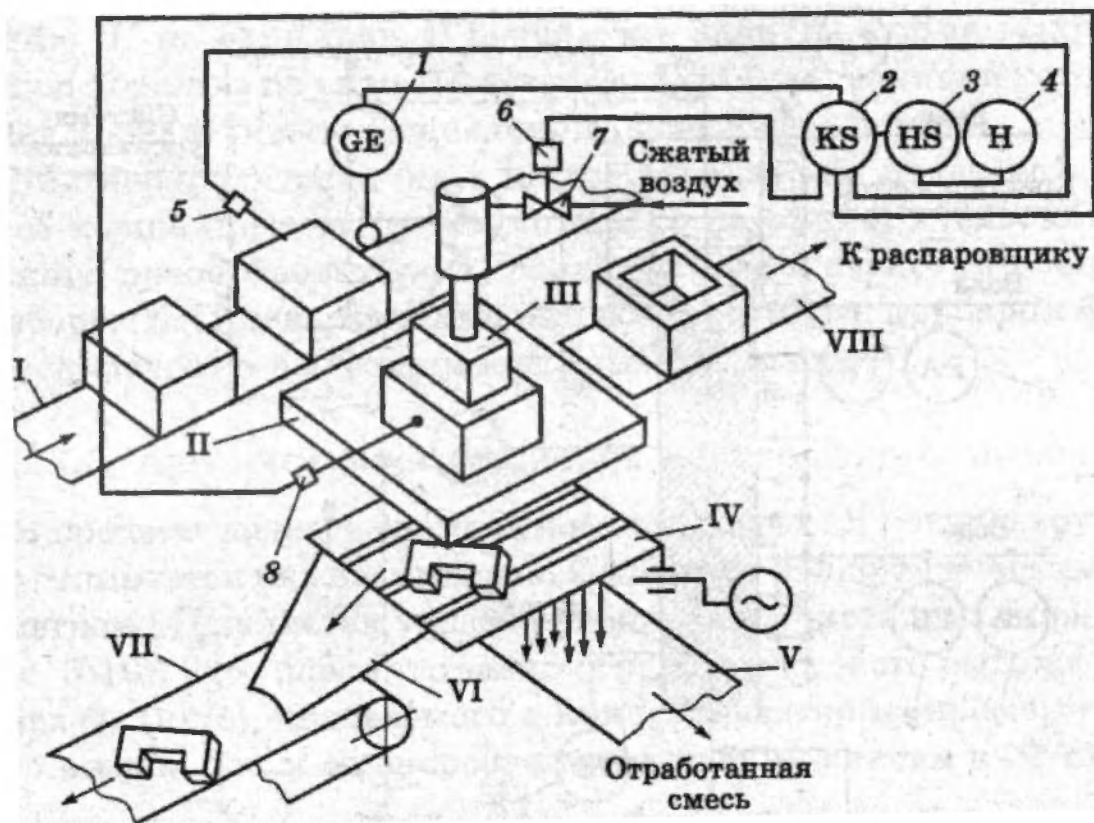
Температура воды на выходе из кристаллизатора контролируется термоэлектрическим термометром 4, давление воды, подаваемой в кристаллизатор и в зону вторичного охлаждения, — пружинными манометрами 6 и 7, расход воды через кристаллизатор и в зоне вторичного охлаждения — расходомерами 5 и 8.

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 быстрдействию управлении приводом вытягивания слитка.

5.8 Автоматизация процессов выбивки, очистки и зачистки отливок

5.8.1 Автоматизация безынерционной выбивной установки

Технологическое оборудование включает (рис. 5.18): конвейерную линию I для подачи форм к выбивному столу II, выжимной пресс III, 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,

Рисунок 5.18

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 б, 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 б 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.

5.8.2 Автоматизация процесса очистки отливок

Технологическое оборудование поточной механизированной линии очистки отливок включает (рис. 5.19): 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.

