

Донецкий национальный технический университет

Кафедра "Обогащение полезных ископаемых"

Конспект лекций

по дисциплине

"Основы автоматизации горного производства"

**для специальности 7.090302 "Обогащение полезных ископаемых"
(направление подготовки - "Переработка полезных ископаемых")**

Выписка из учебного плана

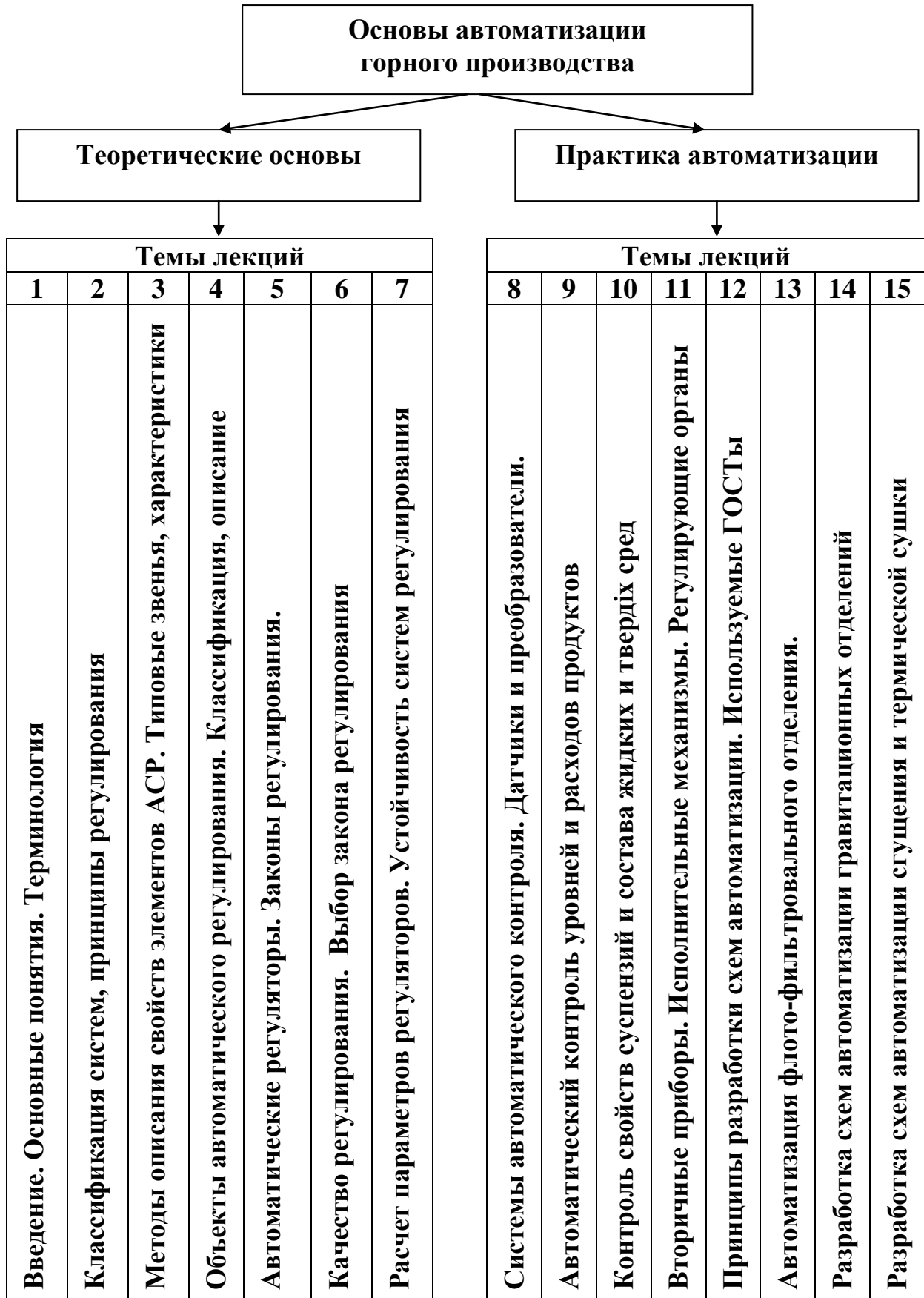
Се- мestr	Аудиторные			СРС	Итого по дисциплине	Вид контроля
	Лк	Лаб	Всего			
8	30	15	45	99	144	МК-1; МК-2

Лектор – Папушин Ю.Л.

Утверждено учебно-издательским
Советом ДонНТУ
Протокол № 5 от 20.10.07

2007г

Структура дисциплины



Лекция № 1

Введение. Основные понятия. Терминология

Вопросы, выносимые на лекцию:

Обогащительные фабрики как объекты автоматизации. Задачи автоматических систем контроля и автоматизации. Терминология и понятия автоматики. Локальные системы автоматического регулирования и их задачи. Понятие объектов автоматического регулирования. Структурные и функциональные схемы систем регулирования.

Введеие.

Под автоматизацией понимают комплекс организационных и технических мероприятий, обеспечивающих освобождение человека от непосредственного выполнения функций управления производственными процессами с передачей этих функций автоматическим устройствам, в состав которых входят системы автоматического контроля, регулирования, управления, сигнализации и защиты агрегатов и технологических установок.

Автоматизация на обогащительных фабриках, как и на других производствах, развивается от создания локальных автоматических систем регулирования (АСР) отдельных операций обогащительной технологии до создания автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и обогащительной фабрикой в целом.

Излагаются особенности и задачи автоматизации обогащительных фабрики

Основные понятия автоматики, терминология

Технологический процесс, как и режимы работы машин, характеризуются совокупностью физических или химических параметров, влияющих на эффективность процесса. В течение технологического процесса эти параметры не должны выходить за пределы заданных значений, которые определяются режимной картой процесса.

Задачей автоматизации в данном случае и является сведение к минимуму отклонения основных параметров процесса, влияющих на его ход, от требуемых значений.

В автоматизации различают **автоматизированные системы управления** технологическим процессом (АСУТП) и **автоматические системы регулирования** (АСР) некоторого фактора (параметра).

Автоматическим регулированием называют поддержание на заданном уровне некоторой физической (химической) величины, характеризующей процесс, или изменение ее по заданному закону.

Автоматическое управление – более широкое понятие, в этом случае осуществляется совокупность воздействий на процесс, выбранных из множества возможных.

Как правило, АСУТП (высший уровень управления) включает в себя ряд локальных АСР (нижний уровень), которые могут осуществлять:

- стабилизацию на заданном уровне некоторого параметра;
- изменение некоторой величины по заданному закону;
- экстремальное регулирование выходной величины процесса.

Линейными автоматическими системами называют такие системы, которые можно описать с достаточной точностью линейными уравнениями (алгебраическими, дифференциальными, уравнениями в конечных разностях и т. д.).

Нелинейные системы - автоматические системы, динамика которых описывается нелинейными уравнениями. Большинство автоматических систем являются нелинейными. Однако во многих случаях, особенно в системах с обратными связями при малых отклонениях, нелинейности оказывают несущественное влияние, и такие системы можно считать линейными.

Объект управления (регулирования) — это совокупность технических средств (машин, аппаратов, устройств), которая нуждается в оказании специально организованных воздействий извне для достижения поставленной цели управления.

Регулируемая (выходная) величина – физический параметр, который целенаправленно изменяется или сохраняется постоянным в процессе управления. Условимся обозначать данный параметр через $Y(t)$.

Входная величина объекта регулирования (канал управления) – физическая величина на входе объекта регулирования, значение которой влияет на регулируемую величину объекта. Этот параметр будем обозначать как $X(t)$.

Текущее значение регулируемой величины (Y_t) – абсолютное значение параметра в данный момент времени.

Заданное значение регулируемой величины (Y_3) – абсолютное значение выходного параметра, которое является целью управления данным объектом.

Воздействием в автоматике принято называть взаимодействие между автоматической системой (а также между ее частями) и внешней средой.

Возмущающее воздействие (возмущение, Z_B) – физический или химический параметр, воздействующий на объект регулирования и вызывающий отклонение регулируемой величины.

Автоматический регулятор – устройство, вырабатывающее управляющий сигнал для изменения (регулирования) выходного параметра.

Исполнительный механизм – электрический, пневматический или гидравлический привод, вырабатывающий управляющее воздействие, которое через регулирующий орган воздействует на канал управления объекта регулирования и изменяет его состояние.

Регулирующий орган – технологический элемент, расположенный, как правило, непосредственно на объекте регулирования, служит для изменения входной физической величины, влияющей на регулируемый параметр.

Управляющее воздействие ($\mu(t)$) – это перемещение рабочего элемента регулирующего органа, что вызывает изменение входной величины объекта регулирования.

Обратная связь – любой элемент автоматики, передающий сигнал (информацию) с выхода какого либо объекта на его вход. Если сигнал обратной связи имеет тот же знак, что и знак сигнала основной цепи, то обратная связь называется *положительной*. При противоположном знаке сигнала обратной связи она именуется *отрицательной*.

Сигнал рассогласования ($\Delta(y)$) – векторная разница между текущим значением параметром и заданным. Данный сигнал обычно поступает на вход регулирующего устройства.

Переходной процесс – аналитическое или графическое представление поведения регулируемой величины при поступлении на вход ступенчатого задающего либо возмущающего воздействия.

Устойчивость АСР – способность АСР не допускать бесконечного отклонения регулируемой величины от заданного значения при любом реальном возмущении на систему.

Вид переходного процесса и устойчивость характеризуют качество работы АСР.

Для пояснения идеи устройства и принципа действия автоматических систем применяют функциональные и структурные схемы.

Функциональная схема, или блок-схема, составляется из функциональных блоков, которые представляют собой конструктивно обособленные части (элементы или устройства) автоматических систем, выполняющие определенные функции. Функциональные блоки на схеме обозначают прямоугольниками, внутри которых надписывают их наименование в соответствии с выполняемыми функциями.

Функциональные схемы могут представляться в укрупненном виде (рис. 1.2) и развернутом.

Из схемы видно, что регулятор выполняет функцию обратной связи (сигнал с выхода объекта поступает на его вход). Обратная связь,

образованная регулятором, обычно называется главной обратной связью (ГОС).



Рис. 1.2 Укрупненная функциональная схема АСР

Структурная схема – это совокупность элементарных звеньев и связей между ними. Под элементарным звеном понимают часть системы управления, которая реализует элементарную функцию. Элементарные звенья изображаются прямоугольниками, а связи между ними – сплошными линиями со стрелками, показывающими направление действия звена. Иногда в поле прямоугольника вписывают математическое представление закона преобразования сигнала в звене, в этом случае схема иногда именуется *алгоритмической*.

Контрольные вопросы

1. Какими особенностями характеризуется процесс автоматизации обогатительных фабрик.
2. Выполните анализ обогатительного производства как объекта автоматизации.
3. Перечислите задачи, решаемые при автоматизации обогатительных фабрик.
4. Дайте характеристику системы АСУТП и АСР.
5. Разъясните понятие объекта управления, привести примеры.
6. Дайте определение понятиям: регулируемая величина, канал управления, текущее и заданное значение выходной величины.
7. Приведите основные виды воздействий в АСР, дайте характеристику.
8. Охарактеризуйте элементы АСР: автоматический регулятор, исполнительный механизм, регулирующий орган.
9. Виды обратной связи, понятие.

10. Дайте характеристику структурным и функциональным схемам систем автоматического регулирования.

Литература к теме: [1], [2], [4]

Лекция № 2

Классификация систем и принципы автоматического регулирования

Вопросы, выносимые на лекцию:

Классификация систем. Системы стабилизации, слежения, программные, экстремальные. Принципы регулирования – по отклонению, возмущению. Комбинированные и адапционные АСР. Функциональные схемы реализации.

Автоматические системы можно классифицировать по многим признакам: по назначению, по характеру управляемых величин; по виду используемой для управления энергии и т. п.

По характеру изменения задающего воздействия $x_g(t)$ автоматические системы разделяют на три типа: системы стабилизации, программные системы и следящие системы.

Система стабилизации — автоматическая система, предназначенная для поддержания с заданной точностью постоянного значения управляемой величины.

Программная система — автоматическая система, задача которой заключается в изменении управляемой величины по заранее составленной программе.

Следящая система — автоматическая система, задача которой заключается в изменении управляемой величины в соответствии с заранее неизвестной функцией времени.

Система экстремального регулирования – оптимизирующая автоматическая система, предназначенная для поиска и поддержание координат входных параметров объекта, определяющих экстремальное значение выходной величины.

Принципы регулирования. Принцип регулирования по отклонению, принцип регулирования по возмущению, принцип комбинированного регулирования и принцип адаптации.

Принцип регулирования по отклонению.

Если в автоматической системе управляющее воздействие вырабатывается на основе информации об отклонении регулируемой величины от заданного значения, то говорят, что система построена на основе регулирования по отклонению.

Для реализации этого принципа в регулирующем устройстве необходимо осуществлять сравнение действительного значения регулируемой величины с заданным (предписанным) значением и управлять объектом в зависимости от результатов этого сравнения.

В качестве примера рассмотрена АСР по отклонению, приведенная на рис. 2.1.

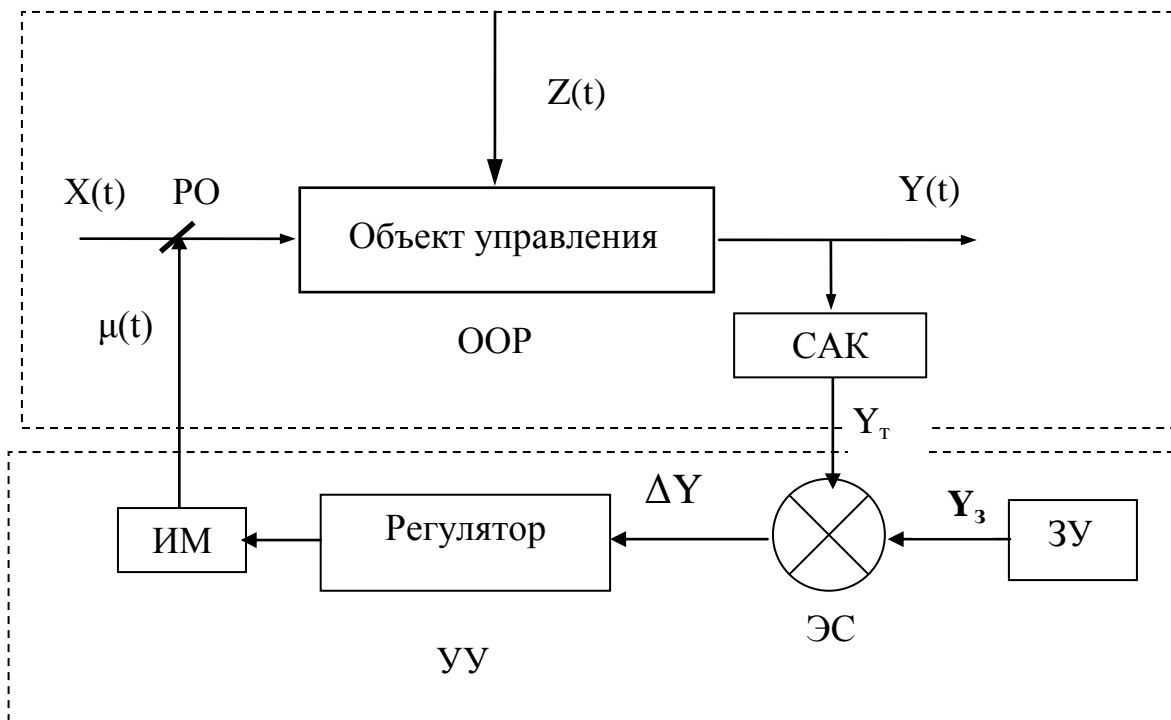


Рис. 2.1 Функциональная схема АСР по отклонению.

ООР - обобщенный объект регулирования, УУ - управляющее устройство, $X(t)$ - входной параметр объекта, $Y(t)$ - выходной (регулируемый) параметр, $Z(t)$ - возмущающее воздействие, Y_T , Y_3 - текущее и заданное значение параметра, соответственно, ΔY - сигнал рассогласования, $\mu(t)$ - управляющее воздействие, САК - система автоматического контроля, ЗУ - задающее устройство, ЭС - элемент сравнения, ИМ - исполнительный механизм, РО - регулирующий орган.

Характерной чертой автоматических систем, построенных на основе принципа управления по отклонению, является наличие контроля регулируемой величины и главной обратной связи (ГОС). Обратная связь в данном случае образована управляющим устройством.

Принцип регулирования по возмущению

Принцип управления по возмущению, или принцип компенсации возмущений, состоит в том, что управляющее воздействие в системе вырабатывается в зависимости от результатов измерения возмущения, действующего на объект. Другими словами в данных системах управляющее воздействие является функцией возмущающего воздействия.

Пример реализации АСР по возмущению показан на рис. 2.2

Основное достоинство систем по возмущению - высокое быстродействие цепей компенсации, так как система реагирует непосредственно на

причину, а не на следствие, т.е. регулятор начинает работать в момент возникновения возмущения на входе в объект управления

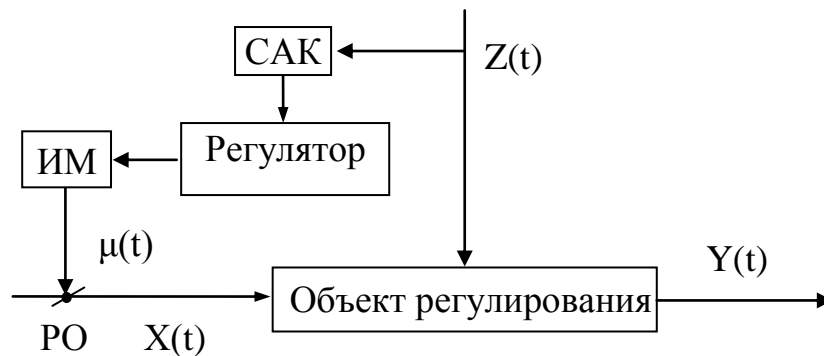


Рис. 2.2 Функциональная схема АСР по возмущению.

Принцип комбинированного регулирования

Современные автоматические системы высокой точности обычно строят на основе принципа комбинированного управления, сочетающего в себе принципы управления по отклонению и по возмущению.

Подобные системы рекомендуется применять для управления объектами, которые характеризуются наличием существенных возмущений, большой инерционностью и присутствием транспортного запаздывания.

Принцип адаптации

Отличительная особенность этого принципа – способность системы самонастраиваться при изменении характеристик объекта управления, свойств входного сигнала и действующих возмущений.

Контрольные вопросы

1. Приведите классификацию систем авторегулирования.
2. Охарактеризуйте стабилизирующую систему регулирования.
3. Раскройте понятия программной и следящей систем автоматического регулирования.
4. Укажите принципы регулирования.
5. Приведите функциональную схему системы регулирования по отклонению, объясните ее работу.
6. Каким образом формируется сигнал рассогласования в АСР по отклонению.
7. Функциональная схема АСР по возмущению и ее работа.
8. Охарактеризуйте комбинированные АСР и область их применения.
9. Каким образом реализуется принцип адаптационного регулирования.

Литература к теме: [1], [3], [7]

Лекция № 3

Методы описания свойств элементов автоматики. Типовые звенья АСР, характеристики

Вопросы, рассмотренные в лекции:

Математические характеристики элементов автоматики. Дифференциальные уравнения, передаточные функции, частотные характеристики. Понятия типовых звеньев систем регулирования и их характеристики. Типовые соединения звеньев.

Системы управления – это совокупность элементов, в которых происходят процессы различной физической природы. В системе одновременно могут иметься механические, электрические, пневматические и другие элементы, взаимодействующие между собой по соответствующим законам, при этом происходит преобразование одного вида энергии в другой.

Для расчета и исследований систем автоматического регулирования элементы системы должны быть представлены универсальными математическими характеристиками.

К ним относятся дифференциальные уравнения, передаточные функции, переходные функции (кривые разгона), частотные характеристики.

Дифференциальные уравнения. Для элемента (системы) с одним входным воздействием $x(t)$ и одной выходной величиной $y(t)$ линейное дифференциальное уравнение, описывающее его свойства, в общем виде представляется:

$$a_0 \frac{d^n y}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_n y = b_0 x + b_1 \frac{dx}{dt} + \dots + b_m \frac{d^m x}{dt^m} \quad (3.1)$$

Выражение (3.1) называют уравнением динамики или уравнением движения элемента во времени. Параметры уравнения (a_i и b_i) зависят от конструкции элементов, масс перемещающихся частей, объемов, емкости и т.д.

Если в уравнении (3.1) все производные приравнять нулю, то получим статическую характеристику элемента (системы):

$$y = f(x) \text{ или } y = kx, \text{ где } k = \frac{b_0}{a_n} \quad (3.2)$$

Расчет систем регулирования значительно упрощается, если использовать не дифференциальные уравнения элементов системы, а их передаточные функции.

Передаточная функция – это отношение выходной величины звена к входной при нулевых начальных условиях. При этом указанные величины выражены в операторной форме, т.е.

$$W(p) = Y(p) / X(p), \quad (3.3)$$

Любую временную функцию $y(t)$, $x(t)$ можно преобразовать в ее изображение $Y(p)$ и $X(p)$ в пространстве Лапласа, где все функции зависят не от t , а от переменной p . В пространстве Лапласа дифференцирование во времени, например, области $dy(t)/dt$ соответствует умножению на переменную p в пространстве Лапласа $-pY(p)$. Аналогично $d^2y(t)/dt^2 = p^2Y(p)$. В дальнейших математических преобразованиях оператор " p " рассматривается как алгебраический сомножитель, который можно выносить за скобки, сокращать и т.п.

Переходная функция. Математическое решение уравнения (3.1) описывает поведение выходной величины $y(t)$ при заданном законе изменения входной величины $x(t)$ и заданных начальных условиях. Среди множества решений большое практическое значение имеет ступенчатая переходная функция или **кривая разгона** – это реакция выходной величины элемента на ступенчатое единичное изменение входной $x=I(t-t_0)$ при нулевых начальных условиях (рис. 3.1). Кривую разгона часто снимают экспериментально на действующем объекте управления. Обработка кривой разгона позволяет оценить статические и динамические свойства объекта регулирования, получить передаточную функцию.

Частотные характеристики. Важной характеристикой динамических свойств элемента (системы) является его реакция на гармонические синусоидальные воздействия. Частотные характеристики получают путем замены переменной " p " в пространстве Лапласа на мнимую частоту $j\omega$, здесь $j = \sqrt{-1}$.

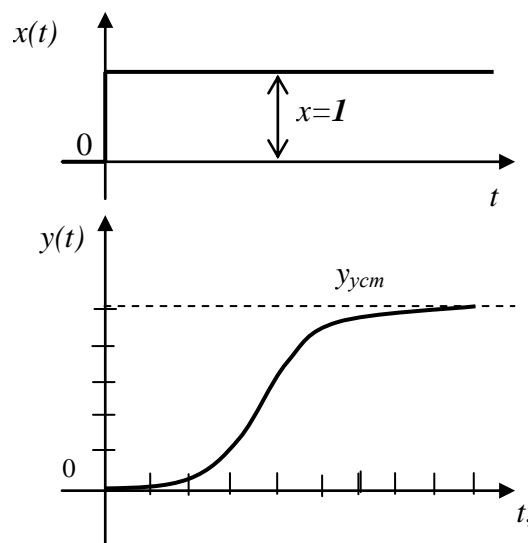


Рис. 3.1 Кривая разгона элемента автоматики

Типовые звенья систем регулирования

Несмотря на большое разнообразие элементов автоматики, можно выделить всего несколько типовых (элементарных) звеньев, с помощью которых представится возможным построение любых более сложных звеньев, встречающихся на практике.

Типовые звенья подразделяются на пропорциональные (усилительные), апериодические (инерционные), колебательные, интегрирующие, дифференцирующие и звено транспортного запаздывания.

Пропорциональное звено. Примерами может быть делитель напряжения, рычаг, механический редуктор, усилительный каскад и пр. Для этих звеньев справедлива пропорциональная зависимость между входной и выходной величиной:

$$y_{\text{вых}}(t) = kx_{\text{вх}}(t), \quad (3.4)$$

где k – коэффициент передачи (усиления).

Передаточная функция данного звена численно равна коэффициенту передачи:

$$W(p) = k \quad (3.5)$$

Пример пропорционального звена и его характеристики показан на рис. 3.2.

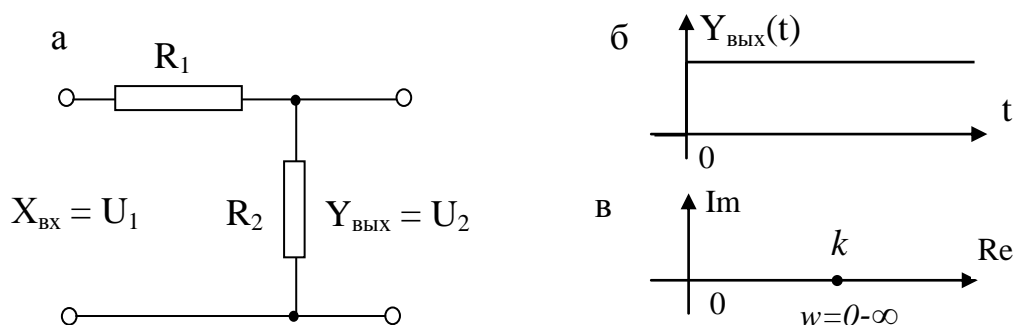


Рис. 3.2 Пример пропорционального звена – делитель напряжения (а), переходная (б) и амплитудно-фазовая функция (в)

Апериодическое звено первого порядка (рис. 3.3). Апериодическое звено описывается дифференциальным уравнением:

$$T \frac{dy_{\text{вых}}}{dt} + y_{\text{вых}} = kx_{\text{вх}}, \quad (3.6)$$

где T - постоянная времени;

k - коэффициент передачи.

Передаточная функция данного звена определяется выражением:

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1} \quad (3.7)$$

Примерами апериодического звена являются тепловой объект, где входом служит, например, расход топлива, а выходной величиной –

температура. Другой пример – технологическая емкость со свободным истечением жидкости, здесь входной сигнал – расход поступающей жидкости, выходной – ее уровень в емкости.

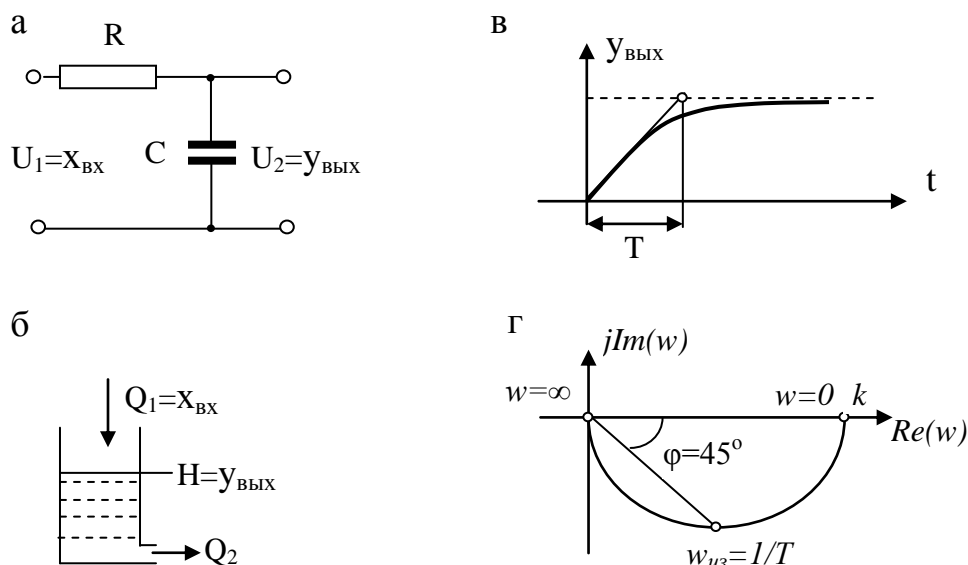


Рис. 3.3 Примеры аperiодического звена (а, б), переходная (в) и амплитудно-фазовая (г) характеристики

Мерой инерционности звена является постоянная времени T .

Амплитудно-фазовая характеристика звена представляется выражением:

$$W(j\omega) = \frac{k}{1 + j\omega T} \quad (3.8)$$

Колебательное звено. Колебательное звено описывается уравнением второго порядка:

$$T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = kx, \quad (3.9)$$

где T_1 и T_2 – постоянные времени;

k – коэффициент передачи.

Из (3.9) следует передаточная функция звена:

$$W(p) = \frac{k}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

На рис. 3.4 приведены примеры физической реализации колебательного звена: а – колебательный контур с R,L,C параметрами и механическая система, включающая пружину и гидравлический демпфер (б).

Переходная функция (решение уравнения 3.9) может иметь аperiodический (пунктирная линия на рис.3.4в) и колебательный вид (сплошная линия).

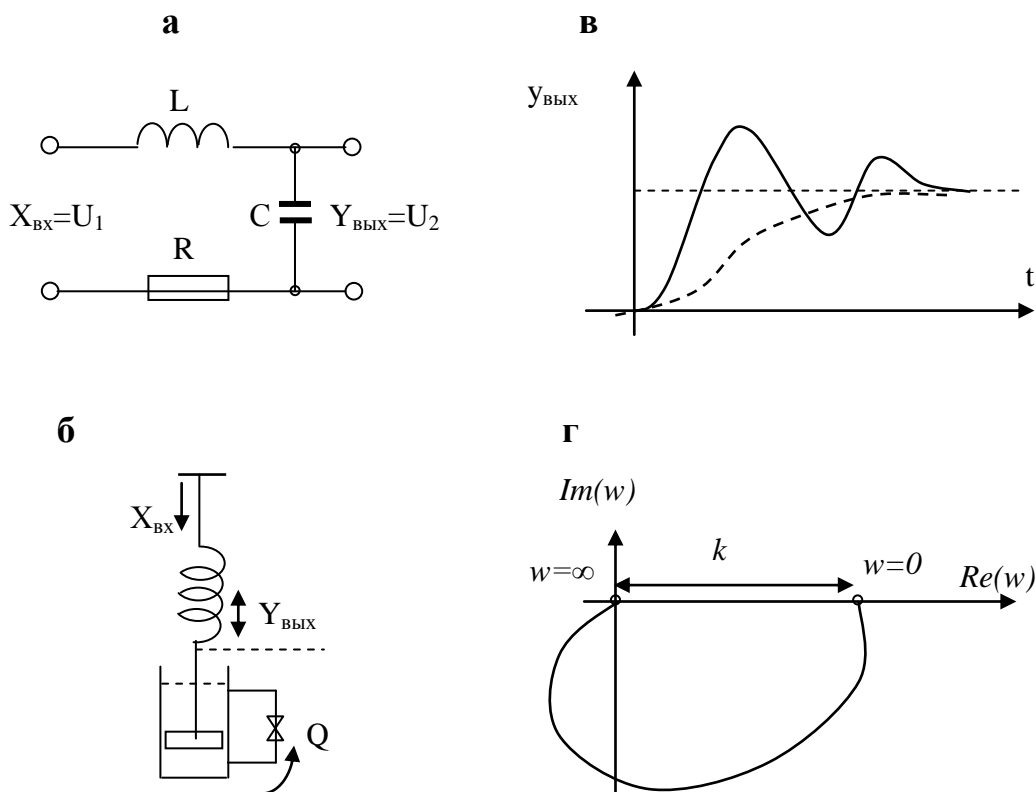


Рис. 3.4 Примеры колебательного звена (а и б), переходная (в) и амплитудно-фазовая характеристики (г).

Амплитудно-фазовая частотная характеристика колебательного звена (рис. 3.4 г) отличается тем, что ее годограф захватывает отрицательную область вещественной оси координатного пространства.

Интегрирующее звено. Уравнение звена в интегральной форме имеет вид:

$$y_{вых}(t) = k \int_0^t x_{вх}(t) dt$$

или в дифференциальной форме
$$\frac{dy_{вых}(t)}{dt} = kx_{вх}(t) \quad (3.11)$$

Перейдя к операторной форме, получим передаточную функцию:

$$W(p) = \frac{k}{p}.$$

Вышеприведенные уравнения справедливы для *идеального* интегрирующего звена.

В реальном интегрирующем звене присутствует некоторая инерционность, поэтому дифференциальное уравнение и передаточная функция реального интегрирующего звена имеют вид:

$$\frac{d^2 y_{\text{вых}}(t)}{dt^2} + \frac{dy_{\text{вых}}(t)}{dt} = kx_{\text{вх}}(t) \quad \text{и} \quad W(p) = \frac{k}{p(Tp+1)}$$

Примером реального интегрирующего звена может служить любой технологический сборник материала, где входной сигнал - поступление материала, а в качестве выходной величины принять его массу в сборнике.

На рис. 3.5 показаны основные характеристики интегрирующего звена.

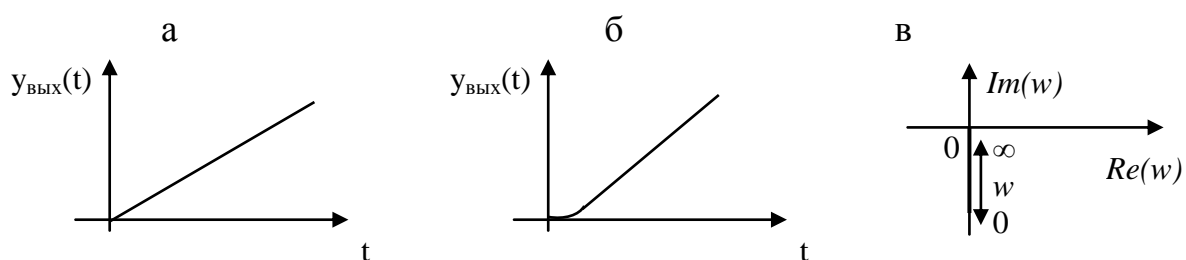


Рис. 3.5 Переходная функция идеального (а), реального (б) интегрирующего звена и амплитудно-фазовая характеристика идеального звена (в)

Дифференцирующее звено. Выходная величина этого звена пропорциональна скорости изменения входной:

$$y_{\text{вых}}(t) = k \frac{dx_{\text{вх}}(t)}{dt},$$

откуда передаточная функция имеет вид: $W(p) = kp$. (3.12)

В общем случае уравнение реального дифференцирующего звена:

$$T \frac{dy_{\text{вых}}(t)}{dt} + y_{\text{вых}}(t) = kT \frac{dx_{\text{вх}}}{dt}, \quad (3.13)$$

откуда передаточная функция: $W(p) = \frac{kTp}{Tp+1}$. (3.14)

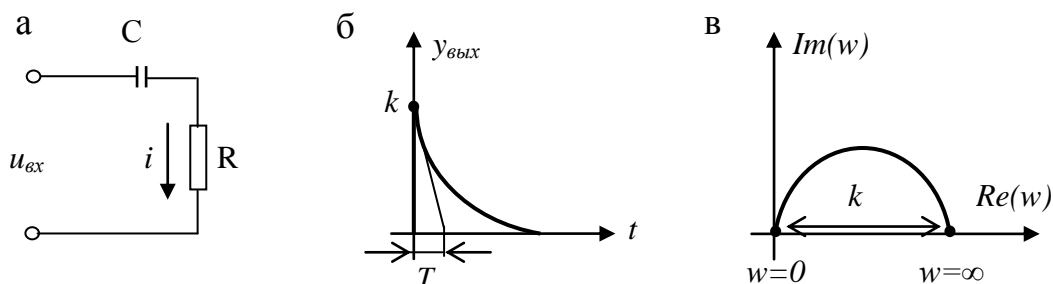


Рис. 3.7 Схема реального дифференцирующего звена (а), переходная (б) и амплитудно-частотная характеристики (в)

Звено транспортного (чистого) запаздывания. В отличие от предыдущих звеньев данное звено описывается уравнением с запаздывающим аргументом:

$$y_{\text{вых}}(t) = x_{\text{вх}}(t - \tau), \quad (3.14)$$

где τ – время транспортного запаздывания.

Передаточная функция и АФЧХ звена имеют вид:

$$W(p) = e^{-p\tau} \quad \text{и} \quad W(j\omega) = e^{-j\omega\tau}. \quad (3.15)$$

Графически амплитудно-фазовая характеристика представляется в виде окружности единичного радиуса с центром в начале координат.

Наличие в системе регулирования звена транспортного запаздывания значительно снижает качество регулирования, а иногда делает систему регулирования неустойчивой, что будет рассмотрено ниже.

Динамические характеристики типовых соединений звеньев.

В системах регулирования звенья могут соединяться в самых различных сочетаниях. Существует три основных вида соединений звеньев, комбинируя которые, можно прийти к любой сложной системе. К таким соединениям относятся: последовательное, параллельное и встречно-параллельное (охват звена обратной связью) соединения.

Структурные схемы различных соединений звеньев показаны на рис. 3.8.

В случае соединения двух звеньев имеем общие передаточные функции для случая "а" и "б" имеют вид:

$$W_{\text{об1}}(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \quad \text{и} \quad W_{\text{об2}}(p) = W_1(p) + W_2(p)$$

Встречно-параллельное включение (рис. 3.8 в) часто именуют соединением с охватом звена обратной связью.

В этом случае передаточная функция общего звена представляется выражением:

$$W_{\text{об}}(p) = \frac{W_1(p)}{1 \pm W_1(p) \cdot W_2(p)}$$

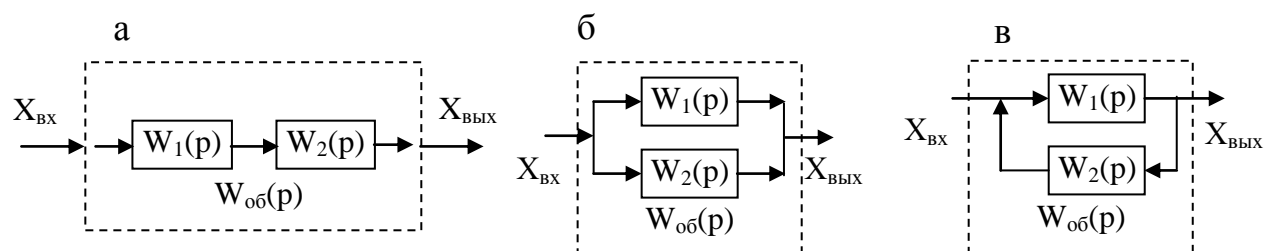


Рис. 3.9 Варианты соединения звеньев

При этом, в знаменателе ставится знак "+", если обратная связь отрицательная и "-" при положительной обратной связи.

Для обеспечения устойчивости элементов автоматики и систем в целом применяют в основном отрицательные обратные связи.

Контрольные вопросы

1. Перечислите способы представления динамических характеристик элементов АСР.
2. Приведите в общем виде дифференциальное линейное уравнение для любого элемента АСР.
3. Объясните понятие передаточной функции элемента АСР, как на основе дифференциального уравнения получить передаточную функцию.
4. Поясните понятие переходной функции элемента автоматике.
5. Охарактеризуйте частотные характеристики элементов АСР.
6. Перечислите типовые звенья систем регулирования.
7. Характеристики пропорционального звена.
8. Приведите примеры апериодического звена первого порядка и его характеристики.
9. Представьте все динамические характеристики реального и идеального дифференцирующего звена.
10. Приведите характеристики колебательного звена.
11. Каким образом определяется коэффициент затухания колебательного звена.
12. Представьте динамические характеристики реального и идеального интегрирующего звена.

Литература к теме № 3: [1], [2], [6]

Лекция № 4

Объекты автоматического регулирования. Классификация и описание

Вопросы, выносимые на лекцию:

Понятие объекта регулирования и виды воздействий на него. Классификация объектов и их динамические характеристики. Кривые разгона, графическая обработка статических и астатических объектов регулирования.

Объекты регулирования на обогатительных фабриках характеризуются большим многообразием по своим технологическим свойствам и назначению. Однако с позиций авторегулирования они могут быть обобщены по некоторым признакам.

Несмотря на разнообразие динамических свойств промышленных объектов регулирования, можно выделить некоторые специфические особенности, присущих большинству из них. Одной из этих особенностей является вид переходной функции объекта регулирования, по которому они классифицируются на три категории: устойчивые, неустойчивые и нейтральные.

Объект устойчив, если после окончания действия внешнего импульсного возмущения (X), он с течением времени возвратится к исходному состоянию.

Устойчивые объекты часто называют объектами, обладающими свойствами самовыравнивания. Только для данных объектов имеют смысл статические характеристика, поэтому они еще именуется - **статические** объекты.

Неустойчивые объекты характеризуются тем, что после окончания внешнего воздействия выходная величина ($Y_{вых}$) продолжает изменяться. Это весьма сложные для автоматического регулирования объекты.

В нейтральных объектах или объектах, не обладающих свойством самовыравнивания, выходная величина после снятия возмущения принимает новое установившееся значение. Эти объекты чаще называют **астатическими**.

Статические и динамические характеристики объектов регулирования можно получить всеми способами, рассмотренными в лекции 3. В данной лекции рассматриваются способы получения характеристик статических и астатических объектов путем обработки их экспериментальных кривых разгона.

Статические объекты. На рис. 4.1 представлены кривые разгона статических объектов, полученные экспериментально при ступенча-

том возмущении ΔX . Поставлена и решена задача – определение передаточных функций объектов.

Передаточная функция данного объекта (рис. 4.1 а) может быть представлена в виде:

$$W(p) = \frac{ke^{-p\tau}}{Tp+1}, \quad (4.1)$$

где k , T и τ - коэффициент передачи, постоянная времени и транспортное запаздывание объекта соответственно.

Эти постоянные определяются следующим образом. Коэффициент передачи – это отношение прироста выходной величины при новом установившемся значении к величине скачка со стороны канала управления, т.е. $k = \Delta Y / \Delta X$.

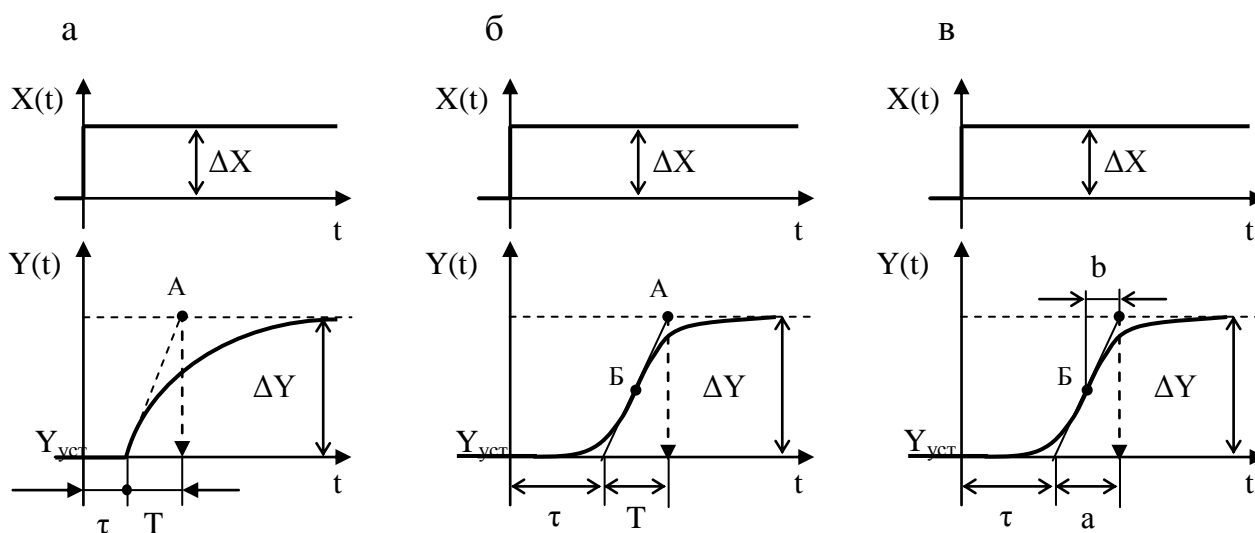


Рис. 4.1 Кривые разгона статических объектов и графическая их обработка.

Временные параметры определяются графически, как это показано на рисунке (а).

На рисунках (4.1 б и 4.1 в) показана кривая разгона, которая наиболее характерна для технологических объектов, в том числе и обогащительных. Здесь возможно два пути аппроксимации объекта простыми типовыми звеньями. В первом случае объект можно представить двумя звеньями (4.1), во втором – тремя (4.2).

$$W(p) = \frac{ke^{-p\tau}}{(T_1p+1)(T_2p+1)} \quad (4.2)$$

Астатические объекты. Кривая разгона типичного реального астатического объекта показана на рис. 4.2.

Передаточная функция такого объекта, представленная двумя последовательно включенными звеньями (реальное интегрирующее и транспортного запаздывания), имеет вид:

$$W(p) = \frac{ke^{-p\tau}}{p(Tp+1)} \quad (4.3)$$

Определение параметров выражения (4.3) может производиться несколькими способами. Астатический объект характеризуется одним установившимся параметром – скоростью изменения выходной величины.

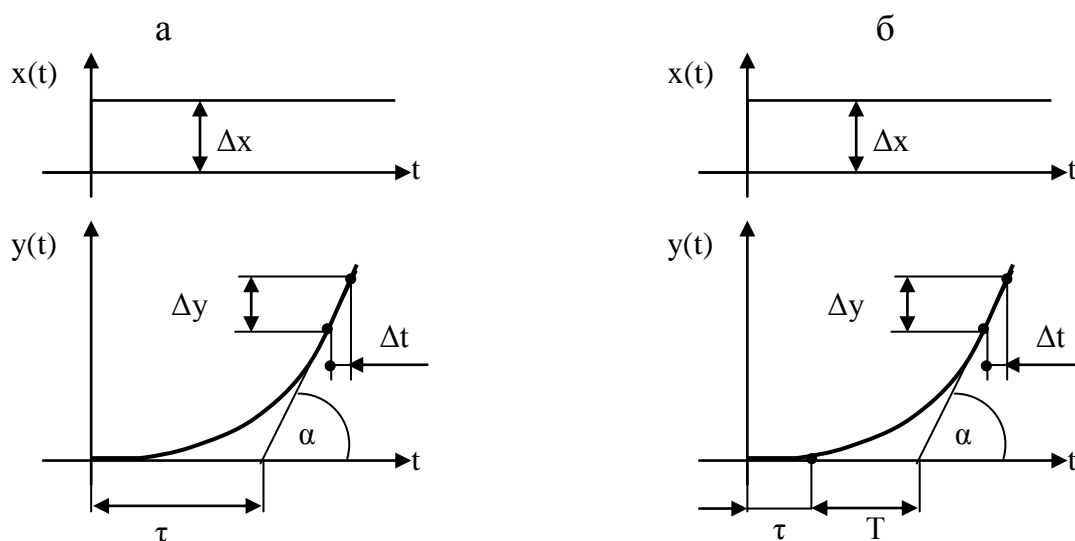


Рис. 4.3 Варианты обработки кривой разгона астатического объекта

Поэтому за коэффициент передачи объекта принимается отношение скорости изменения y (при $t \rightarrow \infty$) к величине возмущения Δx . Скорость изменения выходного параметра оценивается величиной $tg\alpha$, тогда с учетом обозначений на (рис. 4.3 а) имеем:

$$\bar{k} = \frac{tg\alpha}{\Delta x} = \frac{\Delta y}{\Delta t \cdot \Delta x},$$

где \bar{k} называют условным коэффициентом передачи.

Постоянная времени (условная) принимается равной:

$$\bar{T} = 1/\bar{k}$$

Величина запаздывание объекта (τ) определяется, как показано на рис. 4.3 а.

Контрольные вопросы.

1. Дайте характеристику объекта с двумя выходными параметрами.
2. Приведите классификацию объектов по динамическим свойствам.
3. Определите по кривой разгона статического объекта передаточную функцию.
4. Раскройте способ обработки кривой разгона астатического объекта.
5. Охарактеризуйте АФЧХ статического и астатического объекта.

Литература к теме: [2], [6], [8]

Лекция № 5

Автоматические регуляторы, переходные процессы, законы регулирования

В лекции рассмотрены вопросы:

Понятие регулятора. Классификация по различным признакам. Представление о законах регулирования. Динамические характеристики регуляторов и их аналитическое и графическое представление. Структурные схемы регуляторов. Формирование законов регулирования

Классификация регуляторов.

Одним из основных элементов, входящим в систему регулирования является автоматический регулятор – устройство, изменяющее или стабилизирующее выходную величину объекта регулирования по заданному алгоритму путем воздействия на его входную величину.

Классификация регуляторов может осуществляться по различным признакам. По способу действия они делятся на регуляторы *прямого и непрямого действия*.

На практике более широкое применение получили регуляторы непрямого действия. Данные регуляторы классифицируются по виду источника подводимой энергии для перемещения исполнительного механизма: *электрические, гидравлические, пневматические и комбинированные*.