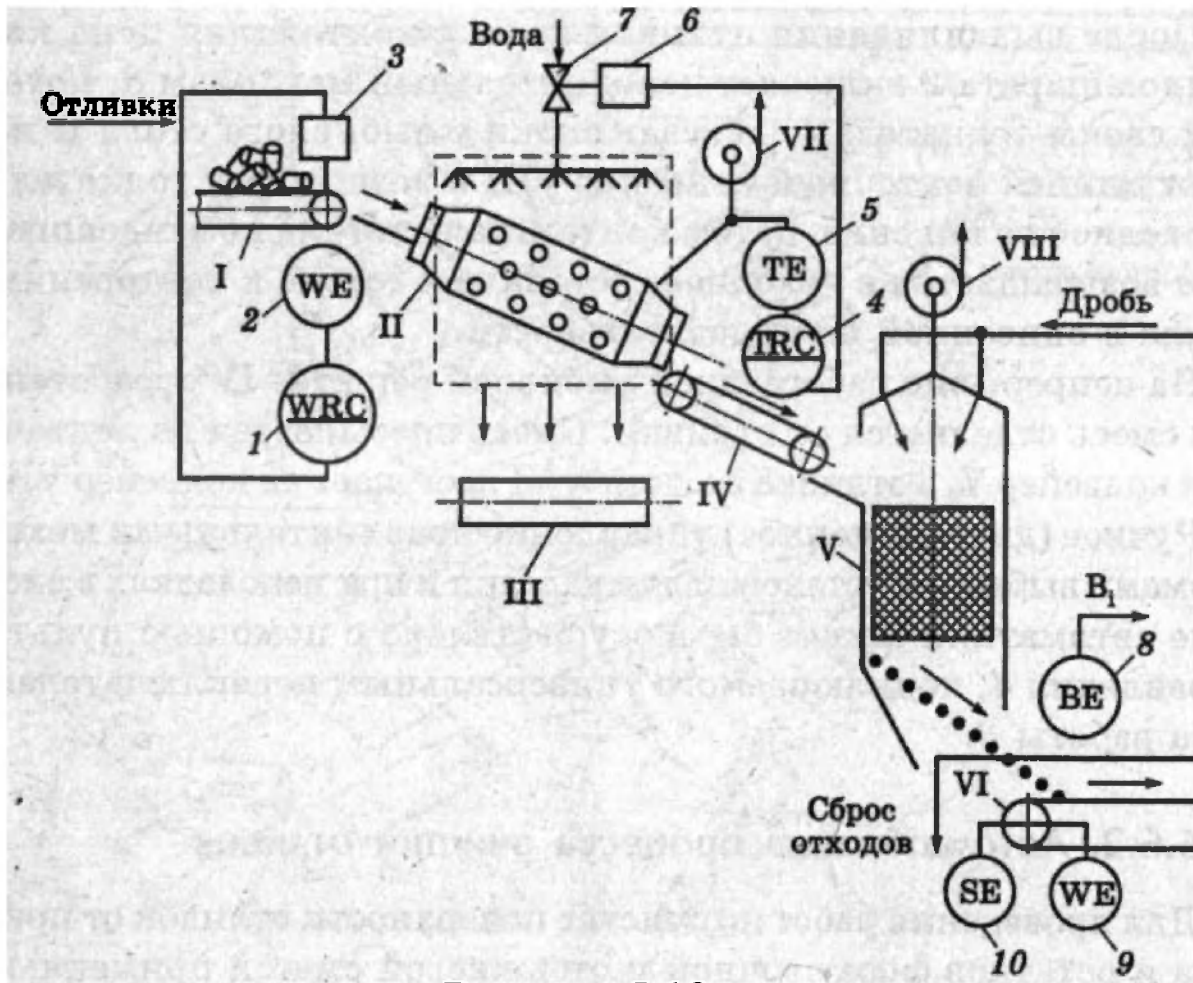


Рисунок 5.19

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 массы отливок на ленточный конвейер I и передает сигнал на вторичный измерительный прибор 1. При отклонении сигнала от заданного значения прибор 1 изменяет скорость привода 3 конвейера I.

Постоянная температура внутри галтовочного барабана поддерживается АСР, состоящей из термопары 4, электронного потенциометра 5, исполнительного механизма 6 и регулирующего органа (клапана) 7. При отклонении температуры от заданного значения (в связи с колебаниями температуры загружаемых отливок) выходное регулирующее устройство электронного потенциометра 5 с помощью исполнительного механизма 6 и клапана 7 изменяет подачу воды в галтовочный барабан.

Фотоэлектрический измерительный прибор 8 предназначен для контроля шероховатости поверхности отливок по интенсивности отражения направленного на отливки светового потока. Сигнал прибора V_1 может вводиться в АСУ ТП качества продукции и использоваться для автоматической сигнализации неполадок в работе оборудования.

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 гидropескоструйных агрегатах дополнительной задачей автоматизации является обеспечение вращения отливок при очистке их струей дроби или водопесчаной струей.