Кроме того, регуляторы классифицируются на *релейные, непрерывные и импульсные*. Релейные регуляторы называют еще позиционными.

Регуляторы подразделяются также на *экстремальные и стабилизирующие*. Экстремальные регуляторы могут использоваться на объектах, характеризующихся экстремальной статической характеристикой.

Наибольшее распространение получили стабилизирующие регуляторы (рис. 5.1).

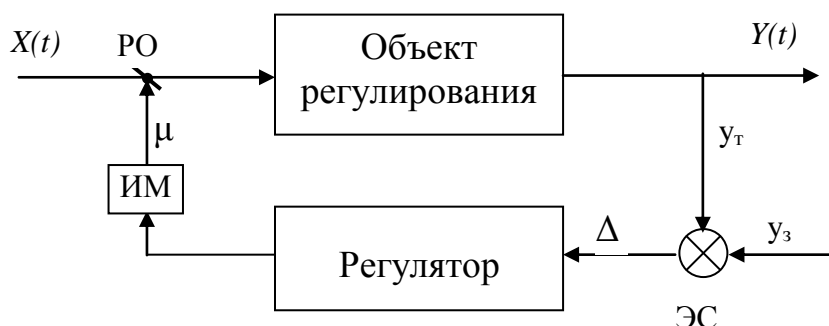


Рис. 5.1 Структурная схема стабилизирующей АСР

На схеме обозначено: μ – воздействие регулятора на регулируемый орган (РО) с помощью исполнительного механизма (ИМ); Δ – сигнал рассогласования, выделенный на элементе сравнения (ЭС) и равный векторной разнице между текущим (y_T) и заданным (y_3) значениями регулируемой величины

Законы регулирования

Зависимость управляющего сигнала, вырабатываемого регулятором, от сигнала рассогласования во времени определяется *законом регулирования*, в общем виде эта зависимость может быть представлена:

$$\mu = k\varphi(\Delta, t) \quad (5.1)$$

В зависимости от вида функции (5.1) стабилизирующие регуляторы классифицируются на *интегральные (И)*, *пропорциональные (П)*, *пропорционально-интегральные (ПИ)*, *пропорционально-дифференциальные (ПД)* и *пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД)*. Закон регулирования формируется с помощью обратных связей. С учетом динамических свойств объекта управления он определяет вид и качество переходного процесса в АСР.

В лекции рассмотрены подробно все законы регулирования и их динамические характеристики.

Интегральный (И) закон регулирования. Регуляторы, реализующие данный закон, часто называют астатическими или регуляторами без обратной связи. В динамическом отношении И-закон регулирования подобен интегрирующему звену, уравнение регулятора и передаточная функция имеют вид:

$$\mu = \frac{k_p}{T_u} \int_0^t \Delta dt,$$

или в дифференциальной форме:

$$T_u \frac{d\mu}{dt} = k_p \Delta, \quad W(p) = \frac{k_p}{T_u p} \quad (5.2)$$

где k_p – статический коэффициент передачи регулятора;

T_u – время интегрирования.

Из (5.2) следует, что скорость движения регулирующего органа для данного закона пропорциональна величине рассогласования. На рис. 5.2 а показана переходная функция И-регулятора.

Регуляторы, работающие по данному закону, всегда приводят регулируемый параметр к заданному значению, если объект обладает свойством самовыравнивания (рис. 5.2 б, кривая 1).

Применение данного закона регулирования при управлении астатическим объектом, приводит к переходному процессу в виде незатухающих колебаний выходного параметра (кривая 2, рис. 5.2).

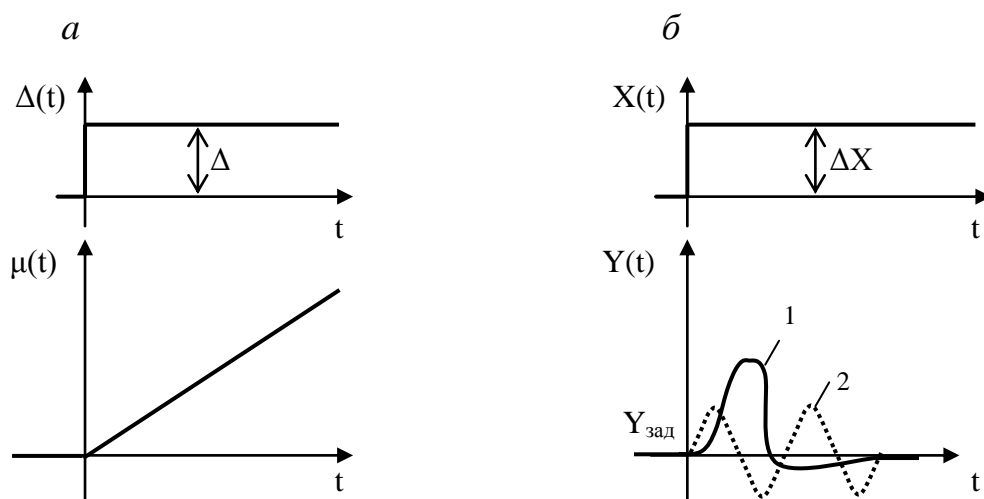


Рис. 5.2 Переходная функция И-регулятора (а) и переходные процессы АСР с различными объектами (б)

Пропорциональный (П) закон регулирования. Регуляторы, реализующие данный закон, еще называют регуляторами с жесткой обратной связью или статическими.

Уравнение П-регулятора и передаточная функция имеют вид:

$$\mu = k_p \Delta, \quad W(p) = k_p \quad (5.3)$$

где (k_p) - коэффициент передачи регулятора.

Переходная функция П-регулятора и типичный переходный процесс показаны на рис. 5.3.

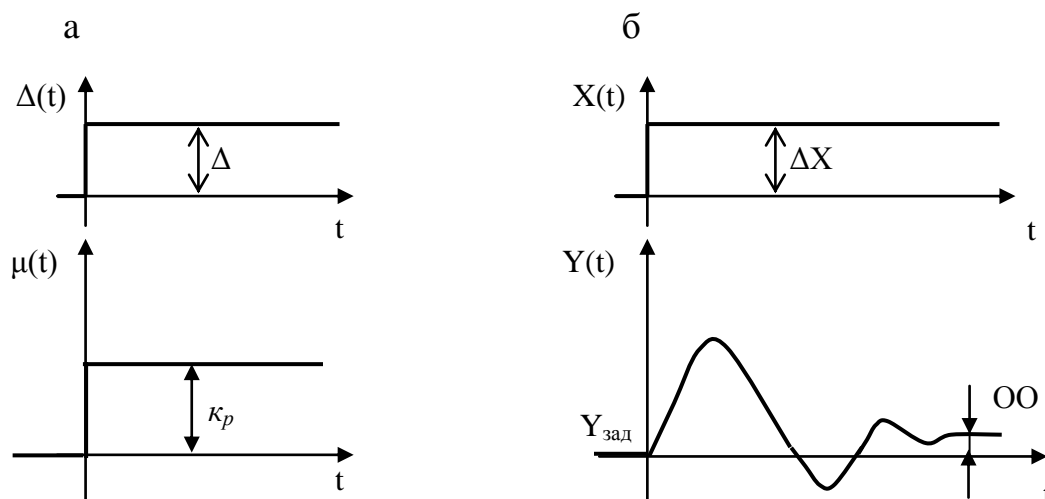


Рис. 5.3 Переходная функция П-регулятора (а) и вид переходного процесса в системе регулирования (б)

Из-за жесткой обратной связи П-регулятор не имеет возможности привести к заданному значению регулируемый параметр при изменении нагрузки на объект. Данное явление получило название *остаточной неравномерности* регулирования, она оценивается *степенью неравномерности* (δ), равной $\delta = 1/k_p = \Delta/\mu$.

Пропорциональные регуляторы обеспечивают устойчивую работу практически всех промышленных объектов.

Пропорционально-дифференциальный (ПИ) закон регулирования. Регуляторы, работающие по данному закону, производят перемещение регулирующего органа пропорционально сумме отклонения и интеграла от отклонения регулируемой величины, т.е. осуществляют П- и И- воздействие:

$$\mu = k_p \left(\Delta + \frac{1}{T_u} \int_0^t \Delta dt \right), \quad (5.4)$$

или в дифференциальной форме:

$$\frac{d\mu}{dt} = k_p \left(\frac{d\Delta}{dt} + \frac{1}{T_u} \Delta \right). \quad (5.5)$$

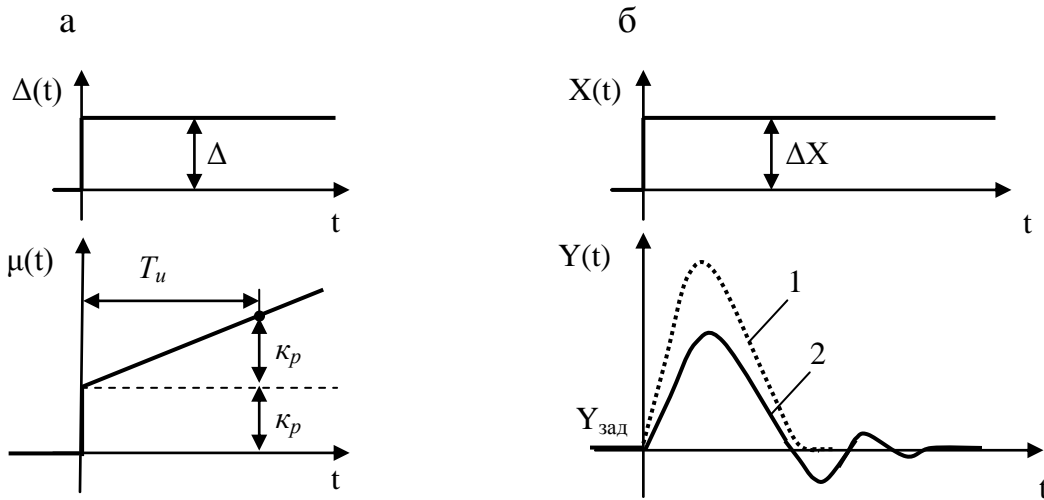


Рис. 5.4 Переходная функция ПИ-регулятора (а) и вид переходных процессов в системах регулирования (б)

Пропорционально-дифференциальный (ПД) закон регулирования. Регулятор, реализующий данный закон регулирования можно представить в виде системы, содержащей два параллельно работающих типовых звена: пропорционального и идеального дифференцирующего. Тогда уравнение ПД-закона имеет вид:

$$\mu = k_\delta \Delta + \dot{\Delta}_i \frac{d\Delta}{dt}, \quad (5.6)$$

где T_n – время предварения.

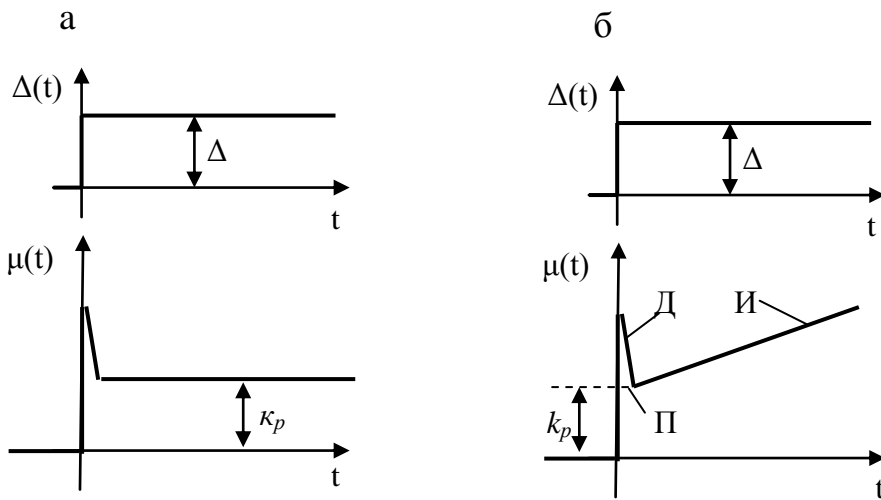


Рис. 5.5 Переходная функция ПД (а) и ПИД- регулятора (б)

Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) закон регулирования. Наиболее сложный алгоритм, включающий воздействие всех вышерассмотренных законов. Очевидно, что уравнение ПИД - закона имеют вид:

$$\mu = k_{\delta} \left(\Delta + \frac{1}{\dot{O}_i} \int_0^t \frac{d\Delta}{dt} + \dot{O}_i \frac{d\Delta}{dt} \right) \quad (5.9)$$

Перейдя к операторной форме, получим передаточную функцию:

$$W(p) = k_{\delta} + \frac{k_{\delta}}{\dot{O}_i p} + k_{\delta} \dot{O}_i p = k_{\delta} \left(1 + \frac{1}{\dot{O}_i p} + \dot{O}_i p \right) \quad (5.9)$$

На рис. 5.5 б представлена переходная функция ПИД-закона, где выделены области воздействия составляющими П, И и Д – закона.

Формирование законов регулирования

Ранее отмечалось, что закон регулирования определяется видом обратной связи или ее отсутствием

На рис. 5.6 показаны варианты структурных схем регуляторов, отличающиеся способом формирования сигнала обратной связи.

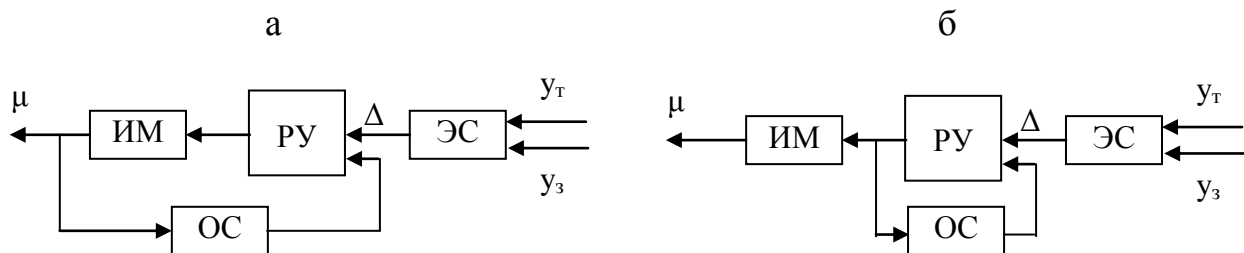


Рис. 5.6 Структурные схемы регуляторов

В лекции показана справедливость выражения:

$$W(p)_{\delta} = \frac{1}{W(p)_{\text{и}}},$$

которое позволяет определить передаточную функцию обратной связи ($W(p)_{\text{ос}}$) для принятого закона регулирования.

Контрольные вопросы.

1. Приведите классификацию регуляторов по способу действия и по назначению.
2. Охарактеризуйте динамические свойства стабилизирующих интегральных и пропорциональных регуляторов.
3. Разъясните понятие остаточной неравномерности в переходных процессах АСР.
4. Приведите динамические показатели ПИ- и ПИД-регулятора.
5. Изложите принципы формирования законов регулирования.

Литература к теме: [5], [6]

Лекция № 6

Качество регулирования. Выбор законов регулирования

В лекции рассмотрены вопросы:

Понятие переходного процесса в АСР. Показатели качества переходного процесса – динамическое и остаточное отклонение, квадратичные критерии качества, время регулирования. Типовые переходные процессы. Динамический коэффициент регулирования. Выбор закона регулирования.

Качество регулирования. Выбор закона регулирования

Вид переходного процесса при регулировании определяет *качество регулирования*. Основными показателями качества регулирования являются следующие.

Максимальное динамическое отклонение, представляет собой максимальную амплитуду отклонения выходного параметра (y_1 , рис. 5.7).

Остаточное отклонение, характеризует величину отклонения регулируемой величины от заданного значения по окончании переходного процесса. Оценивается степень неравномерности (δ).

Время регулирования. Это период времени t_p (рис. 6.1) от момента поступления на вход ступенчатого воздействия до момента, когда отклонение регулируемой величины от заданного значения становится меньше зоны нечувствительности регулятора.

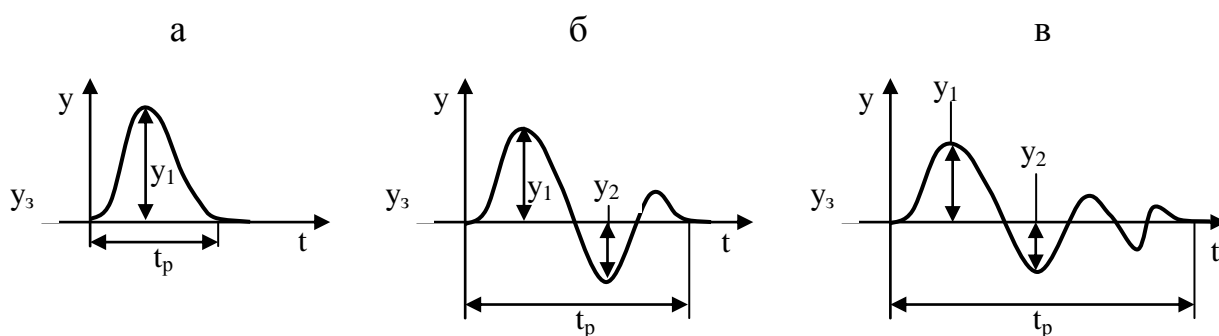


Рис. 6.1 Типовые переходные процессы в АСР

Квадратичный интегральный критерий качества. Характеризует суммарную площадь, ограниченную кривой переходного процесса.

Типовые переходные процессы.

Для выбора конкретного вида переходного процесса (в зависимости от технологических требований) предложено три их типа: апериодический с минимальным временем регулирования (рис. 5.7 а), процесс

с 20 % перерегулированием (рис. 6.1 б) и процесс с минимальной квадратичной площадью отклонения (рис. 6.1 в).

Выбор регулятора. Под выбором регулятора следует понимать выбор закона регулирования.

Для выбора закона регулирования необходимо знать:

1. Приведенные параметры объекта регулирования $k_{об}$, $T_{об}$ и $\tau_{об}$, определяемые по кривой разгона.
2. Максимально-допустимое значение динамического отклонения регулируемой величины ($y_{вых1}$).
3. Принятый типовый переходный процесс.
4. Максимально-возможное значение возмущения на объект, выраженное в % хода регулирующего органа ($\Delta x_{вх}$).
5. Допустимое остаточное отклонение.
6. Допустимое время регулирования t_p .

Для выбора закона регулирования необходимо рассчитать динамический коэффициент регулирования, для статических объектов:

$$R_o = \frac{y_1}{k_{об} \Delta x_{вх}}; \text{ для астатических объектов } \bar{R}_o = \frac{y_1 \cdot T_{об}}{\tau_{об} \Delta x_{вх}}.$$

По графикам (рис. 6.2) для статических объектов или из табл. 6.1 для астатических объектов выбирают простейший регулятор.

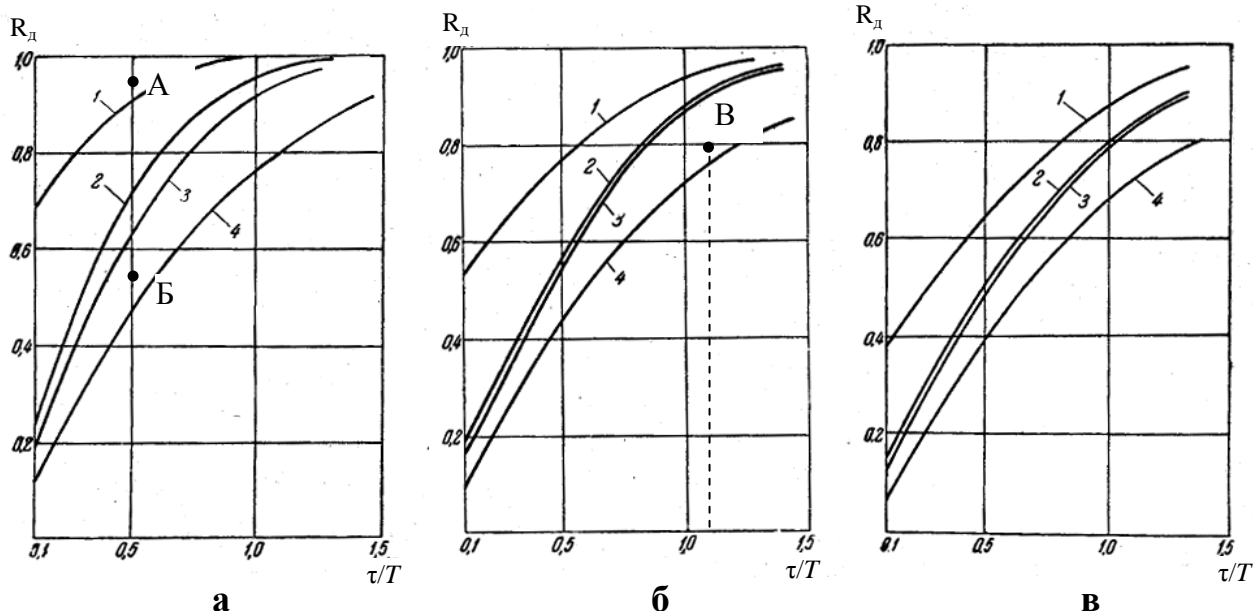


Рис. 6.2 Динамические коэффициенты регулирования на статических объектах

а- аperiodический переходный процесс; б – процесс с 20 % перерегулированием; в - процесс с минимальной квадратичной площадью;

1 – И - регулятор; 2 – П – регулятор; 3 – ПИ – регулятор; 4 – ПИД – регулятор

Далее следует оценить время регулирования при применении принятого закона. Для этого используют графики, приведенные на рис. 6.3, где определяют отношение $t_p/\tau_{об}$ (относительное время регулирования), откуда находят t_p .

Если найденное время регулирования превышает допустимое – переходят к более сложному закону регулирования.

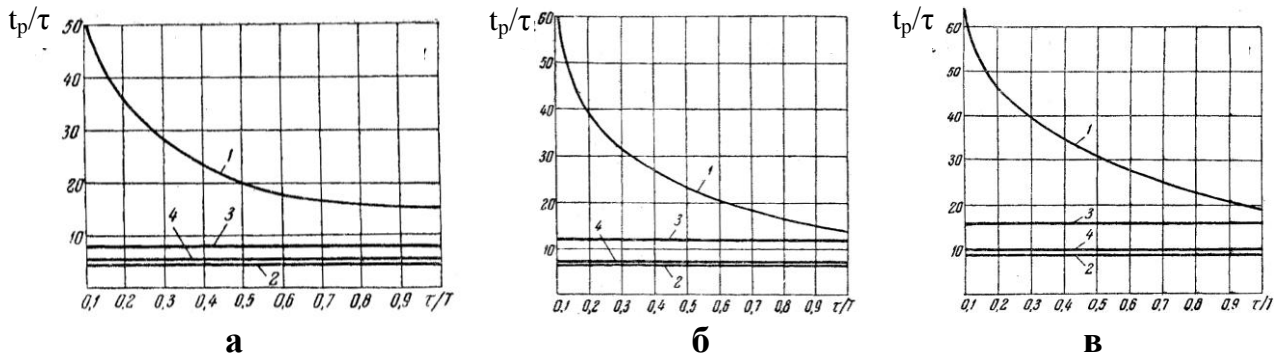


Рис. 6.3 Время регулирования на статических объектах
 а - апериодический переходный процесс; б – процесс с 20 % перерегулированием; в - процесс с минимальной квадратичной площадью;
 1 – И - регулятор; 2 – П – регулятор; 3 – ПИ – регулятор; 4 – ПИД - регулятор

При рассмотрении астатического объекта регулирования можно использовать таблицы 6.1 и 6.2.

Таблица 6.1

Динамический коэффициент регулирования для астатических объектов

Закон регулирования	Типовой процесс		
	апериодический	20% перерегулирование	с минимальной квадратичной площадью
П	2,9	1,4	-
ПИ	1,4	1,3	0,9
ПИД	1,3	1,1	0,8

Таблица 6.2

Относительное время регулирования t_p/τ для астатических объектов

Закон регулирования	Типовой процесс		
	апериодический	20% перерегулирование	с минимальной квадратичной площадью
П	6	8	-
ПИ	14	16	18
ПИД	9	12	13

В данном случае следует иметь в виду, что для данных объектов интегральный закон регулирования применять не рекомендуется, так как такая система структурно неустойчива.

Контрольные вопросы.

1. Перечислите показатели качества регулирования и дайте их характеристики.
2. Выполните анализ переходного процесса в системе с И-регулятором и астатическим объектом.
3. Докажите обязательное наличие остаточного отклонения при использовании П-регулятора.
4. Изложите последовательность выбора закона регулирования.

Литература к теме:[6],[7], [8]

Лекция № 7

Расчет параметров регуляторов. Устойчивость АСР

В лекции изложены вопросы

Понятие настроечных параметров регуляторов. Расчет настроечных параметров регуляторов различных законов. Понятие устойчивости систем регулирования. Критерии устойчивости и их проверка.

Выбранный закон регулирования обеспечит переходный процесс с требуемыми показателями качества при определенных значениях настроечных параметров регулятора. В соответствие с законами регулирования настроечными параметрами регуляторов являются.

Для П – регулятора:

коэффициент передачи k_p ,

Для И – регулятора:

коэффициент передачи k_p ,

Для ПИ – регулятора:

коэффициент передачи k_p

время интегрирования (удвоения) T_u , сек.

Для ПИД – регулятора:

коэффициент передачи k_p

время интегрирования T_u

время предварения T_n , сек.

Настроечные параметры регуляторов можно рассчитывать несколькими способами, как графическими, так и аналитическими. Достаточная для практических целей точность достигается при использовании формул, приведенных табл. 7.1 и 7.2

В лекции рассмотрен конкретный пример расчета параметров регулятора.

Устойчивость систем регулирования

Устойчивость замкнутой АСР – важнейшее требование к системам. Под устойчивостью АСР следует понимать, что при любом реальном возмущении на систему, регулируемая величина при переходном процессе не будет бесконечно отклоняться от заданного значения.

Существует несколько критериев устойчивости САУ.

Наиболее распространен критерий Найквиста, который позволяет осуществить оценку устойчивости замкнутых систем управления по амплитудно-фазовой частотной характеристике (АФЧХ) разомкнутой системы.

Критерий Найквиста имеет две формулировки. Наиболее проста в применении следующая: если система автоматического управления устойчива в разомкнутом состоянии, то для ее устойчивости в замкнутом

состоянии необходимо и достаточно, чтобы АФЧХ разомкнутой системы $W(j\omega)$ при изменении ω от нуля до бесконечности не охватывала точку с координатами $(-1; j0)$ комплексной плоскости.

Таблица 7.1 Формулы для расчета настроек непрерывных регуляторов при работе со статическими объектами.

Регулятор	Типовой процесс		
	апериодический	20% перерегулирование	минимальная квадратичная площадь
И	$K_p = \frac{1}{4,5K_{об}T_{об}}$	$K_p = \frac{1}{1,7K_{об}T_{об}}$	$K_p = \frac{1}{1,7K_{об}\tau_{об}}$
П	$K_p = \frac{0,3}{K_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$	$K_p = \frac{0,7}{K_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$	$K_p = \frac{0,9}{K_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$
ПИ	$K_p = \frac{0,6}{K_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_u = 0,6T_{об}$	$K_p = \frac{0,7}{K_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_u = 0,7T_{об}$	$K_p = \frac{1,0}{K_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_u = T_{об}$
ПИД	$K_p = \frac{0,95}{K_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_u = 2,4\tau_{об}$ $T_n = 0,4\tau_{об}$	$K_p = \frac{1,2}{K_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_u = 2,0\tau_{об}$ $T_n = 0,4\tau_{об}$	$K_p = \frac{1,4}{K_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_u = 1,3\tau_{об}$ $T_n = 0,5\tau_{об}$

Таблица 6.2 Формулы для расчета настроек непрерывных регуляторов при работе с астатическими объектами.

Регулятор	Типовой процесс		
	апериодический	20% перерегулирование	минимальная квадратичная площадь
П	$K_p = \frac{0,4}{\tau_{об} / T_{об}}$	$K_p = \frac{0,7}{\tau_{об} / T_{об}}$	Не применяют
ПИ	$K_p = \frac{0,4}{\tau_{об} / T_{об}}$ $T_u = 6\tau_{об}$	$K_p = \frac{0,7}{\tau_{об} / T_{об}}$ $T_u = 3\tau_{об}$	$K_p = \frac{1,0}{\tau_{об} / T_{об}}$ $T_u = 4\tau_{об}$
ПИД	$K_p = \frac{0,6}{\tau_{об} / T_{об}}$ $T_u = 5\tau_{об}$ $T_n = 0,2\tau_{об}$	$K_p = \frac{1,1}{\tau_{об} / T_{об}}$ $T_u = 2,0\tau_{об}$ $T_n = 0,4\tau_{об}$	$K_p = \frac{1,4}{\tau_{об} / T_{об}}$ $T_u = 1,6\tau_{об}$ $T_n = 0,5\tau_{об}$

При использовании данного критерия необходимо построить годограф Найквиста (амплитудно-фазовая частотная характеристика) разомкнутой системы и убедиться, что годограф не охватывает точку с координатами $(-1; j0)$.

В лекции рассмотрен численный пример проверки устойчивости АСР

Контрольные вопросы.

1. Укажите основные параметры настроек регуляторов.
2. Представьте последовательность определения настроечных параметров регулятора.
3. Объясните понятие устойчивости систем регулирования.
4. Представьте последовательность проверки АСР на устойчивость с помощью критерия Найквиста

Литература к теме: [6], [7], [8]

7 СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Технологические параметры, объекты систем автоматического контроля. Понятия датчика и преобразователя. Преобразователи перемещения. Дифференциальные и мостовые схемы подключения датчиков. Датчики физических величин - температуры, давления, механических усилий. Контроль уровней сред. Классификация и схемы уровнемеров. Методы контроля расходов жидких сред. Расходомеры переменного уровня и переменного перепада давления. Ротаметры. Электромагнитные расходомеры. Реализация расходомеров и область применения. Способы контроля плотности суспензий. Манометрический, весовой и радиоизотопный плотномеры. Контроль вязкости и состава суспензий. Автоматические гранулометры, анализаторы. Влагомеры продуктов обогащения.

7.1 Общая характеристика систем контроля. Датчики и преобразователи

В основе автоматического управления — непрерывное и точное измерение входных и выходных технологических параметров процесса обогащения.

Следует различать основные выходные параметры процесса (или конкретной машины), характеризующие конечную цель процесса, например, качественно-количественные показатели продуктов переработки, и промежуточные (косвенные) технологические параметры, определяющие условия протекания процесса, режимы работы оборудования. Например, для процесса обогащения угля в отсадочной машине, основными выходными параметрами могут быть выход и зольность выпускаемых продуктов. В тоже время на указанные показатели влияет ряд промежуточных факторов, например, высота и разрыхленность постели в отсадочной машине.

Кроме того, существует ряд параметров, характеризующих техническое состояние технологического оборудования. Например, температура подшипников технологических механизмов; параметры централизованной жидкой смазки подшипников; состояние перегрузочных узлов и элементов поточно-транспортных систем; наличие материала на ленте конвейера; присутствие металлических предметов на ленте конвейера, уровни материала и пульпы в емкостях; длительность работы и время простоев технологических механизмов и т.д.

Особую трудность вызывает автоматический оперативный контроль технологических параметров, определяющих характеристику сырья и продуктов обогащения, таких как зольность, вещественный состав руды, степень раскрытия минеральных зерен, гранулометрический и фракционный состав материалов, степень окисленности поверхности зерен и пр. Данные показатели или контролируются с недостаточной точностью или не контролируются совсем.

Большое число физических и химических величин, определяющих режимы процессов переработки сырья, контролируется с достаточной точностью. К ним можно отнести плотность и ионный состав пульпы, объемные и массовые расходы технологических потоков, реагентов, топлива, воздуха; уровни продуктов в машинах и аппаратах, температура среды, давление и разряжение в аппаратах, влажность продуктов и т.д.

Таким образом, многообразие технологических параметров, их важность при управлении процессами обогащения требуют разработки надежно действующих систем контроля, где оперативное измерение физико-химических величин основано на самых различных принципах.

Нужно отметить, что надежность работы систем контроля параметров в основном определяет работоспособность систем автоматического управления процессами.

Системы автоматического контроля служат основным источником информации при управлении производством, в том числе в АСР и АСУТП.

Датчики и преобразователи

Основным элементом систем автоматического контроля, который определяет надежность и работоспособность всей системы, является датчик, непосредственно контактирующий с контролируемой средой.

Датчиком называется элемент автоматики, осуществляющий преобразование контролируемого параметра в сигнал, пригодный для ввода его в систему контроля или управления.

Типовая система автоматического контроля в общем случае включает первичный измерительный преобразователь (датчик), вторичный преобразователь, линию передачи информации (сигнала) и регистрирующий прибор (рис. 7.1). Зачастую система контроля имеет только чувствительный элемент, преобразователь, линию передачи информации и вторичный (регистрирующий) прибор.

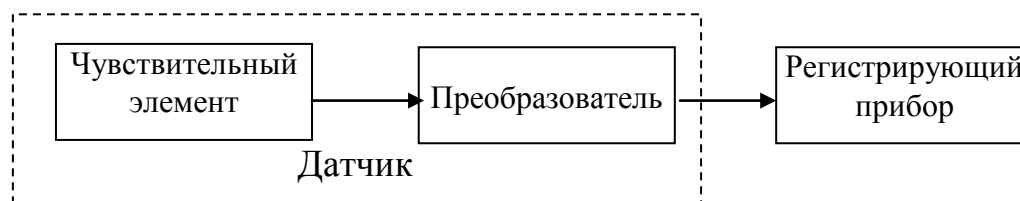


Рис. 7.1 Структурная схема системы автоматического контроля

Датчик, как правило, содержит чувствительный элемент, воспринимающий величину измеряемого параметра, а в некоторых случаях и преобразующий ее в сигнал, удобный для дистанционной передачи на регистрирующий прибор, а при необходимости – в систему регулирования.

Примером чувствительного элемента может быть мембрана дифференциального манометра, измеряющего разность давлений на объекте. Перемещение мембраны, вызванное усилием от разности давлений, преобразуется с помощью дополнительного элемента (преобразователь) в электрический сигнал, который легко передается на регистратор.

Другой пример датчика – термопара, где совмещены функции чувствительного элемента и преобразователя, так как на холодных концах термопары возникает электрический сигнал, пропорциональный измеряемой температуре.

Подробнее о датчиках конкретных параметров будет изложено ниже.

Преобразователи классифицируются на однородные и неоднородные. Первые имеют одинаковые по физической природе входную и выходную величину. Например, усилители, трансформаторы, выпрямители – преобразуют электрические величины в электрические с другими параметрами.

Среди неоднородных самую большую группу составляют преобразователи неэлектрических величин в электрические (термопары, терморезисторы, тензометрические датчики, пьезоэлементы и пр.).

По виду выходной величины данные преобразователи подразделяются на две группы: генераторные, имеющие на выходе активную электрическую величину – ЭДС и параметрические – с пассивной выходной величиной в виде R , L или C .

Преобразователи перемещения. Наибольшее распространение получили параметрические преобразователи механического перемещения. К ним относятся R (резисторные), L (индуктивные) и C (емкостные) преобразователи. Данные элементы изменяют пропорционально входному перемещению выходную величину: электрическое сопротивление R , индуктивность L и емкость C (рис. 7.2).

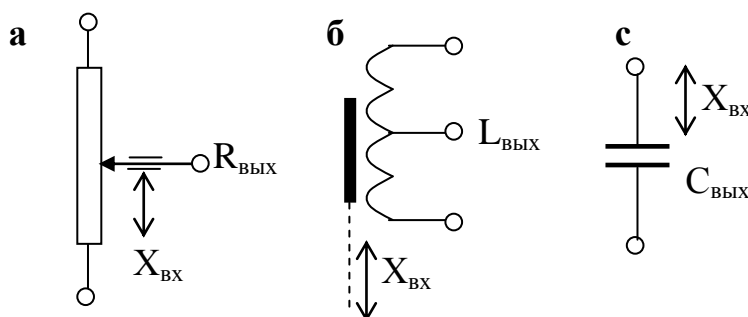


Рис. 7.2 Преобразователи механического перемещения
а – резисторные, б – индуктивные, с – емкостные

Индуктивный преобразователь может быть выполнен в виде катушки с отводом от средней точки и перемещающимся внутри плунжером (сердечником).

Рассматриваемые преобразователи обычно подключаются к системам контроля с помощью мостовых схем. В одно из плеч моста (рис. 7.3 а) подключается преобразователь перемещения. Тогда выходное напряжение ($U_{\text{вых}}$), снимаемое с вершин моста А-В, будет изменяться при перемещении рабочего элемента преобразователя и может быть оценено выражением:

$$U_{\text{вых}} = ((Z_1 \cdot Z_3 - Z_2 \cdot Z_4) / (Z_1 + Z_4)(Z_2 + Z_3)) / U_{\text{пит}} \quad (7.1)$$

Напряжение питания моста ($U_{\text{пит}}$) может быть постоянного (при $Z_i = R_i$) или переменного (при $Z_i = 1/(C\omega)$ или $Z_i = L\omega$) тока с частотой ω .

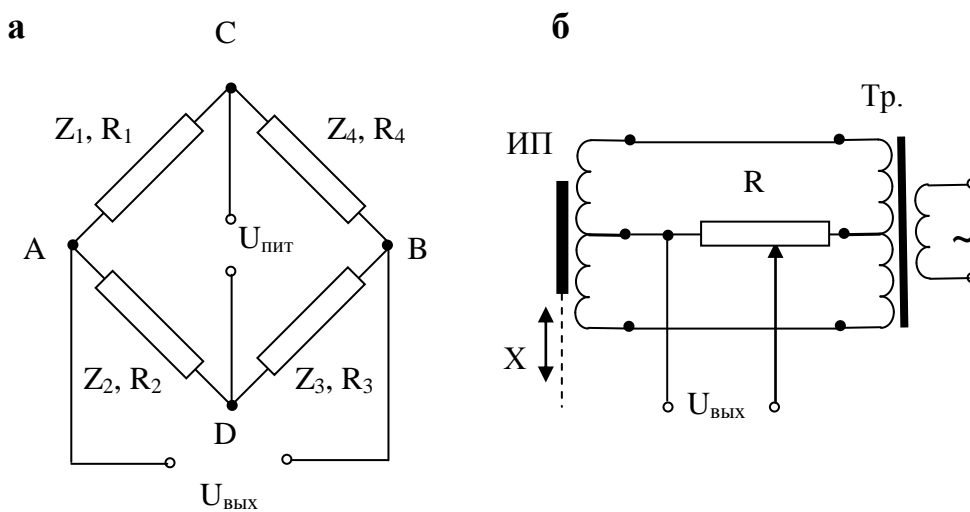


Рис. 7.3 Схемы мостового подключения преобразователей
а – общий случай; б – мостовая схема с индуктивным преобразованием

В мостовую схему с R элементами могут подключаться терморезисторы, тензо- и фоторезисторы, т.е. преобразователи выходной сигнал которых – изменение активного сопротивления R .

Широко применяемый индуктивный преобразователь обычно подключается к мостовой схеме переменного тока, образованной трансформатором (рис. 7.3 б). Выходное напряжение в этом случае выделяется на резисторе R , включенном в диагональ моста.

Особую группу составляют широко применяемые индукционные преобразователи – дифференциально-трансформаторные и ферродинамические (рис. 7.4). Это – генераторные преобразователи.

Выходной сигнал ($U_{\text{вых}}$) данных преобразователей формируется в виде напряжения переменного тока, что исключает необходимость применения мостовых схем и дополнительных преобразователей.

Дифференциальный принцип формирования выходного сигнала в трансформаторном преобразователе (рис. 6.4 а) основан использовании двух вторичных обмоток, включенных навстречу друг другу. Здесь выходной сигнал – векторная разница напряжений, возникающих во вторичных

обмотках при подаче напряжения питания $U_{\text{пит}}$, при этом выходное напряжение несет две информации: абсолютное значение напряжения – о величине перемещения плунжера, а фаза – направление его перемещения:

$$\bar{U}_{\text{вых}} = \bar{U}_1 - \bar{U}_2 = kX_{\text{вх}},$$

где k – коэффициент пропорциональности;

$X_{\text{вх}}$ – входной сигнал (перемещение плунжера).

Дифференциальный принцип формирования выходного сигнала увеличивает чувствительность преобразователя в два раза, так как при перемещении плунжера, например, вверх, растет напряжение в верхней обмотке (\bar{U}_1) из-за роста коэффициента трансформации, на столько же снижается напряжение в нижней обмотке (\bar{U}_2).

Дифференциально-трансформаторные преобразователи получили широкое распространение в системах контроля и регулирования благодаря своей надежности и простоты. Их размещают в первичных и вторичных приборах измерения давления, расхода, уровней и пр.

Более сложными является ферродинамические преобразователи (ПФ) угловых перемещений (рис. 7.4 б и 7.5).

Здесь в воздушном зазоре магнитопровода (1) помещен цилиндрический сердечник (2) с обмоткой в виде рамки. Сердечник установлен с помощью кернов и может поворачиваться на небольшой угол $\alpha_{\text{вх}}$ в пределах $\pm 20^\circ$. На обмотку возбуждения преобразователя (w_1) подается переменное напряжение 12 – 60 В, в результате чего возникает магнитный поток, пересекающий площадь рамки (5). В ее обмотке индуцируется ток, напряжение которого ($\bar{U}_{\text{вых}}$) при прочих равных условиях пропорционально углу поворота рамки ($\alpha_{\text{вх}}$), а фаза напряжения изменяется при повороте рамки в ту или иную сторону от нейтрального положения (параллельно магнитному потоку).

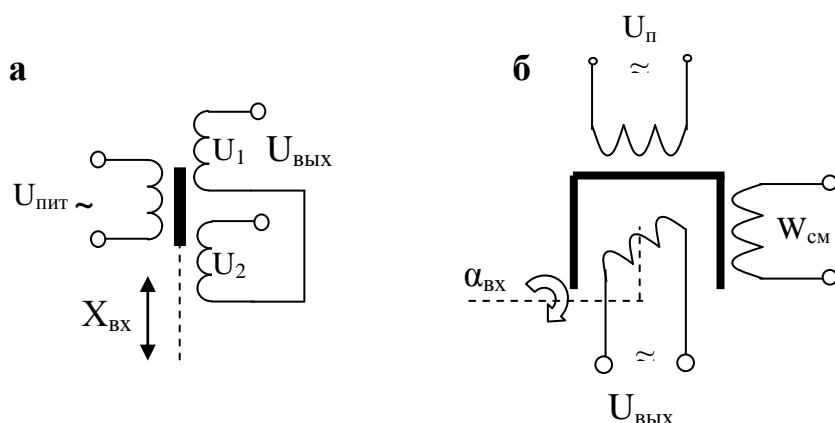


Рис. 7.4 Схема дифференциально-трансформаторного (а) и ферродинамического (б) преобразователей

Статические характеристики преобразователей ПФ показаны на рис. 7.6.

Характеристику 1 имеет преобразователь без включенной обмотки смещения ($W_{см}$). Если нулевое значение выходного сигнала нужно получить не в среднем, а в одном из крайних положений рамки, следует включить обмотку смещения последовательно с рамкой.

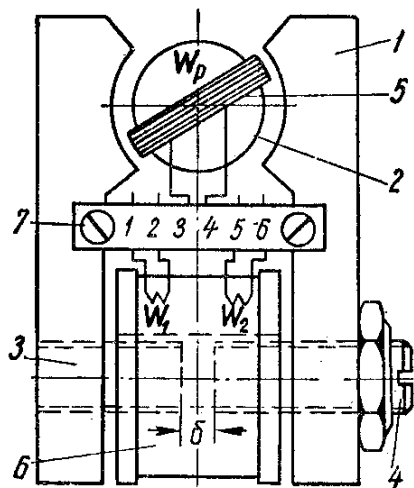


Рис. 7.5 Ферродинамический преобразователь

1- магнитопровод; 2 –цилиндрический сердечник; 3,4 – неподвижный и подвижный плунжеры; 5 – поворотная рамка с обмоткой w_p ; 6 – катушка с обмотками возбуждения (w_1) и смещения (w_2); δ - воздушный зазор

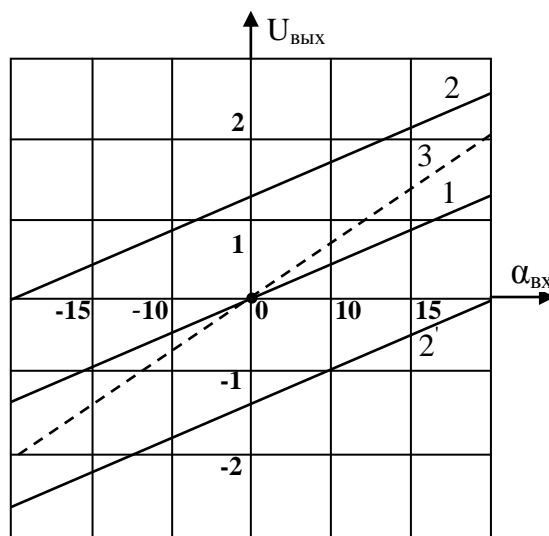


Рис. 7.6 Статические характеристики ферродинамического преобразователя

1 – без обмотки смещения; 2, 2' – с подключенной обмоткой смещения; 3 – при уменьшении воздушного зазора и отключенной обмотки смещения

В этом случае выходной сигнал – сумма напряжений снимаемых с рамки и обмотки смещения, чему соответствует характеристика 2 или 2', если изменить подключение обмотки смещения на противофазное.

Важным свойством ферродинамического преобразователя является возможность изменения крутизны характеристики. Это достигается изменением величины воздушного зазора (δ) между неподвижным (3) и подвижным (4) плунжерами магнитопровода, ввинчивая или вывинчивая последний.

Рассмотренные свойства преобразователей ПФ используют при построении относительно сложных систем регулирования с выполнением простейших вычислительных операций.

Общепромышленные датчики физических величин.

Эффективность процессов обогащения во многом зависит от технологических режимов, которые в свою очередь определяются значениями параметров, влияющих на эти процессы. Многообразие обогатительных процессов обуславливает большое количество технологических параметров, требующих своего контроля. Для контроля некоторых физических величин достаточно иметь стандартный датчик с вторичным прибором (например, термопара - автоматический потенциометр), для других необходимы до-

полнительные устройства и преобразователи (плотномеры, расходомеры, золомеры и пр.).

Среди большого количества промышленных датчиков можно выделить датчики, широко применяемые в различных отраслях промышленности в качестве самостоятельных источников информации и как составные элементы более сложных датчиков.

В данном подразделе рассмотрим наиболее простые общепромышленные датчики физических величин.

Датчики температуры. Контроль тепловых режимов работы котлоагрегатов, сушильных установок, некоторых узлов трения машин позволяет получить важную информацию, необходимую для управления работой указанных объектов.

Манометрические термометры. Данное устройство включает в себя чувствительный элемент (термобаллон) и показывающий прибор, соединенных капиллярной трубкой и заполненных рабочим веществом. Принцип действия основан на изменении давления рабочего вещества в замкнутой системе термометра в зависимости от температуры.

В зависимости от агрегатного состояния рабочего вещества различают жидкостные (ртуть, ксилол, спирты), газовые (азот, гелий) и паровые (насыщенный пар низкокипящей жидкости) манометрические термометры.

Давление рабочего вещества фиксируется манометрическим элементом – трубчатой пружиной, раскручивающейся при повышении давления в замкнутой системе.

В зависимости от вида рабочего вещества термометра пределы измерения температуры составляют от -50° до $+1300^{\circ}\text{C}$. Приборы могут оснащаться сигнальными контактами, записывающим устройством.

Терморезисторы (термосопротивления). Принцип действия основан на свойстве металлов или полупроводников (*термисторы*) изменять свое электрическое сопротивление с изменением температуры. Эта зависимость для терморезисторов имеет вид:

$$R_x = R_0 [1 + \alpha_T (T_x - T_0)], \quad (7.2)$$

где R_0 – сопротивление проводника при $T_0=293^{\circ}\text{K}$;

α_T – температурный коэффициент сопротивления

Чувствительные металлические элементы изготавливают в виде проволочных катушек или спиралей в основном из двух металлов – меди (для низких температур – до 180°C) и платины (от -250° до 1300°C), помещенных в металлический защитный кожух.

Для регистрации контролируемой температуры терморезистор, как первичный датчик, подключается к автоматическому мосту переменного тока (вторичный прибор), данный вопрос будет рассмотрен ниже.

В динамическом отношении терморезисторы можно представить апериодическим звеном первого порядка с передаточной функцией $W(p)=k/(Tp+1)$, если же постоянная времени датчика (T) значительно мень-

ше постоянной времени объекта регулирования (контроля), допустимо принимать данный элемент как пропорциональное звено.