5.8.3 Автоматизация процесса зачистки отливок абразивными кругами

Технологическое оборудование поточной линии для обработки торцовых поверхностей цилиндрических отливок включает (рис. 5.20): 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 входят в зону между двумя вращающимися абразивными кругами наждачного станка V. Абразивная обработка обеспечивает требуемые размеры отливок по длине.

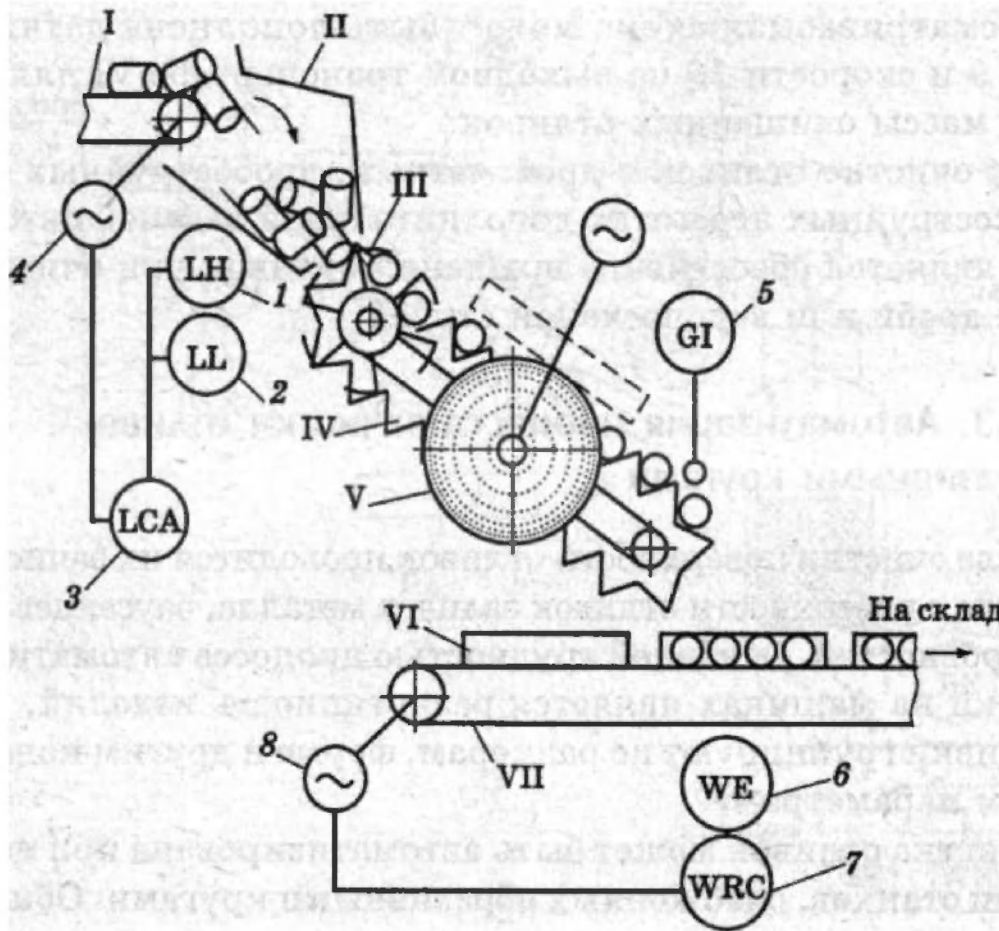


Рисунок 5.20

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 входят в зону между двумя вращающимися абразивными кругами наждачного станка V. Абразивная обработка обеспечивает требуемые размеры отливок по длине.

Выходящие из транспортера IV изделия укладываются в ящик VI, а после его заполнения конвейером VII передаются на склад готовой продукции. 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.

Для предотвращения переполнения бункера II отливками и поддержания их определенного уровня предусмотрена АСР 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 их обработке.

ЛИТЕРАТУРА

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. **Новиков, ВЛ.** Автоматизация литейного производства. -Ч. 1: Управление литейными процессами: учеб. пособие / В.П. Новиков. — М.: МГИУ, 2005.
6. **Беликов, О.А.** Приводы литейных машин / О.А. Беликов, Л.П. Каширцев. — М.: Машиностроение, 1971.
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.
9. **Кукуй, Д.М.** Автоматизация литейного производства: учеб. пособие / Д.М.Кукуй, В.Ф.Одиночко. — Минск: Новое знание, 2008.