Термопары. Для измерения температур в больших диапазонах и выше 1000°С обычно применяют термоэлектрические термометры (термопары).

Принцип действия термопар основан на эффекте возникновения ЭДС постоянного тока на свободных (холодных) концах двух разнородных спаянных проводников (горячий спай) при условии, что температура холодных концов отличается от температуры спаивания. Величина ЭДС пропорциональна разности этих температур, а величина и диапазон измеряемых температур зависит от материала электродов. Электроды с нанесенными на них фарфоровыми бусами помещаются в защитную арматуру.

Подключение термопар к регистрирующему прибору производится специальными термоэлектродными проводами. В качестве регистрирующего прибора может использоваться милливольтметр с определенной градуировкой или автоматический мост постоянного тока (потенциометр).

При расчете систем регулирования термопары могут представляться, как и терморезисторы, аperiodическим звеном первого порядка или пропорциональным.

Промышленность выпускает различные типы термопар (табл. 7.1).

Таблица 7.1 Характеристика термопар

Тип	Сочетание электродов (сплавы, металл)	Пределы измерения °С
ТХК	Хромель-копель	- 50 - 600
ТХА	Хромель-алюмель	0 – 1000
ТПП	Платинородий-платина	0 - 1600
ТВМ	Вольфрам-молибден	0 - 2000

Датчики давления. Датчики давления (разряжения) и перепада давления получили самое широкое применение в горно-обогатительной отрасли, как общепромышленные датчики, так и в качестве составных элементов более сложных систем контроля таких параметров, как плотность пульпы, расход сред, уровень жидких сред, вязкость суспензии и п.п.

Приборы для измерения избыточного давления называются *манометрами* или *напорометрами*, для измерения вакуумметрического давления (ниже атмосферного, разряжение) – вакуумметрами или тягомерами, для одновременного измерения избыточного и вакуумметрического давления - мановакуумметрами или тягонапорометрами.

Наибольшее распространение получили датчики пружинного типа (деформационные) с упругими чувствительными элементами в виде манометрической пружины (рис. 7.7 а), гибкой мембраны (рис. 7.7 б) и гибкого сильфона.

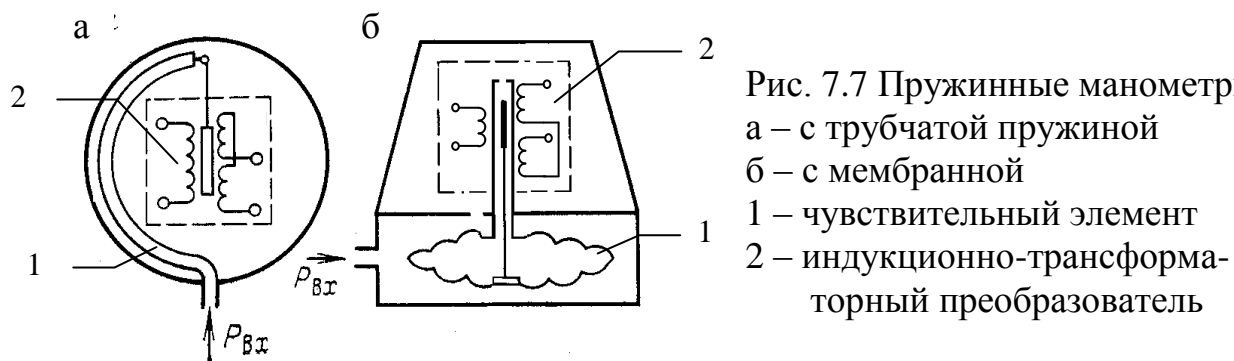


Рис. 7.7 Пружинные манометры
а – с трубчатой пружиной
б – с мембранной
1 – чувствительный элемент
2 – индукционно-трансформаторный преобразователь

Для передачи показаний на регистрирующий прибор в манометрах может быть встроен преобразователь перемещения. На рисунке показаны индукционно-трансформаторные преобразователи (2), плунжеры которых связаны с чувствительными элементами (1 и 2).

Приборы для измерения разности двух давлений (перепада) называются дифференциальными манометрами или дифманометрами (рис. 7.8). Здесь давление воздействует на чувствительный элемент с двух сторон, эти приборы имеют два входных штуцера для подачи большего (+P) и меньшего (-P) давления.

Дифманометры можно разделить на две основные группы: жидкостные и пружинные. По виду чувствительного элемента среди пружинных наиболее распространены мембранные (рис. 7.8а), сильфонные (рис. 7.8 б), среди жидкостных - колокольные (рис. 7.8 в).

Мембранный блок (рис. 7.8 а) обычно заполняется дистиллированной водой.

Колокольные дифманометры, у которых чувствительным элементом является колокол, частично погруженный вверх дном в трансформаторное масло, являются наиболее чувствительными. Они применяются для измерения небольших перепадов давления в пределах 0 – 400 Па, например, для контроля разряжения в топках сушильных и котельных установок

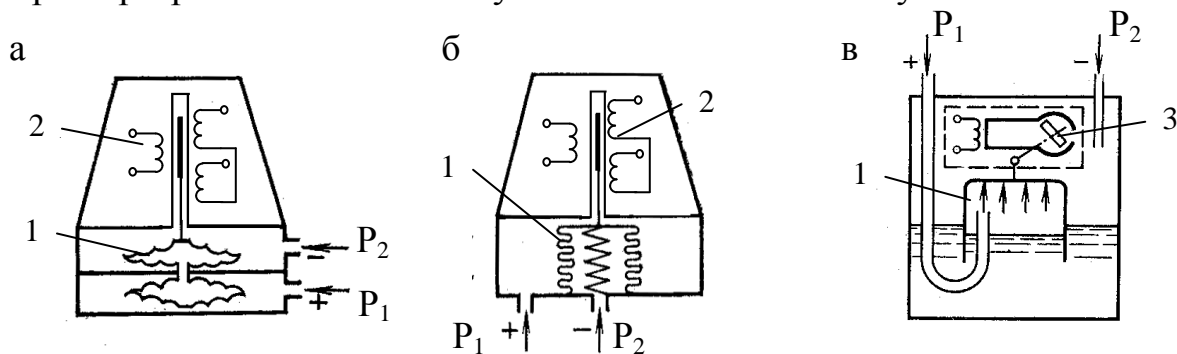


Рис. 7.8 Дифференциальные манометры
а – мембранный; б – сильфонный; в – колокольный
1 – чувствительный элемент; 2 – трансформаторный преобразователь перемещения; 3 – ферродинамический преобразователь перемещения

Рассмотренные дифманометры относятся к бесшкальным, регистрация контролируемого параметра осуществляется вторичными приборами, на которые поступает электрический сигнал от соответствующих преобразователей перемещения.

Датчики механических усилий. К этим датчикам относятся датчики, содержащие упругий элемент и преобразователь перемещения, тензометрические, пьезоэлектрические и ряд других (рис. 7.9).

Принцип работы данных датчиков ясен из рисунка. Отметим, что датчик с упругим элементом может работать с вторичным прибором – компенсатором переменного тока, тензометрический датчик – с мостом переменного тока, пьезометрический – с мостом постоянного тока. Подробнее этот вопрос будет изложен в последующих разделах.

Тензометрический датчик представляет собой подложку на которую наклеено несколько витков тонкого провода (специальный сплав), либо металлической фольги как показано на рис. 7.9б. Датчик наклеивается на чувствительный элемент, воспринимающий нагрузку F , с ориентацией длинной оси датчика по линии действия контролируемой силы. Этим элементом может быть любая конструкция, находящаяся под воздействием силы F и работающая в пределах упругой деформации. Этой же деформации подвергается и тензодатчик, при этом проводник датчика удлиняется либо сокращается по длинной оси его установки. Последнее приводит к изменению его омического сопротивления по известной из электротехники формуле $R=\rho l/S$.

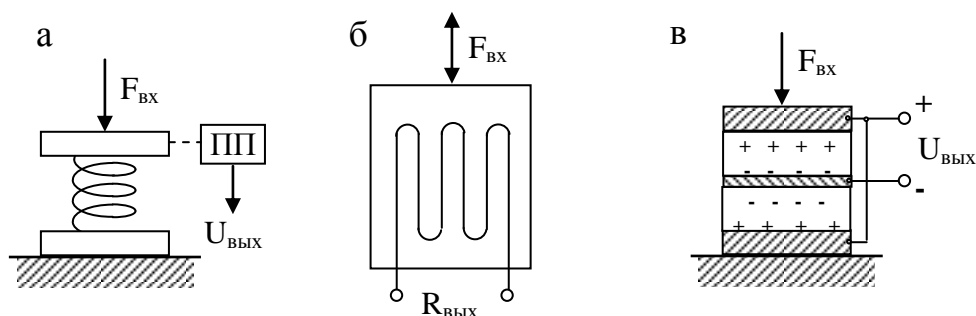


Рис. 7.9 Датчики механических усилий

а – с упругим элементом и преобразователем перемещения (ПП);
 б – тензометрический; в - пьезометрический

Добавим здесь, что рассмотренные датчики могут быть использованы при контроле производительности ленточных конвейеров (рис.7.10 а), измерении массы транспортных средств (автомобилей, железнодорожных вагонов, рис. 7.10 б), массы материала в бункерах и пр.

Оценка производительности конвейера основана на взвешивании определенного участка нагруженной материалом ленты при постоянной скорости ее движения. Вертикальное перемещение весовой платформы (2), установленной на упругих связях, вызванное массой материала на ленте, передается на плунжер индукционно-трансформаторного преобразователя (ИТП), который формирует информацию на вторичный прибор ($U_{ВЫХ}$).

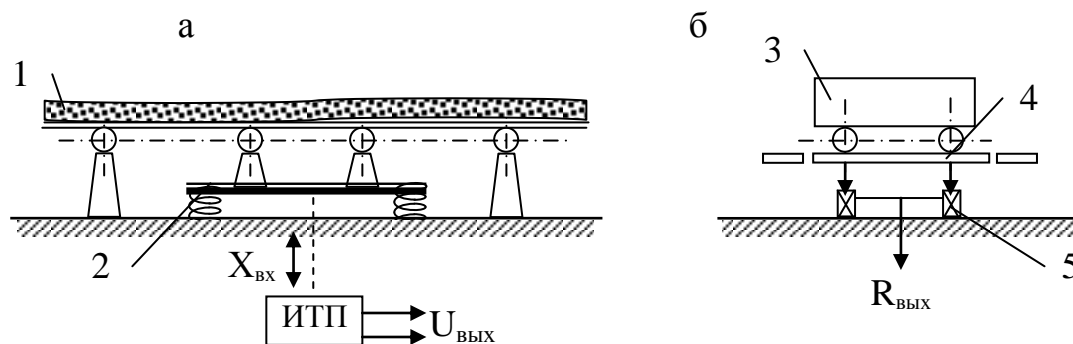


Рис. 7.10 Варианты контроля производительности конвейера (а) и массы вагона (б)

1 – ленточный конвейер; 2 - весовая платформа с упругими элементами;
3 – вагон; 4 – весовая платформа; 5 – тензометрический блок

Для взвешивания железнодорожных вагонов, груженых автомобилями весовая платформа (4) опирается на тензометрические блоки (5), представляющие собой металлические опоры с наклеенными тензометрическими датчиками, которые испытывают упругую деформацию, зависящую от массы объекта взвешивания.

7.2 Автоматический контроль уровней и расходов продуктов

Автоматический контроль уровней сред

Классификация уровнемеров. Автоматический контроль уровней различных сред - необходимое условие при управлении рядом технологических процессов и автоматизации работы некоторых обогатительных машин: автоматизация заполнения бункеров сыпучим материалом, стабилизация уровней пульп в вакуум-фильтрах, флотационных машинах, зумпфах и т.п.

Средства и схемы контроля уровней сред классифицируются на *непрерывные (аналоговые)* и *дискретные (релейные)*. Аналоговые уровнемеры применяются при необходимости получения непрерывной информации о текущем значении уровней, например, при автоматическом управлении процессами и аппаратами. Дискретные уровнемеры контролируют фиксированный (заданный) уровень среды. Вид информации о значении уровня в этом случае – оптическая и звуковая сигнализация.

По способу контроля уровня существует более широкая классификация. Наиболее применяемые уровнемеры: электродные, поплавковые, манометрические, пьезометрические, емкостные, радиоизотопные, фотометрические и пр.

Электродные уровнемеры. Для дискретного контроля уровней сыпучих и жидких токопроводящих сред получили наибольшее распростране-

ние. В горно-обогатительной практике широко применяется электродный указатель уровня УКС-1У и ранняя модификация – ИКС-2Н.

Упрощенная схема электродного уровнемера представлена на рис. 7.11.

Работа схемы проста. При достижении поверхности среды конца датчика уровня (ДУ) возникает электрическая цепь от источника питания U_1 , что вызывает срабатывание реле P1. Замыкающийся при этом его контакт P1-1 подает питание U_2 на промежуточное реле P2, контакты которого (на схеме показан один) могут использоваться для сигнализации и блокировки электрических цепей управления приводами оборудования, например, выключить конвейер подачи материала в бункер.

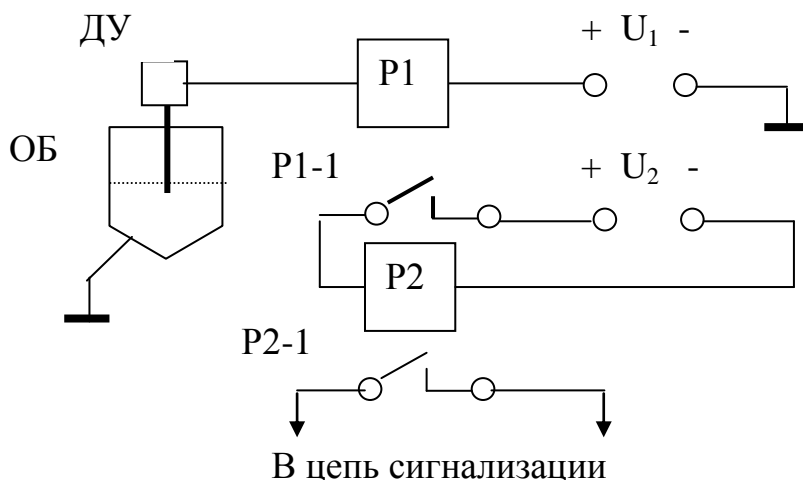


Рис. 7.11 Упрощенная схема электродного датчика уровня

ДУ - датчик уровня; ОБ - объект контроля; P1 - обмотка чувствительного реле; P2 - промежуточное реле; P1-1 и P2-1 контакты реле, соответственно, P1 и P2.

Схема промышленного УКС обеспечивает искробезопасность при контакте электрода с контролируемым материалом, например, в бункере, где возможно скопления метана, ликвидирует ложное срабатывание реле при запыливании электродного блока и имеет возможность контролировать 2 уровня: нижний и верхний, используя два электрода.

Поплавковые уровнемеры. Применяются для непрерывного контроля уровней в основном чистых жидкостей. Для регистрации контролируемого уровня достаточно кинематически связать перемещение поплавка с любым преобразователем перемещения и передать полученный сигнал на вторичный прибор.

Манометрический уровнемер. Применяется для непрерывного контроля уровней любых с открытой поверхностью жидких сред, включая пульпы и суспензий. Наиболее простой и надежный способ. Схема приведена на рис. 7.12.

Уровнемер состоит из манометрической трубки (1), помещенной в объекте на глубину необходимого для контроля уровня (h), дифференциального манометра (ДМ) и регистратора (вторичного прибора).

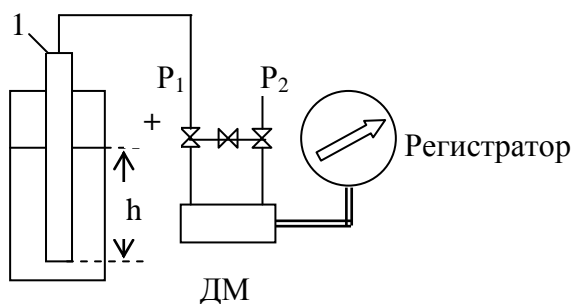


Рис. 7.12 Схема манометрического уровнемера

ДМ - дифманометр; 1 - патрубок; h - контролируемый уровень

Дифманометр измеряет перепад давлений:

$$\Delta P = P_1 - P_2;$$

где $P_1 = P_{атм} + \rho gh$; $P_2 = P_{атм}$

откуда $\Delta P = \rho gh$,

здесь ρ - плотность жидкости.

При постоянных ρ и g имеем $\Delta P = ch \equiv h$

Для данного уровнемера легко рассчитывается и выбирается тип дифманометра, соответствующий требуемым пределам измерения уровня.

Вероятность зашламования манометрической трубки можно снизить путем увеличения ее диаметра.

Пьезометрический уровнемер. Работа уровнемера (рис. 7.13а) основана на измерении давления воздуха, продуваемого через слой жидкости с помощью пьезометрической трубки. Это давление теряется на преодоление гидростатического давления P жидкости:

$$P = \rho gh,$$

где ρ - плотность жидкости; g - ускорение силы тяжести; h - толщина слоя жидкости.

Основной недостаток данного уровнемера - необходимость использования очищенного сжатого воздуха.

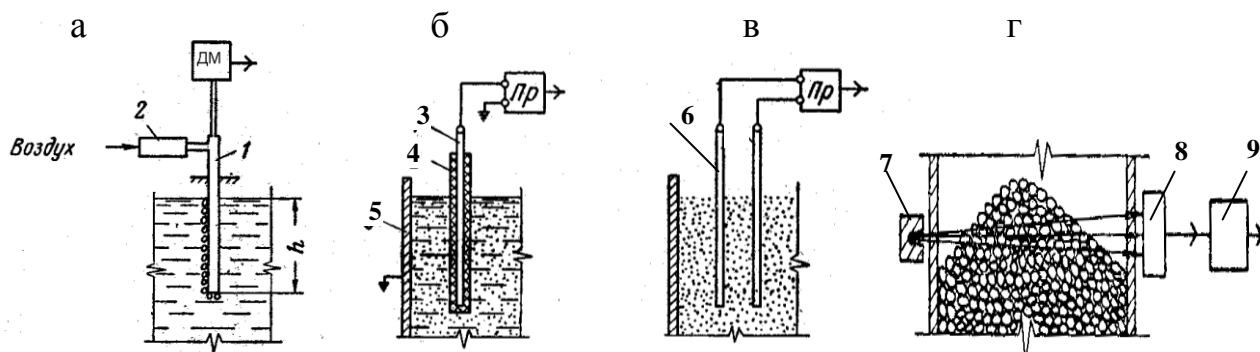


Рис. 7.13 Схемы пьезометрического (а), емкостного (б, в) и радиоизотопного (г) уровнемеров

1 - пьезометрическая трубка; 2 - редуктор давления; 3, 6 - электроды; 4 - изоляционный слой; 5 - стенка аппарата (второй электрод); 7 - гамма-источник; 8 - детектор; 9 - электронный блок; ДМ - дифманометр; Пр - преобразователь

При изменении уровня жидкости меняется площадь обкладки образованного конденсатора, что сопровождается изменением емкости.

Емкостный уровнемер. В основе работы уровнемера лежит измерение емкости конденсатора, образованного погруженным в среду электродом и непосредственно контролируемой средой.

Для жидких электропроводящих сред применяются первичные преобразователи с одним электродом (рис. 7.13 б), покрытым изоляционным слоем. Роль второго электрода играет измеряемая среда.

Для измерения уровня неэлектропроводящих сред используется первичный преобразователь с двумя неизолированными электродами (рис. 7.13 в).

Измерение емкости и преобразование ее в пропорциональный изменению уровня выходной сигнал осуществляется промежуточным преобразователем (Пр), содержащим индуктивно-емкостный мост.

Радиоизотопный уровнемер (гамма-реле). Предназначен для дискретного контроля уровня твердых и жидких сред, например, контроль заполнения бункеров, баков оборотной и технической воды и пр.

Работа основана на том, что гамма-излучение поглощается контролируемой средой в значительно большей степени, чем веществом, находящимся над ней. Уровнемер (рис. 7.13 г) содержит источник гамма-излучения (7), блок детектирования (8) и электронный блок (9). Сигнал с электронного блока управляет промежуточным реле, контакты которого используются для сигнализации и в цепях блокировки.

Контроль расходов жидких и газообразных сред

Расходомеры переменного уровня. Расходомеры данного типа реализуют известную зависимость расхода жидкости через отверстие истечения, расположенного в дне сосуда, от уровня жидкости:

$$Q = \beta F_0 \sqrt{2gh}, \quad (7.3)$$

где β – коэффициент расхода;

F_0 – площадь отверстия истечения;

g – ускорение силы тяжести;

h – уровень жидкости

Наибольшее распространение получили расходомеры с пульпосливом (рис. 7.14), где контролируемая среда вытекает из вспомогательной емкости (расходомерный бак) через калиброванную щель. Они получили название – *щелевые расходомеры*.

В случае прямоугольной щели (рис. 7.14 б) расход жидкости определяется выражением:

$$Q = mb\sqrt{2gh^{\frac{3}{2}}} = Kh^{\frac{3}{2}}, \quad (7.4)$$

здесь m – коэффициент расхода (для пульп $m=0,65$);

b – ширина порога слива;

K – постоянный коэффициент

Как следует из формулы, связь между расходом жидкости и уровнем нелинейна, что создает некоторые трудности при контроле параметра.

Связь можно получить линейной, если сделать переменной ширину порога слива (b_i):

$$b_i = \frac{K}{m\sqrt{2gh_i}} \quad (7.5)$$

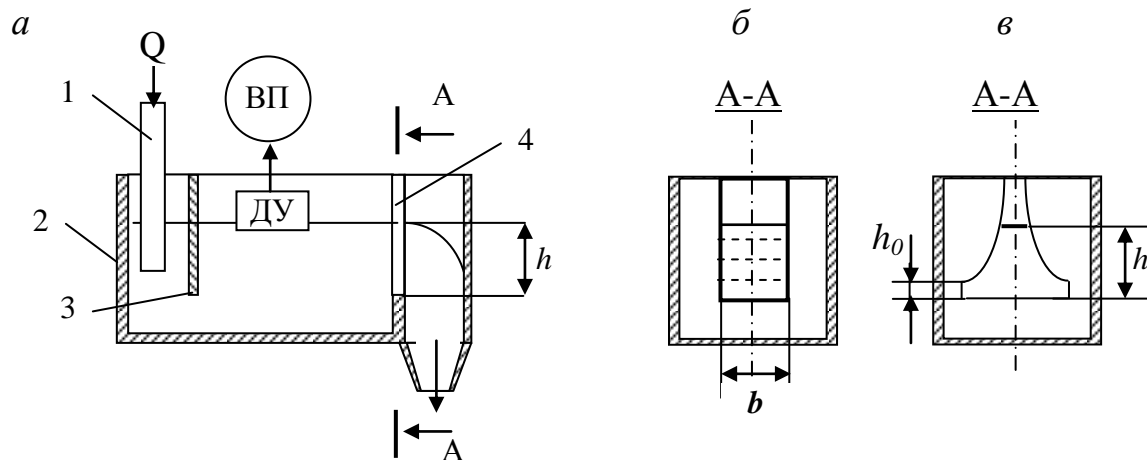


Рис. 7.14 Щелевой расходомер

а – общая схема; б – прямоугольный пульпослив; в – пропорциональный пульпослив;
 1 – питающий патрубок; 2 – расходомерный бак; 3 – перегородка успокоительная; 4 – перегородка с щелью истечения;
 ДУ – датчик уровня; ВП – вторичный регистрирующий прибор

Коэффициент K определяется по формуле $K = Q_{max}/h_{max}$

Профиль щели, построенный по уравнению (7.5) показан на рис. 7.14,

в.

В нижней части криволинейный профиль заменяется прямоугольным, так как при приближении h_i к 0 величина b стремится к бесконечности. Поэтому начальным участком шкалы (h_0) пользоваться нельзя.

Щелевые расходомеры широко применяются при контроле расходов пульп и суспензий.

Расходомеры переменного перепада давления (РППД). Используются при контроле расходов жидких и газообразных сред. Позволяют измерять большие расходы сред при высоких внутренних давлениях в трубопроводах.

Принцип работы основан на измерении перепада давления, возникающего на специальном сужающем устройстве, помещенном в трубопроводе. Виды сужающих устройств показаны на рис. 7.15.

Перепад давления $\Delta p = p_1 - p_2$ возникает в соответствии с законом Бернулли:

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2g} = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2g}, \quad (7.6)$$

где p_1, v_1 – давление и скорость потока до сужающего устройства;

p_2, v_2 – то же после сужающего устройства;

ρ – плотность среды

Из (6.6) следует: $\Delta p = \rho \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$

Массовый расход составит:

$$Q = \alpha S \sqrt{2g\Delta p}, \quad (7.7)$$

здесь α – коэффициент, зависящий от типа сужающего устройства;
 S – сечение проходного отверстия сужения

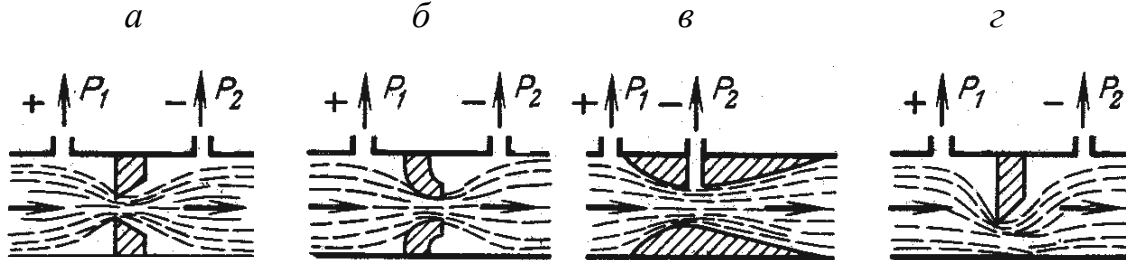


Рис. 7.15 Виды сужающих устройств

a – нормальная диафрагма; *б* – сопло; *в* – труба Вентури; *г* – сегментная диафрагма

Достаточная точность контроля обеспечивается только стандартными сужающими устройствами (на рис. 7.15 *a*, *б*, *в*), которые изготавливаются с высокой точностью из специальных сталей. Для чистых жидкостей и газов применяют нормальные диафрагмы, для контроля расходы пульп и суспензий рекомендуется использовать сопло или трубу Вентури (рис. 7.16), рабочие поверхности которых для повышения износостойкости могут футероваться различными стойкими к истиранию материалами (например, каменное литье) или гуммироваться.

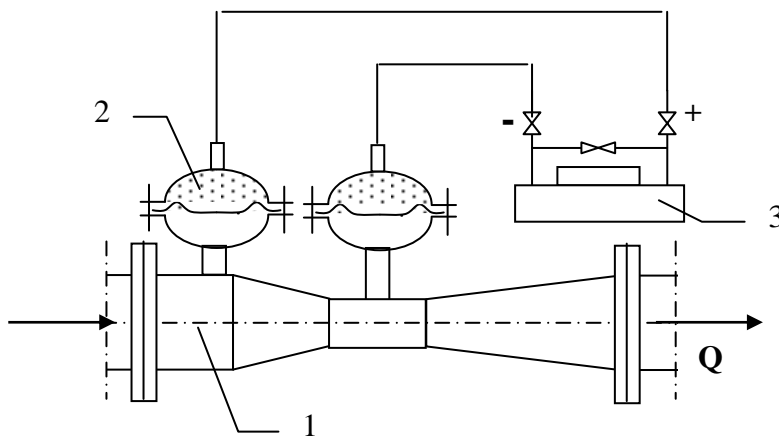


Рис. 7.16 Расходомер с трубой Вентури

1 – труба Вентури; 2 – разделительные сосуды; 3 – дифманометр

Для предотвращения попадания твердой фазы контролируемой среды в полости дифманометров отбор давлений осуществляется с помощью разделительных сосудов (2).

Верхняя и нижняя полости разделительных сосудов разделены вялой мембраной, при этом верхние полости и полости дифференциального манометра заливаются дистиллированной водой.

Расходомеры постоянного перепада давлений. К данной группе относятся ротаметры и поршневые расходомеры (рис. 7.17). Здесь при изменении расхода среды меняется проходное сечение за счет перемещения рабочего элемента вверх – поплавка в ротаметрах или поршня в поршневых расходомерах.

Перемещение рабочих элементов преобразуется в электрический сигнал с помощью трансформаторных преобразователей.

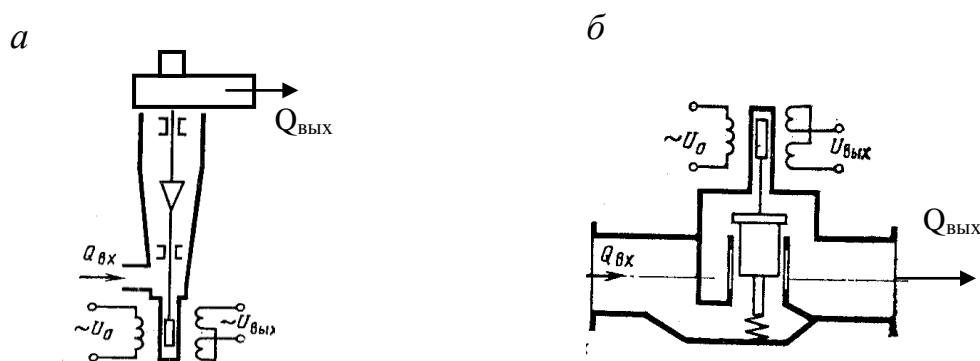


Рис. 7.17 Схема ротаметра (а) и поршневого расходомера (б)

Ротаметры применяются для измерения небольших расходов газообразных и жидких (преимущественно чистых) сред.

Поршневые расходомеры могут контролировать расходы вязких жидкостей, например, мазута.

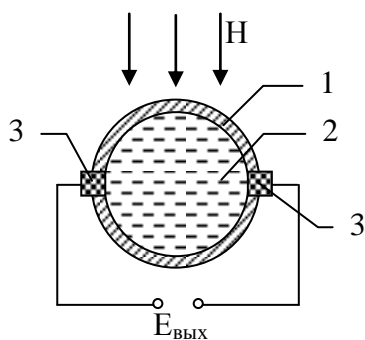


Рис. 7.18 Схема электромагнитного расходомера

Электромагнитные расходомеры. Применяются для контроля больших расходов жидких токопроводящих сред (рис. 7.18). В основе работы лежит известный закон электромагнитной индукции (закон Фарадея).

Расходомер содержит участок трубы (1), выполненный из немагнитного и неэлектропроводного материала, который пронизывается магнитным полем (H). В столбиках жидкости (2), пересекающих магнитный поток со скоростью V , наводится эдс:

$$E_{вых} = k l H V,$$

где k – коэффициент; l – длина столбика жидкости (расстояние между электродами (3)); H – напряженность поля; V – скорость потока.

Таким образом, измеряя $E_{вых}$, можно судить о расходе потока, который составит $Q = SV = SE / (klH)$,

здесь S – площадь сечения трубы.

Основные недостатки расходомера – невысокая точность измерения, зависимость показаний прибора от свойств контролируемой среды.

В промышленности хорошо себя зарекомендовал электромагнитный расходомер МР-400К.

7.3 Контроль свойств суспензий и состава жидких и твердых сред

Из многочисленных способов контроля плотности пульп и суспензий (ареометрический, пьезометрический, гидростатический, манометрический, весовой, радиоизотопный) рассмотрим наиболее применяемые в обогащательной отрасли.

Манометрический плотномер. Получил самое широкое применение при контроле плотности угольных пульп. Это связано с высокой точностью

измерения, надежностью и простотой прибора. Основным недостатком плотномера – необходимость разрыва контролируемой среды и компоновочные сложности, связанные с высотой устройства.

Плотномер состоит (рис. 7.19) из вертикально установленной трубы (1), цилиндрической емкости с кольцевой камерой отбора давления (2), переливной емкости (3) с приемной воронкой (4).

Цилиндрическая емкость содержит насадку (5) с калиброванным отверстием истечения. Диаметр отверстия выбирается таким, чтобы предотвратить его зашламование с одной стороны, и чтобы обеспечить

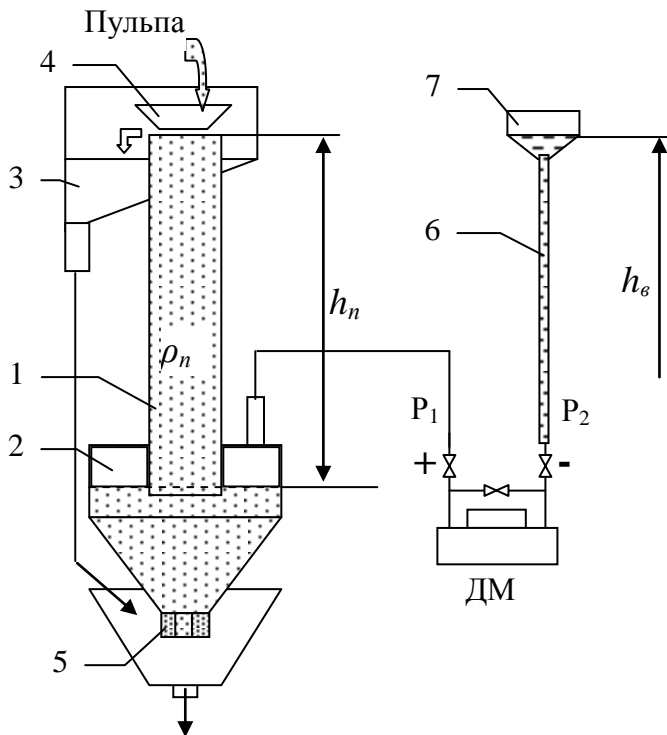


Рис. 7.19 Схема манометрического плотномера

наличие перелива в верхней части трубы (1). Последнее стабилизирует уровень пульпы h_n .

Для компенсации статического давления столба чистой жидкости, находящейся в измерительной трубе (1), предусмотрен моностат (6) с воронкой (7), заполненный чистой водой. Высота свободной поверхности воды в моностате относительно диафрагмы дифманометра (h_6) равна высоте (h_n).

Работа устройства состоит в следующем. Отобранная для контроля часть пульпы поступает в приемную воронку (4), где происходит ее очистка

от крупных инородных материалов, и заполняет систему плотномера до наличия перелива из трубы. Тогда дифманометр измеряет разность давлений:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = P_{атм} + \rho_n g h_n - P_{атм} - \rho_в g h_в = g h (\rho_n - 1) = c (\rho_n - 1) \quad (7.8)$$

где $P_{атм}$ – атмосферное давление;

ρ_n – плотность пульпы;

$\rho_в$ – плотность воды ($\rho_в = 1$);

$h_n = h_в$ – высота столбов жидкостей;

$c = g h$ – постоянный коэффициент.

Выражение (6.8) показывает, что при подаче в измерительную трубу чистой воды разность давлений $\Delta P = 0$, т.е. стрелка регистрирующего прибора установится на "0", что соответствует нулевому содержанию твердого в пульпе. Данное обстоятельство резко повышает чувствительность плотномера, что особенно важно при контроле малых плотностей, характерных для угольных пульп.

Заметим, что при отсутствии моностата вторичный прибор в этом случае будет регистрировать давление $\Delta P = \rho_в g h_в$, что резко сужает рабочий участок шкалы прибора при подаче в устройство пульпы.

Весовой плотномер. Для контроля более плотных суспензий, например, магнетитовых могут применяться надежные весовые плотномеры. Принципиальная схема плотномера ИПВФ (индикатор плотности весовой ферродинамический) показана на рис.7.20.

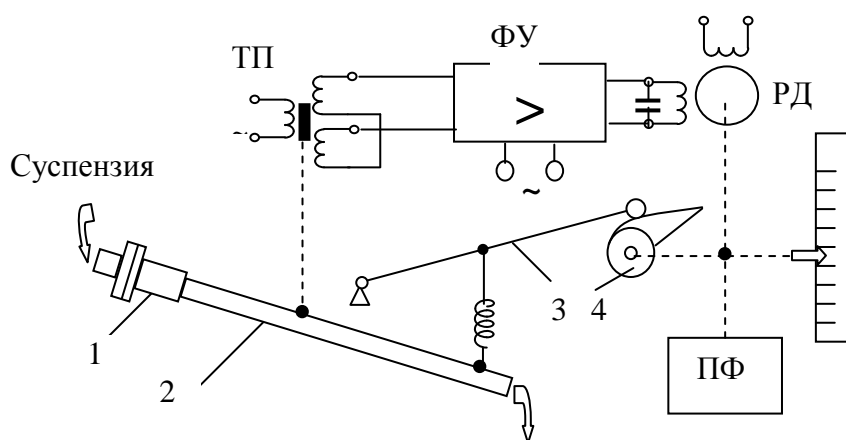


Рис. 7.20 Принципиальная схема весового
плотномера ИПВФ

1 - гибкий манжет; 2 - весовой патрубков; 3 - рычаг; 4 – лекало;

ТП – трансформаторный преобразователь перемещения;

РД – реверсивный электродвигатель; ФУ - фазочувствительный усилитель; ПФ – преобразователь ферродинамический

Принцип работы плотномера заключается в автоматическом измерении массы суспензии определенного объема, протекающей через весовой патрубков (2). В приборе использован компенсационный принцип измерения массы патрубков с суспензией.

При увеличении массы суспензии (увеличении ее плотности) весовой патрубков, благодаря наличию гибкого манжета (1), опускается.

Сердечник трансформаторного преобразователя (ТП), жестко закрепленный к патрубку, смещается относительно своего нейтрального положения. Это вызывает появление на входе усилителя (ФУ) напряжения.

Усиленный сигнал вызывает вращение ротора двигателя (РД), последний поворачивает лекало (4) в таком направлении, чтобы с помощью рычага (3) и пружины приподнять патрубок в исходное состояние, сердечник при этом занимает вновь нейтральное положение. Сигнал на входе усилителя исчезает, ротор РД останавливается, связанная с ним система регистрации фиксирует новое значение плотности суспензии.

Для передачи информации на вторичный прибор ВФСМ в плотномер встроены ферродинамический преобразователь (ПФ), рамка которого кинематически связана с ротором двигателя.

Плотномер выпускается Харьковским заводом КИПиА.

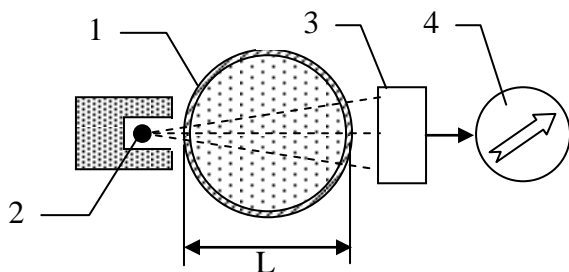
Радиоизотопный плотномер. Это наиболее технологичные плотномеры, определяющие плотность среды непосредственно в трубопроводе. Основной недостаток – невысокая точность измерения, особенно для пульп с малой плотностью твердой фазы, например, угольных.

Работа основана на зависимости поглощения радиоактивных излучений от плотности пульпы (рис. 7.21).

Интенсивность излучения, пронизывающего поток пульпы от источника (2) до приемного устройства (3) определяется выражением:

$$J \approx J_0 \exp(-\mu_m L \rho),$$

где J_0 – интенсивность излучения на выходе источника (при $L=0$);



μ_m – массовый коэффициент ослабления;

L – толщина слоя пульпы.

Для жесткого гамма-излучения массовый коэффициент ослабления практически не зависит от состава твердой фазы пульпы. Это позволяет получить однозначную зависимость вида:

$$\rho = \frac{1}{\mu_m L} \ln \frac{J_0}{J} \quad (7.9)$$

Рис. 7.21 Схема радиоизотопного плотномера

1 – трубопровод; 2 – источник излучения;
3 – приемное устройство; 4 – регистратор

На рудных обогатительных фабриках эксплуатируются плотномеры типа ПР-1027М и ПР-1028. Погрешность измерения этих плотномеров на медных и железорудных обогатительных фабриках составляет $\pm 2\%$.

Контроль вязкости суспензий

Вязкость суспензии – один из основных технологических параметров, определяющих эффективность тяжелосредной сепарации. Устройство для контроля вязкости суспензии (рис. 7.22) разработано на основе манометрического плотномера (рис. 7.19). Основным отличием является наличие не постоянного в измерительной трубке, а переменного столба суспензии, вы-

сота которого (H) зависит от скорости истечения суспензии через затопленную батарею патрубков.

Датчик вязкости состоит из приемного устройства (1), работающего с переливом, успокоителя потока (2) и втулки с калиброванным отверстием (3), обеспечивающим постоянный расход суспензии в измерительную трубу (4).

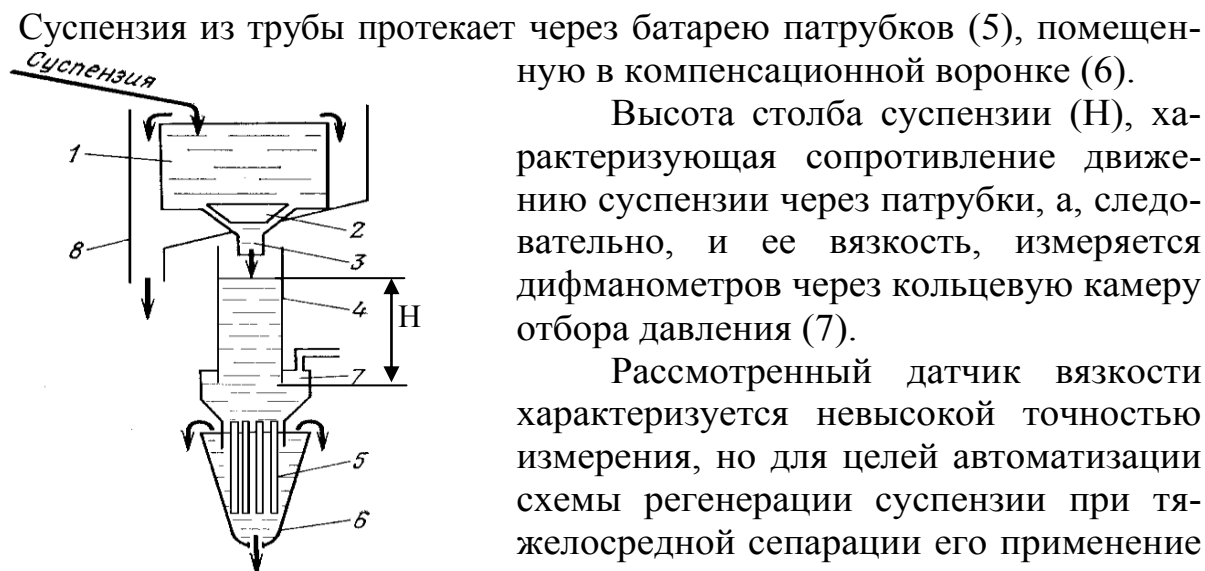


Рис. 7.22 Схема вискозиметра

Суспензия из трубы протекает через батарею патрубков (5), помещенную в компенсационной воронке (6). Высота столба суспензии (H), характеризующая сопротивление движению суспензии через патрубки, а, следовательно, и ее вязкость, измеряется дифманометров через кольцевую камеру отбора давления (7).

Рассмотренный датчик вязкости характеризуется невысокой точностью измерения, но для целей автоматизации схемы регенерации суспензии при тяжелосредней сепарации его применение оправдано.

Контроль состава жидких сред

Концентрация веществ, растворенных в жидкой фазе пульпы, является одним из важных параметров процессов флотации. Актуальными вопросами на обогатительных фабриках являются контроль концентрации реагентов и ионов в жидкой фазе пульпы, остаточной концентрации коагулянтов в оборотной воде, концентрация вредных веществ в сточных водах и пр.

Измерительные устройства для анализа состава и свойств пульп получили название *анализаторов жидкости*. В обогатительном производстве наибольшее распространение получили автоматические *иономерные* и *кондуктометрические* анализаторы.

Иономерный анализатор жидкости. Работа анализаторов основана на измерении *эдс* электродной системы, селективно зависящей от активности определенного иона. Электродная система состоит из двух электродов - измерительного, потенциал которого относительно раствора определяется концентрацией контролируемого иона в растворе, и вспомогательного, который практически не изменяет свой потенциал относительно раствора при изменении в нем концентрации ионов.

На обогатительных фабриках данные анализаторы могут использоваться для измерения концентрации активных водородных и сульфидных ионов, ионов ксантогената и концентрации цианидов.

Для определения *pH* пульпы (концентрации водородных ионов $[H^+]$) в качестве электродов принимают стеклянный электрод (рис. 7.23, *C*) и вспомогательный (сравнительный) электрод (*B*).

Стеклянный электрод представляет собой толстостенную стеклянную трубку с тонкостенным полым шариком (1), заполненную буферным раствором (2). В этот раствор помещен контактный электрод (3), передающий потенциал через ртутный контакт (4) и проводник (5) на выход датчика.

Вспомогательный электрод (В) подает потенциал на выход ($E_{\text{вых}}$) с помощью ртутно-каломелевой системы (6) со стеклянной ватой (7), помещенных в насыщенный раствор хлористого калия (8).

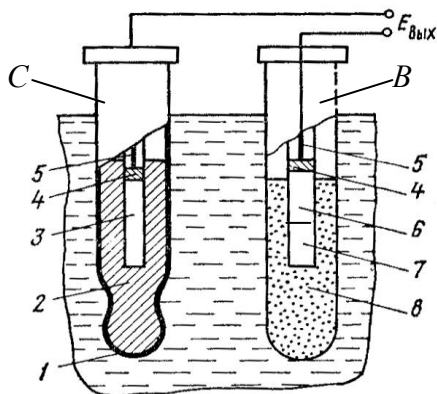


Рис. 7.23 Электродная система для измерения рН

С – стеклянный электрод;
В – вспомогательный электрод

Выходной сигнал ($E_{\text{вых}}$), пропорциональный рН пульпы, подается на вторичный прибор – мост постоянного тока.

На рудных обогатительных фабриках получили распространение рН-метры с датчиком типа ДПр-5254 и многоканальный анализатор концентраций реагентов и рН среды "Реагент 3Б" или АЖЭ-8.

Для измерения концентрации сульфидных ионов используется электродная система, состоящая из измерительного аргентитового электрода и вспомогательного

– хлорсеребряного. В этом случае на поверхности измерительного электрода возникает потенциал, пропорциональный величине рS, который измеряется по отношению к потенциалу вспомогательного электрода.

Если в пульпе отсутствуют сульфидные и цианидные ионы, аргентитовый электрод может быть применен для оценки концентрации ионов ксантогената.

Кондуктометрические анализаторы жидкости основаны на измерении электропроводности жидкости, зависящей от содержания в ней растворенных веществ и их природы. Данный анализатор применяется редко, так как он характеризуется слабой селективностью и может использоваться при наличии в растворе только одного вещества с большой концентрацией.

Контроль состава твердых продуктов

Автоматический контроль состава продуктов обогащения является важнейшей задачей автоматизации технологических процессов. Это сложная задача, которая решается по двум направлениям - разработка дискретного контроля с использованием стационарных анализаторов и создание средств автоматического контроля вещественного состава продуктов обогащения непосредственно в потоке.

Для систем автоматического управления процессами необходим оперативный, желателен непрерывный контроль в потоке, поэтому стационарные анализаторы здесь рассматривать не будем.

Наиболее перспективными анализаторами вещественного состава в потоке являются рентгеновские флуоресцентные спектрометры и радиоизотопные анализаторы.

Рентгеновские флуоресцентные спектрометры. Сущность работы данных спектрометров состоит в следующем. Под воздействием рентгеновского излучения атомы контролируемого вещества переходят в возбужденное состояние, при котором электроны, поглощая извне порции энергии, занимают более высокие энергетические уровни. Обратный переход сопровождается излучением энергии — вторичным ионизирующим излучением. При этом каждый элемент имеет свое излучение с дискретным индивидуальным энергетическим спектром. Это позволяет по спектру вторичного излучения определять наличие анализируемого элемента (качественный анализ), а по плотности потока энергии характеристического излучения — количество элемента (количественный анализ).

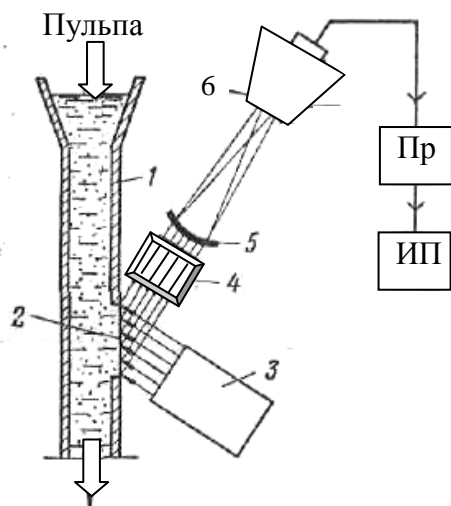


Рис. 7.24 Схема рентгеновского флуоресцентного спектрометра

Реализация рентгеновского флуоресцентного спектрометра, контролирующего в потоке пульпы отношение содержания двух элементов, подлежащих разделению, показан на рис. 7.24. Здесь контролируемая пульпа поступает в измерительную камеру (1), снабженную отверстием, закрытым тонкой пленкой (2).

Источником облучения пульпы является рентгеновская трубка (3). Вторичное излучение попадает на многопластинчатый коллиматор (4) и далее на кристалл кварца (5), разлагающий излучение в спектр. Характеристические излучения контролируемых элементов поочередно поступают в измерительную систему (6). Последняя, содержащая блоки детектирования, коммутации и вычисления, формирует сигнал для промежуточного преобразователя (Пр). На выходе преобразователя появляются сигналы, пропорциональные содержаниям контролируемых элементов, которые поступают на измерительный прибор (ИП), содержащий блок деления и регистрирующий отношение содержаний контролируемых элементов.

Следует отметить, что благодаря дифференциальному принципу измерения показания спектрометра не зависят от плотности пульпы. Рассмотренный метод заложен и в основе работы рентгеновского анализатора РАМ-1М, разработанного институтом УкрНИИУглеобогащение, и служащем для измерения зольности и влажности угля крупностью до 13 мм в потоке.

Радиоизотопные анализаторы. Принцип работы основан на зависимости поглощения или рассеяния гамма-излучения от состава контролируемого вещества. Из формулы (6.9) можно получить выражение:

$$\mu_m = \frac{1}{d\rho} \ln \frac{J_0}{J},$$

где μ_m — массовый коэффициент ослабления поглотителя;

ρ – плотность поглотителя толщиной d .

Для мягкого гамма-излучения существует достаточно сильная зависимость массового коэффициента ослабления от вещественного состава поглотителя. На этом принципе работает анализатор, показанный на рис. 7.25,а.

Анализатор содержит источник мягкого гамма-излучения (1), расположенный в контейнере (2), блок детектирования (4), преобразователь (Пр) и измерительный прибор (ИП). Одним из недостатков данной схемы является зависимость показания прибора от толщины слоя (d) контролируемого материала. Для ликвидации этой зависимости некоторые анализаторы содержат корректирующую схему, включающую дополнительный источник жесткого гамма-излучения, и компенсирующую влияние толщины слоя материала.

При вещественном анализе материала в жидких средах разработана схема, приведенная на рис. 7.25, б. Здесь использован принцип зависимости плотности потока энергии ионизирующего излучения, рассеянного контролируемой средой, от вещественного состава среды. Схема содержит те же элементы, что и вышерассмотренная, добавлен коллиматор (5) и свинцовый экран, покрывающий блок излучения и коллиматор (на схеме не показан). В зависимости от содержания в контролируемой среде элементов с высокими атомными номерами изменяется плотность потока энергии излучения, рассеянного под определенным углом.

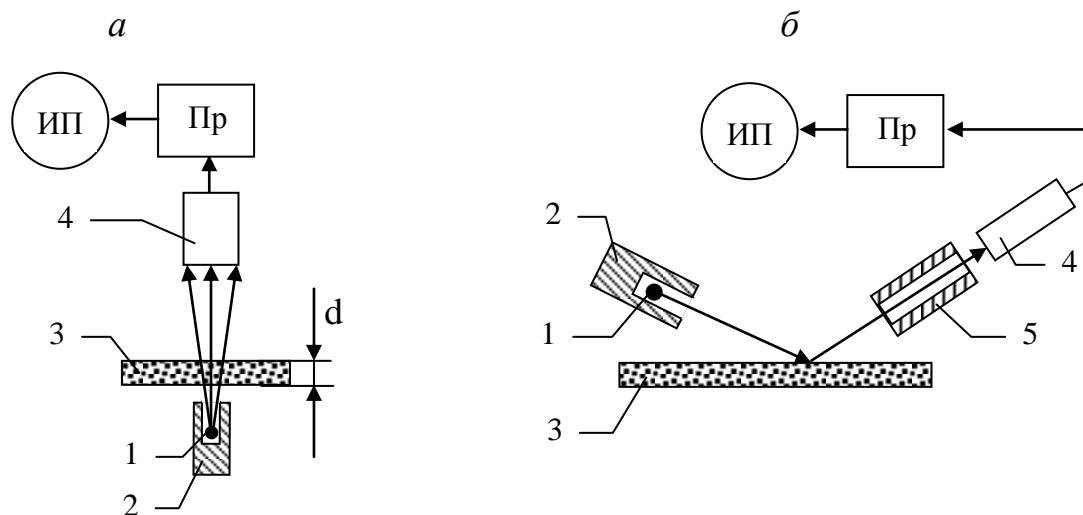


Рис. 7.25 Схемы радиоизотопных анализаторов

а – по поглощению гамма-излучения; б – по рассеянию гамма-излучения

На рассмотренном принципе работают некоторые автоматические золомеры углей в потоке, например, золомеры РКПТ-2, ВСКЗ-2, разработанный в ДонУГИ. В данных золомерах используют источники гамма-излучения [2].

Контроль влажности продуктов обогащения

Оперативный контроль влажности продуктов обогащения – необходимое условие автоматического управления процессами обезвоживания и термической сушки. Из большого количества существующих косвенных методов контроля влажности материалов наиболее перспективными являются: емкостный, нейтронный, инфракрасный и рентгенометрический.

Емкостные высокочастотные влагомеры. Принцип действия влагомеров данной группы основан на зависимости диэлектрической проницаемости контролируемого материала, находящегося в высокочастотном электрическом поле, от его влажности. В качестве первичного датчика здесь могут использоваться различные конструкции устройств типа электрических конденсаторов, где между его обкладками располагается контролируемый материал, диэлектрическая проницаемость которого в большой зависимости находится от его влажности.

На углеобогатительных фабриках получил распространение емкостный влагомер ВАК-4 (рис.7.26)., разработанный институтом УкрНИИУглеобогащение. Датчик имеет форму "лыжи", опирающейся с постоянным усилием на транспортируемый материал. Чувствительный элемент датчика (рис. а), закрепленный на дне "лыжи", представляет собой плоскую ячейку с кольцевыми (2) или прямоугольными электродами, укрепленными на диэлектрическом основании (1) и имеющими односторонний контакт с контролируемым материалом. Измерительная система влагомера содержит корректирующую схему, ликвидирующую чувствительность выходного сигнала преобразователя (Пр) к изменению активного сопротивления контролируемого материала.

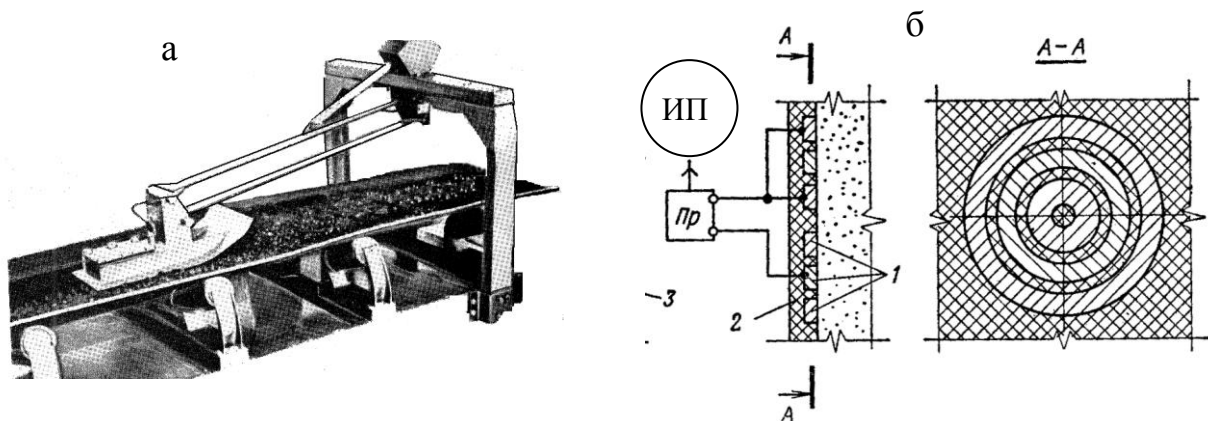


Рис. 7.26 Высокочастотный емкостный влагомер ВАК-4
а - внешний вид датчика влажности; б – чувствительный элемент;
Пр - преобразователь; ИП – измерительный прибор

В качестве измерительного прибора (ИП) использован вторичный прибор – автоматический потенциометр.

Нейтронные влагомеры. Нейтронный метод измерения влажности основан на потере энергии быстрых нейтронов при их столкновении с атомами водорода, содержащимися в молекуле воды.

При столкновении нейтронов с ядрами других элементов потеря энергии значительно меньше. В данном влагомере (рис. 7.27) источник нейтронного излучения (1) и блок детектирования медленных нейтронов (2) помещены в защитном кожухе (3), около которого непрерывно проходит контролируемый материал. Сигнал от блока детектирования поступает на промежуточный преобразователь (Пр) и далее на измерительный прибор (ИП).

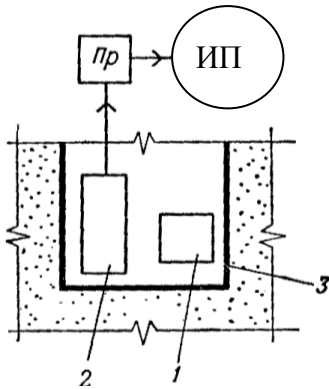


Рис. 6.27 Схема нейтронного влагомера

Масса материала в контролируемом объеме должна быть постоянной, данное требование – основной недостаток влагомера.

Инфракрасные влагомеры. Относятся к группе оптических анализаторов. Принцип работы основан на способности поглощения содержащейся в контролируемом материале водой энергии излучения с длиной волны в инфракрасной области (от 0.75 до 2.5 мкм).

Получили промышленное применение инфракрасные влагомеры типа ВКИ-1, ВСМИ-1, АНАКОН, измеряющие влажность материала в потоке на конвейере. Измерительная головка приборов устанавливается над лентой. Компенсация влияния других физико-химических свойств материала используется дополнительный источник инфракрасного излучения.

Достоинство данных влагомеров – отсутствие непосредственного контакта первичного датчика с измеряемым материалом. Основной недостаток заключается в том, что они являются измерителями только поверхностной влаги.

Контроль гранулометрического состава материала

Способы автоматического контроля гранулометрического состава могут основываться на непосредственных измерениях крупности частиц и косвенных методах.

На рис. 7.28 а приведена схема гранулометра "Микрон", работающего на принципе прямого измерения зернистых частиц твердой фазы в потоке пульпы. Гранулометр может использоваться в рудном обогатительном производстве.

Чувствительным элементов здесь является микроскопический щуп (1), шарнирно соединенный штоком (2) с рычагом (3), кинематически связанным с трансформаторным преобразователем (Пр). При работе двигателя (Дв) кулачковый механизм (4) периодически поднимает щуп над пятой (5), в следующий период измерения пружина (6) прижимает его к пяте. Зазор между этими элементами характеризует размер единичного зерна, попавшего в рабочую зону. Величина этого зазора с помощью трансформаторного преобразователя перемещения (ТП) подается в измерительную систему

(ИС), где происходит интегрирование текущих значений размера зерна и среднее его значение фиксируется вторичным прибором.

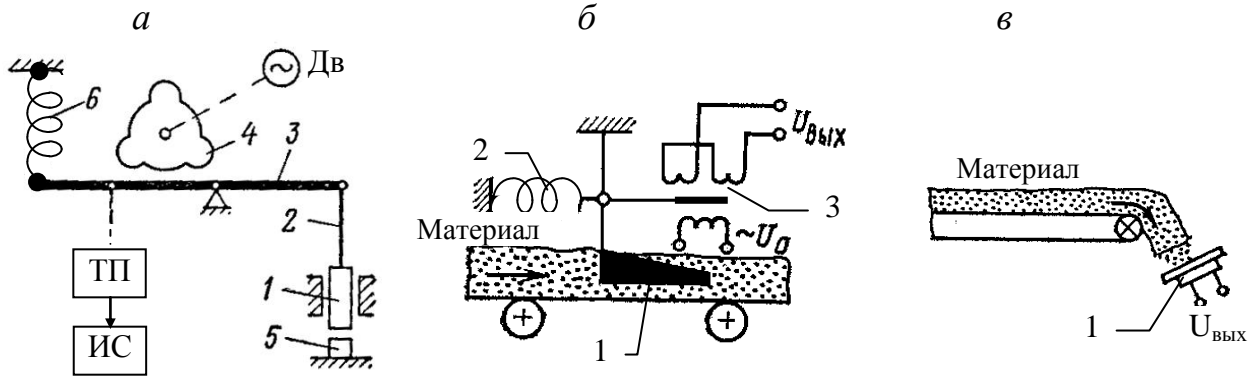


Рис. 7.28 Схемы автоматических гранулометров
а – непосредственное измерение крупных частиц в потоке пульпы;
б, в – косвенное измерение крупности материала в потоке

Принципы косвенного метода оценки крупности материала в потоке иллюстрируется схемами, показанными на рис. 7.28 б и в.

По первой схеме средний размер куса руды оценивается давлением сыпучего потока на чувствительный элемент – пробное тело (1), перемещение которого, уравновешенное пружиной (2), с помощью трансформаторного преобразователя передается на регистрирующий прибор.

Во второй схеме (в) оценка крупности материала (руды) осуществляется по частотной характеристике колебаний упругой пластины датчика (1), возникающих под воздействием падающего материала, с последующей передачи выходного сигнала ($U_{\text{вых}}$) в измерительную схему.

За последние годы разработаны более современные гранулометры, например, установка автоматического измерения крупности частиц в потоке пульпы "ПИК-074" ("Союзцвет-метавтоматика")

В заключение следует отметить, что практическое применение автоматических гранулометров в обогатительной отрасли все же ограничено из-за низкой их точности измерения и невысокой надежности.

Контрольные вопросы.

1. Раскройте понятия датчика и преобразователя.
2. Объясните работу мостовых измерительных схем.
3. Приведите схемы и объясните принцип работы трансформаторного и ферродинамического преобразователей перемещения.
4. Дайте характеристику датчиков температуры и давления.
5. Приведите возможные схемы контроля производительности конвейера с помощью датчиков усилий.
6. Раскройте принципы работы электродного и манометрического уровнемеров.
7. Дайте характеристику емкостных уровнемеров и принцип их работы.

8. Перечислите способы контроля расходов жидких сред.
9. Перечислите виды сужающих устройств расходомеров РППД.
10. Раскройте суть работы расходомеров РППД.
11. Приведите схему расходомера переменного уровня с пропорциональной шкалой.
12. Объясните принцип работы ротаметров. Область применения.
13. Приведите схему и объясните работу электромагнитного расходомера.
14. Дайте классификацию способов контроля плотности пульп.
15. Приведите схему и объясните принцип работы манометрического плотномера.
16. Область применения радиоизотопных плотномеров, физические основы работы.
17. Объясните принципы контроля состава жидких сред.
18. Раскройте физические основы работы спектрометров.
19. Дайте характеристику методов автоматического контроля влажности продуктов обогащения.

Литература к разделу: [2], [3], [4]

8 ОБЩЕПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

Назначение и классификация измерительных приборов. Функциональная схема приборов. Дифференциально-трансформаторные и ферродинамические приборы. Автоматические мосты переменного и постоянного тока. Управляющие устройства. Использование компьютерной техники. Исполнительные механизмы, классификация, схемы управления. Виды регулирующих органов.

8.1 Вторичные измерительные приборы.

Общие сведения

Основное назначение измерительных приборов – визуальное указание контролируемого параметра, регистрация его значения на различных носителях, выработка сигнала текущего значения для системы регулирования. Некоторые вторичные приборы содержат контактную группу для сигнализации предельных значений параметра и интегратор.

Измерительные приборы классифицируются по нескольким признакам:

- по виду представления результатов измерения – *аналоговые* (непрерывные) и *цифровые* (дискретные);
- по виду структурной схемы – приборы *прямого* измерения и приборы, работающие по принципу *компенсации*;
- по виду используемой энергии – электрические, пневматические и гидравлические приборы.

Основные характерные черты аналоговых приборов прямого измерения – маломощный выходной сигнал, способный переместить только стрелку относительно шкалы и отсутствие обратной связи. Примеры таких приборов – логометры, вольтметры, амперметры и пр.

Наибольшее промышленное распространение получили электрические измерительные приборы, работающие по компенсационному принципу с соответствующими преобразователями: с дифференциально-трансформаторной и ферродинамической измерительными схемами; с автоматическими мостовыми схемами (мосты переменного тока и потенциометры). Данные приборы часто называют *вторичными* приборами.

Действие автоматических вторичных приборов (рис. 8.1) основано на том, что измеряемая величина, формируемая с помощью первичного преобразователя (ПП) и передаваемая на прибор в виде сигнала $E_{вх}$ компенсируется противофазным сигналом $E_{к}$, который образуется в самом приборе с помощью обратной связи, реализованной с помощью компенсационного преобразователя (КП).

Для реализации указанного принципа автоматические вторичные приборы содержат измерительную схему, на рисунке показанную как элемент сравнения (ЭС), фазочувствительный усилитель (ФУ), реверсивный двигатель (РД), компенсационный преобразователь (КП) и систему регистрации показаний (стрелка, записывающее устройство, шкала).

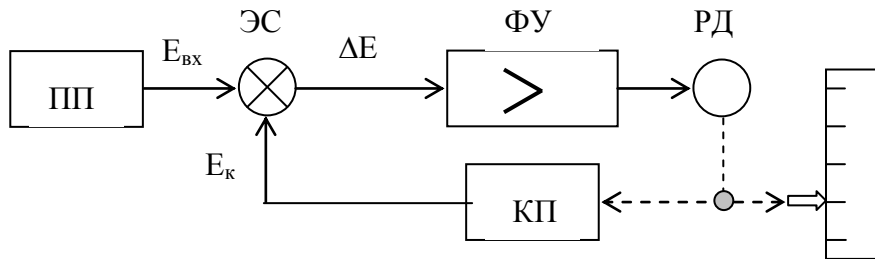


Рис. 8.1 Функциональная схема вторичных приборов

Работа приборов проста, рассмотрим ее подробнее, так как она справедлива для всех видов вторичных компенсационных приборов.

В исходном стационарном состоянии $E_{вх} = E_k$, т.е. $\Delta E = 0$, так как сигналы находятся в противофазном состоянии. Ротор двигателя неподвижен. При изменении входного сигнала на элементе сравнения возникает ΔE , который после усиления управляет работой двигателя. Последний в зависимости от фазы сигнала перемещает рабочий элемент компенсационного преобразователя в ту или иную сторону до тех пор, пока не наступит равенство $E_{вх} = E_k$. Управляющий двигателем сигнал исчезает, ротор РД и показывающая стрелка прибора останавливается в новом положении, фиксируя новое значение контролируемого параметра.

Вторичные приборы выпускаются показывающими, показывающими и самопишущими. Такие приборы могут оборудоваться одним или несколькими дополнительными устройствами: контактными группами, используемыми для сигнализации или простейшего релейного регулирования, преобразователями перемещения для передачи информации на дополнительный вторичный прибор или на регулятор, интеграторами (счетчиками). Некоторые приборы имеют встроенные пневматические регуляторы.

В динамическом отношении вторичные приборы можно рассматривать, как апериодические звенья первого порядка, а в случае анализа систем регулирования с инерционным объектом допустимо их принимать как усилительное звено.

Общепромышленные вторичные приборы

Дифференциально-трансформаторные и ферродинамические измерительные приборы. Измерительные схемы этих приборов построены на дифференциально-трансформаторных (рис. 8.2,а) и ферродинамических (рис. 8.2, б) преобразователях перемещения.

Типичным представителем первой группы является широко применяемые в промышленности приборы серии КСД. Вторая группа представлена приборами серии ВФС, выпускаемыми Харьковским заводом КИПиА.

Приборы снабжены устройствами регистрации контролируемых параметров на дисковой либо ленточной диаграмме.

Работы этих приборов полностью соответствует рассмотренному выше принципу.

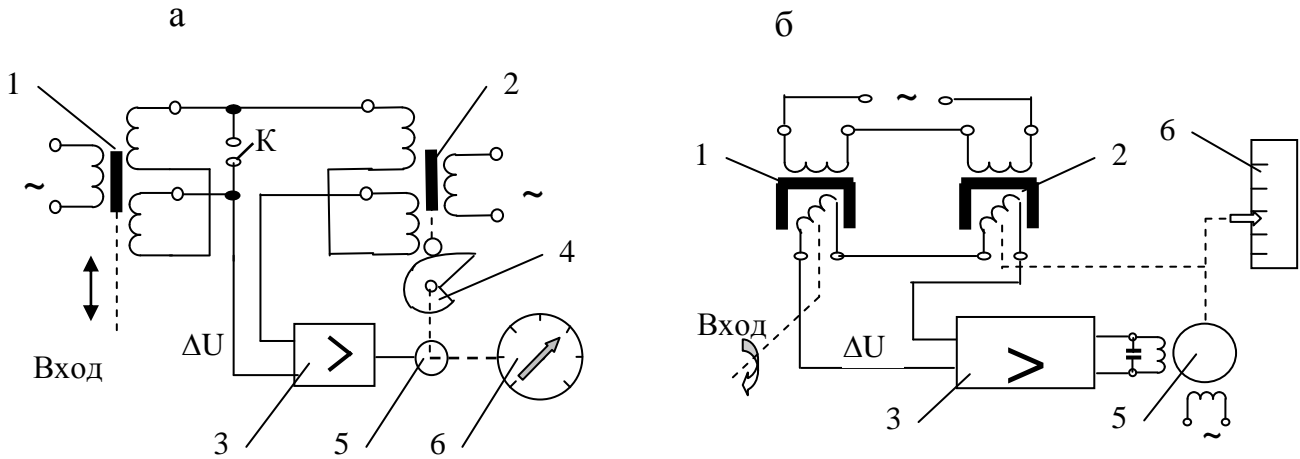


Рис. 8.2 - Принципиальная схема вторичных приборов КСДЗ (а) и ВФСМ (б)

1 – первичный преобразователь перемещения; 2 – компенсационный преобразователь;
3 – фазочувствительный усилитель; 4 – лекало; 5 – реверсивный двигатель;
6 – устройства регистрации

Отметим наличие в схеме прибора КСД вспомогательной кнопки (К), служащей для контроля исправности прибора. При нажатии на кнопку шунтируется цепь первичного преобразователя, и двигатель прибора приводит систему к стационарному режиму ($\Delta U = 0$), при этом сердечник компенсационного преобразователя (2) перемещается в нейтральное положение, а стрелка занимает строго определенное положение, показывая тем самым, что система прибора работоспособна.

Автоматические мосты переменного тока. Работают с первичными R-преобразователями (терморезисторы, фоторезисторы, тензорезисторы и пр.). Отметим, что наименование "мосты переменного тока" характеризуют, что мостовая измерительная схема приборов питается напряжением переменного тока.

Общий принцип работы мостовой измерительной схемы рассмотрен в разделе 6.. Рассмотрим работу автоматического моста на примере измерения температуры среды с помощью терморезистора.

На рис. 8.3 приведена упрощенная схема контроля температуры с помощью терморезистора (R_t) и автоматического моста переменного тока серии КСМ.

Мостовая схема здесь образована резисторами: R_1 , R_2 , R_3 (активные резисторы плеч моста), R_t (датчик температуры, терморезистор) и R_p (переменный резистор, именуемый реохордом, движок которого перемещается двигателем РД).

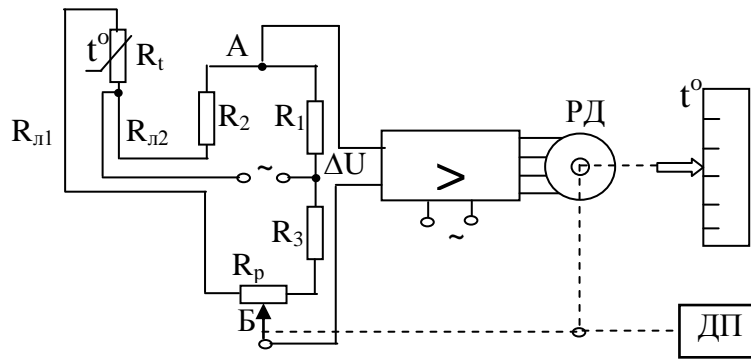


Рис. 8.3 Схема автоматического моста переменного тока с терморезистором

Для ликвидации влияния сопротивления проводов ($R_{л}$), зависящее от температуры окружающей среды, подключение термодатчика осуществляется по трехпроводной линии. Тем самым $R_{л1}$ и $R_{л2}$ оказываются в противоположных плечах моста, и их изменение не влияет на его равновесие.

Работа прибора. При изменении контролируемой температуры (меняется величина R_t) мост становится неуравновешенным, между точками "А" и "Б" возникает напряжение (ΔU), которое после усиления управляет реверсивным двигателем (РД), ротор последнего перемещает движок реохорда (R_p), следовательно, и точку "Б" до установления равновесия моста ($\Delta U=0$). Кинематически связанные с ротором двигателя регистрирующие элементы прибора (стрелка, перо) указывают новое значение температуры.

В некоторых модификациях прибора имеется встроенный дополнительный преобразователь (ДП), связанный с ротором двигателя, для передачи информации в систему регулирования.

Автоматические потенциометры. Служат для контроля малых значений напряжений (эдс) постоянного тока. В качестве первичного датчика могут быть термопары, пьезопреобразователи и пр. На рис. 8.4 представлена схема подключения термопары к автоматическому потенциометру типа КСП.

Измерительная схема состоит из моста постоянного тока со стабилизированным источником питания и последовательно с ним подключенной термопарой (ТП).

С целью возможности использования усилителя переменного тока, снимаемое с измерительной схемы постоянное напряжение (ΔU) с помощью преобразователя (П) формируется в переменное.

Из схемы видно, что на вход преобразователя поступает напряжение:

$$\Delta U = U_{AB} - E_x,$$

где U_{AB} – напряжение, снимаемое с диагонали моста;

E_x – напряжение, вырабатываемое термопарой.

Работа прибора понятна из схемы. Принцип компенсации здесь реализован путем формирования в диагонали моста компенсирующего напряжения (U_{AB}), включенного навстречу термоэдс (E_x).

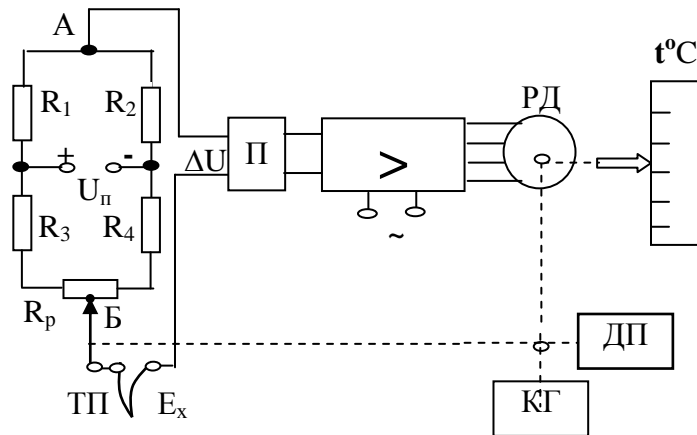


Рис. 8.4 Схема автоматического потенциометра с термопарой

На схеме показаны дополнительный преобразователь (ДП), сигнал которого может использоваться в системе регулирования и контактная группа (КГ) для целей сигнализации, блокировки и релейного регулирования, которые встраиваются в некоторые модификации потенциометров типа КСП.

В заключение отметим, что в развитии аналоговых вторичных приборов наблюдаются две тенденции: это создание более простых, малогабаритных, но надежных и дешевых приборов для АСУТП, где они выполняют роль удобных для оператора устройств представления информации и связующих элементов между датчиками и ЭВМ, и создание высокоточных, быстродействующих и многопредельных вторичных приборов для целей исследования объектов.

8.2 Промышленные управляющие устройства

Для эффективного использования полученной от измерительной системы информации об объекте управления необходимо ее проанализировать, выработать по определенным алгоритмам соответствующие команды и передать их к объекту для непосредственного формирования управляющих воздействий в конкретной физической форме. Все эти операции должны осуществляться в требуемом темпе (быстродействии), задаваемом ходом технологического процесса.

Качественный и количественный состав технических средств этой группы главным образом и определяет уровень автоматизации объекта.

В зависимости от выполняемых техническими средствами функций при переработке информации канал управления может быть представлен обобщенной функциональной схемой, приведенной на рис. 8.5. В конкретном канале управления ряд средств может отсутствовать.

Полученная в измерительной системе (ИС) контрольная информация об объекте управления (ОУ) направляется в группу устройств формирования команд (УФК) управления. Сигналы команд управления с помощью исполнительных механизмов (ИМ) преобразуются в величины, удобные для воздействия на регулирующие органы (РО) конкретных технологических аппаратов.

Например, электрический командный сигнал включает электропривод, воздействующий на дроссельную заслонку, изменяющей расход жидкости. С помощью РО происходит, изменение потоков материала, энергии и т. п. в объекте управления, приводящее к соответствующей корректировке хода технологического процесса.

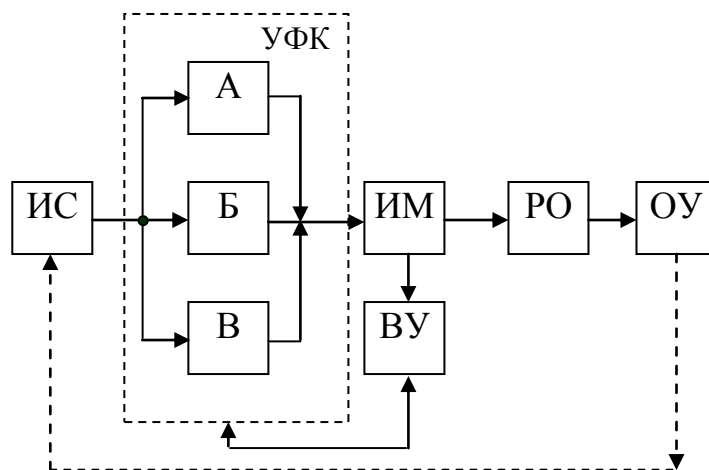


Рис. 8.5 Обобщенная функциональная схема канала управления

В зависимости от уровня автоматизации в УФК можно выделить технические средства соответствующих уровней управления. К средствам (В), представляющим нижний уровень управления, относятся регулирующие устройства местных (локальных) и автономных систем регулирования. Средства (Б) включают в себя устройства агрегатированных комплексов централизованных систем управления, осуществляющих регулирование взаимосвязанных объектов.

Управляющие команды высшего уровня (А) формируются с помощью вычислительных машины и микропроцессорных комплексов. Их наличие соответствует созданию на предприятии автоматизированной системы управления.

Управляющие команды на исполнительные устройства (ИМ и РО) могут подаваться как непосредственно со средств верхнего уровня управления, так и через средства более низких уровней, корректируя их работу.

Выбор режимов работы УФК и ИМ, контроль их состояния и исправности осуществляется группой вспомогательных устройств (ВУ). В сложных системах управления сюда может входить микропроцессорная техника, в простейших локальных системах (АСР) это могут быть ключи выбора режима управления ("Местное", "Автоматическое") и дистанционные указатели положения рабочего органа исполнительного механизма.

Рассмотрим подробнее схему управления сложными объектами с помощью ЭВМ (рис.8.6).

На вход ЭВМ от датчиков (D_i) поступает измерительная информация о текущих значениях выходных величин Y_1, \dots, Y_n объектов управления. После преобразования сигналов из непрерывных в дискретные (Н/Д), аналог-код) ЭВМ обрабатывает эти сигналы y_i в соответствии с выбранным законом (алгоритмом) управления для получения командной информации x_i , которая после

обратного преобразования (Д/Н) подается через исполнительные механизмы (ИМ) на входы объектов X_1, \dots, X_n .

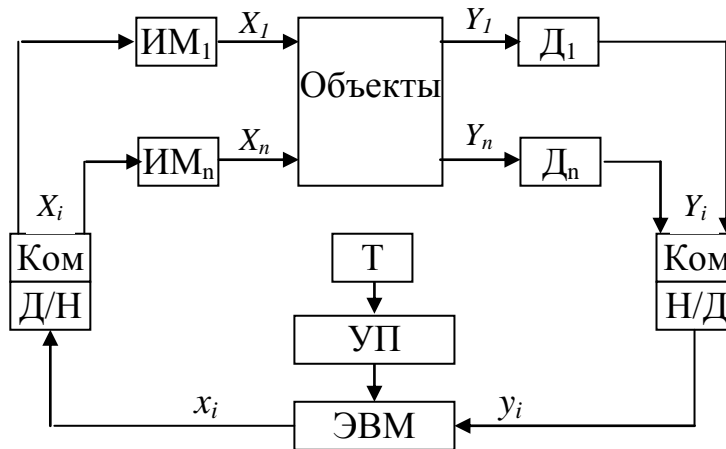


Рис. 8.6 Структурная схема управления с помощью ЭВМ

Преобразователи непрерывных величин в дискретные (цифровые) и наоборот делают многоканальными с использованием коммутатора (КОМ), который последовательно обегает датчики (или ИМ). Распространен принцип синхронной связи ЭВМ с объектами, при котором процесс управления разбивается на периоды (циклы) равной продолжительности тактирующими импульсами от электронного таймера (Т).

В начале очередного цикла, с приходом тактирующего импульса на устройство прерывания (УП), происходит обегаящий опрос датчиков (с преобразованием сигналов в цифровую форму) и ввод цифровых сигналов в оперативную память ЭВМ. По отношению к отдельному датчику его выходной непрерывный сигнал квантуется по уровню и по времени.

После ввода измерительной информации y_i в память, ЭВМ вычисляет управляющие команды x_i , и выдает их на управление. Непосредственное цифровое управление получается при подаче команд (через ИМ) на вход объекта.

Для сложных технологических процессов команды управления от ЭВМ подаются на изменение заданий локальных АСР (и, возможно, на установку оптимальных настроек регулятора локальных АСР). При такой структуре работоспособность сохраняется и при отказах ЭВМ.

Помимо рассмотренной работы ЭВМ в замкнутой системе управления (по отклонению), возможно управление по разомкнутой схеме по принципу программного управления (ЭВМ вырабатывает программу команд x_i на входе объекта без текущих измерений выходных величин y_i) и в режиме "советчика" выдает оператору команды.

В заключение отметим, что ЭВМ чрезвычайно эффективна при реализации любых алгоритмов управления, другими словами ЭВМ-универсальный регулятор, изменяющий законы регулирования путем замены программы алгоритма.

В то же время на обогатительных фабриках функционируют локальные АСР технологических параметров, в которых используют стабилизирующие регуляторы различных схем и конструкций. Из электрических можно отметить регулятор типа Р-25, реализующий все законы регулирования.

8.3 Исполнительные механизмы и регулирующие органы

Исполнительные механизмы

Воздействие на технологические процессы, как при дистанционном, так и при автоматическом управлении осуществляется с помощью исполнительных механизмов и сопряженных с ними регулируемыми органами (см. рис. 2.1).

Исполнительные механизмы (ИМ). По виду потребляемой энергии исполнительные механизмы разделяются на электрические, пневматические и гидравлические. Наибольшее распространение получили электрические ИМ. Пневматические и гидравлические исполнительные механизмы применяются в случае необходимости получения большой мощности при перемещении рабочего органа.

Электрические исполнительные механизмы (ЭИМ) могут быть контактными и бесконтактными. Пусковым устройством контактного исполнительного механизма является реверсивный магнитный пускатель, бесконтактного - магнитный усилитель.

В общем случае ЭИМ состоят из следующих основных элементов: реверсивного электродвигателя; редуктора, понижающего частоту вращения выходного вала; выходного элемента, передающего усилие или момент регулирующему органу; дополнительных устройств (концевых выключателей), обеспечивающих остановку исполнительного механизма в крайних положениях; устройств обратной связи для работы в системах автоматического регулирования или для дистанционного указания положения выходного элемента исполнительного механизма; штурвал ручного привода (некоторые модификации).

В зависимости от модификации ЭИМ в них используются двухфазные конденсаторные электродвигатели с полым ротором, обладающие хорошими динамическими качествами и допускающие длительную работу в застопоренном режиме при полном напряжении питания, а также трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором (для исполнительных механизмов большой мощности).

В качестве устройства обратной связи применяют реостатные, индуктивные и ферродинамические преобразователи перемещения.

Комплектуемые с некоторыми ЭИМ указатели положения выходного вала представляют собой стрелочные приборы со шкалой 0—100%.

Наибольшее распространение в обогатительной промышленности получили ЭИМ типа МЭО и ИМ 2/120.

На рис. 8.7 показан пример управления исполнительным механизмом.

При разработке схемы управления ИМ необходимо предусматривать 3 режима работы: дистанционный (Д), выключено (0) и автоматический (А).

Выбор режима производится с помощью различного вида коммутационных устройств, например, универсального переключателя (УП), имеющего соответствующие 3 положения рукоятки переключения. Для чтения подобных схем необходимо усвоить, что контакты УП могут замыкаться только горизонтальными группами 1 - 2; 3 - 4 и 5 - 6, какая группа замкнута и в каком режиме показывает точка, расположенная на вертикальной оси. Например, в дистанционном режиме (Д) замыкаются группы контактов 1 - 2 и 5 - 6 (рис. 8.7).

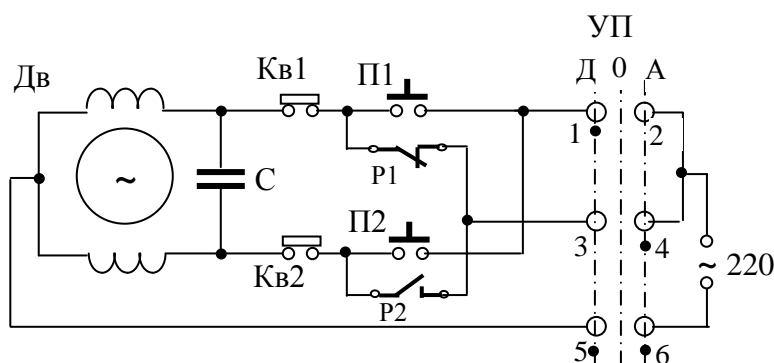


Рис. 8.7 Схема управления исполнительным механизмом ИМ 2/120

На схеме управления также показаны концевые выключатели (Кв1 и Кв2), обесточивающие питание двигателя в крайних положениях выходного вала, пусковые кнопки, работающие в дистанционном режиме, при этом следует учесть, что реверсирование вала двигателя осуществляется подачей напряжения на одну (кнопка П1) или другую (П2) обкладку фазосдвигающего конденсатора (С). Схема включает и контактные группы (Р1 и Р2), расположенные в регулирующем устройстве и управляющие исполнительным механизмом в автоматическом режиме (А).

Для управления трехфазным исполнительным механизмом необходимо использование реверсивного магнитного пускателя.

Пневматические исполнительные механизмы (ПИМ). Подразделяются на мембранные и поршневые.

В мембранном исполнительном механизме перемещение выходного штока в одном направлении создается давлением сжатого воздуха в мембранной полости, а в другом — силой сжатой пружины, эти механизмы носят название пружинных мембранных исполнительных механизмов. Эти механизмы содержат выходной шток с возвратно-поступательным движением, как правило, конструктивно связанный с регулирующими органами. В зависимости от направления движения

штока при повышении давления воздуха в мембранной полости различают механизмы прямого и обратного действия.

В поршневых исполнительных механизмах перемещающее выходной шток усилие создается давлением рабочей среды в поршневых полостях. По сравнению с мембранными они имеют большую величину перемещения выходного штока.

Регулирующие органы

Регулирующие органы обычно входят в состав объектов регулирования и воздействуют на протекающие в них процессы путем изменения в основном расходов продуктов.

Для изменения расходов сыпучих материалов обычно используются питатели (вибрационные, качающиеся, пластинчатые, ленточные и пр.) шиберные заслонки, роторные, винтовые, тарельчатые и др.

Расходы жидких и газообразных продуктов изменяются с помощью дроссельных заслонок, запорно-регулирующих вентилях, шиберов, шланговых затворов, вариаторов частоты вращения рабочих органов насосов, вентиляторов и дымососов.

Для изменения малых расходов, например, реагентов и флокулянтов используют различной конструкции дозаторы, именуемые питателями реагентов.

Контрольные вопросы

1. Разъясните назначение вторичных приборов.
2. Приведите классификацию вторичных приборов.
3. Изобразите обобщающую функциональную схему вторичных приборов.
4. Приведите схемы и объясните принцип работы общепромышленных вторичных приборов.
5. Объясните принципы использования ЭВМ при автоматизации технологических процессов.
6. Приведите классификацию исполнительных механизмов.
7. Составьте упрощенную схему управления электрическим исполнительным механизмом.
8. Перечислите основные виды регулирующих органов.

Литература к теме: [2], [3], [4], [6]

9 ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Состав схем автоматизации процессов. Правила выполнения схем. Принципы построения условных обозначений элементов автоматики. ГОСТ на буквенные и графические обозначения приборов и их функциональных признаков.

Общие положения

Автоматизацию технологического процесса следует внедрять поэтапно, начиная с разработки *схем автоматизации процессов*.

Автоматический контроль и управление технологическими процессами должны улучшать их технико-экономические показатели. Эффективность автоматизации в каждом отдельном случае определяется конкретно расчетами с учетом индивидуальных особенностей автоматизируемого процесса, но существует ряд общих требований, которым должна удовлетворять любая система автоматизации и которые следует учитывать при разработке схем автоматизации. К этим требованиям следует отнести:

- максимальная простота, т.е. минимальное в пределах технической и экономической целесообразности количество функций, выполняемых системой, и минимальное количество машин, приборов, устройств и соединительных проводов, входящих в систему;
- гибкость, т.е. простой и быстрый переход от автоматического управления к ручному и наоборот, возможность управления из нескольких мест;
- четкость действия, как при нормальных, так и аварийных режимах, любое повреждение в системе не должно сопровождаться дальнейшим развитием аварии;
- использование типовых средств сбора, передачи и переработки информации, типовых регуляторов, выпускаемых в достаточно широком ассортименте приборостроительной промышленностью.

Кроме того, исходя из требований работоспособности и качества регулирования, автоматические системы регулирования, входящие в схемы автоматизации, должны:

- обладать устойчивостью, т.е. способностью возвращаться в положение равновесия после прекращения действия причин, выведших систему из этого состояния;
- иметь ошибки воспроизведения управляющих воздействий или отклонение регулируемых величин из-за действия возмущений не больше допустимых значений;
- не иметь большую ошибку по регулируемой величине, когда это связано требованиями технологического процесса;
- иметь оптимальный переходный процесс в течение времени регули-

рования;

- обладать наибольшим отклонением регулируемой величины от заданной в ходе процесса не более некоторой допустимой, зависящей от технологических особенностей процесса.

Если переходный процесс в системе имеет колебательный характер, то могут предъявляться требования по ограничению амплитуды или частоты колебаний.

Схемы автоматизации технологических процессов являются основными техническими документами, определяющими структуру и объем автоматизации промышленных объектов и являющимися исходными данными для проектирования систем управления.

Схемы автоматизации включают технологическую схему, содержащую основные технологические аппараты и машины, изображенную в упрощенном варианте и расположенную в верхней части листа, и средства автоматизации, входящие в состав систем контроля, регулирования, которые обозначаются с помощью условных графических обозначений и линий связи.

Проектируемые схемы автоматизации должны учитывать требования технологии и ее особенности, поэтому в разработке их обязательно должны принимать участие технологи-обогагатели. Это подчеркивает важность данного раздела для студентов-обогадателей.

Правила выполнения и чтение схем автоматизации

При автоматизации технологических процессов используется большая группа приборов и средств автоматизации, с помощью которых осуществляют измерение, регулирование, управление и сигнализацию. При разработке схем автоматизации целесообразно обозначать элементы автоматики символически.

Ранее для изображения схем автоматизации технологических процессов (их называли функциональными схемами автоматизации) использовали ОСТ 36-27-77. В настоящее время применяют обозначения, установленные ГОСТ 21.404-85 "Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах", основные обозначения приведены в табл. 9.1.

Для всех постоянно подключенных приборов отборное устройство изображают сплошной тонкой линией, соединяющей технологический трубопровод или аппарат с прибором (рис. 9.1, а). Когда требуется указать конкретное место расположения отборного устройства (внутри контура технологического аппарата), его обозначают кружком диаметром 2 мм (рис. 9.1, б).

Часто возникает необходимость на схемах автоматизации вводить условные графические обозначения электроаппаратуры (сигнальные лампы, звонки, сирены, гудки, электродвигатели и т.д.), которые должны соответствовать стандартам ЕСКД.

Для полного обозначения прибора или средства автоматизации на схемах в его условное графическое обозначение в виде круга или овала

вписывают условное буквенное обозначение, определяющее назначение, выполняемые функции и особенности работы средств автоматизации.

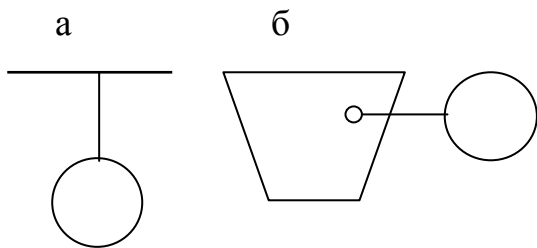


Рис. 9.1 Пример отображение отборного устройства на схеме автоматизации

Функции, выполняемые прибором, обозначают с помощью букв (табл. 9.2).

В стандарте предусмотрены дополнительные буквенные обозначения, применяемые для указания функциональных дополнительных признаков приборов, преобразователей и вычислительных устройств (табл. 9.3).

числительных устройств (табл. 9.3).

Табл. 9.1 Условные графические обозначения приборов и средств автоматизации

№	Наименование	Обозначение
1.	Прибор, установленный вне щита, пульты (по месту) - основное обозначение	
2.	Прибор, установленный на щите, пульте	
3.	Исполнительный механизм	
4.	Линия связи (передача информации, общее обозначение)	
5.	Пересечение линий связи без соединения	
6.	Пересечение линий связи с соединением между собой	
7.	Регулирующий орган	
8.	Лампа сигнальная	
9.	Звуковая сигнализация звонки гудок	

В таблице 9.4 приведены основные буквенные обозначения измеряемых величин. Эти буквы в условном обозначении приборов и средств автоматизации стоят первыми.

Общий принцип построения условного обозначения прибора автоматики показан на рис. 9.2.

В соответствии с ГОСТ 21 404-85, построение условных обозначений приборов и средств автоматизации можно выполнить двумя способами: упрощенным и развернутым.

Табл. 9.2 Буквенные условные обозначения функций, выполняемые прибором

Обозначение	Функциональные признаки прибора		
	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
А	Сигнализация	-	-
С	-	Автоматическое регулирование, управление	-
Н	-	-	Верхний предел
І	Показание	-	-
L	-	-	Нижний предел
R	Регистрация	-	-
S	-	Включение, отключение, переключение,	-

Табл. 9.3 Дополнительные буквенные обозначения функциональных признаков приборов

Обозначение	Наименование	Назначение
Е	Чувствительный элемент	Устройства, выполняющие первичное преобразование: термопары, терморезисторы, датчики пирометров, сужающие устройства расходомеров и т.п.
Т	Дистанционная передача	Приборы бесшкальные с дистанционной передачей сигнала, манометры
К	Станция управления	Приборы, имеющие переключатель вида управления (автоматическое, выключено, ручное).
У	Вычислительные функции	Для построения и обозначения преобразователей сигналов и вычислительных устройств

Упрощенный способ построения изображений приборов и средств автоматизации, осуществляющих сложные функций (измерение, регулирова-

ние, сигнализация) и выполненных в виде отдельных блоков, заключается в изображении таких приборов одним условным обозначением. При этом первичные измерительные преобразователи и вспомогательную аппаратуру не изображают.

Табл. 9.4 Основные буквенные обозначения измеряемых величин

Обозначение	Измеряемая величина	
	Основное наименование измеряемой величины, основное значение первой буквы в обозначении	Дополнительное наименование, уточняющее измеряемую величину
D	Плотность	Разность, перепад
E	Любая электрическая величина	-
F	Расход	Соотношение, доля
G	Размер, положение, перемещение	-
H	Ручное воздействие, задание	-
J	-	Автоматическое переключение, обегание
K	Время, временная программа	-
L	Уровень	-
M	Влажность	-
P	Давление, вакуум	-
Q	Величина, характеризующая качество (зольность, концентрация)	Интегрирование, суммирование во времени
R	Радиоактивность	-
S	Скорость, частота	-
T	Температура	-
U	Несколько различных измеряемых величин	-
V	Вязкость	-
W	Масса	-

При развернутом методе построения условных изображений каждый прибор, блок, входящий, регулирующий или управляющий комплект средств автоматизации, изображают отдельным условным обозначением.

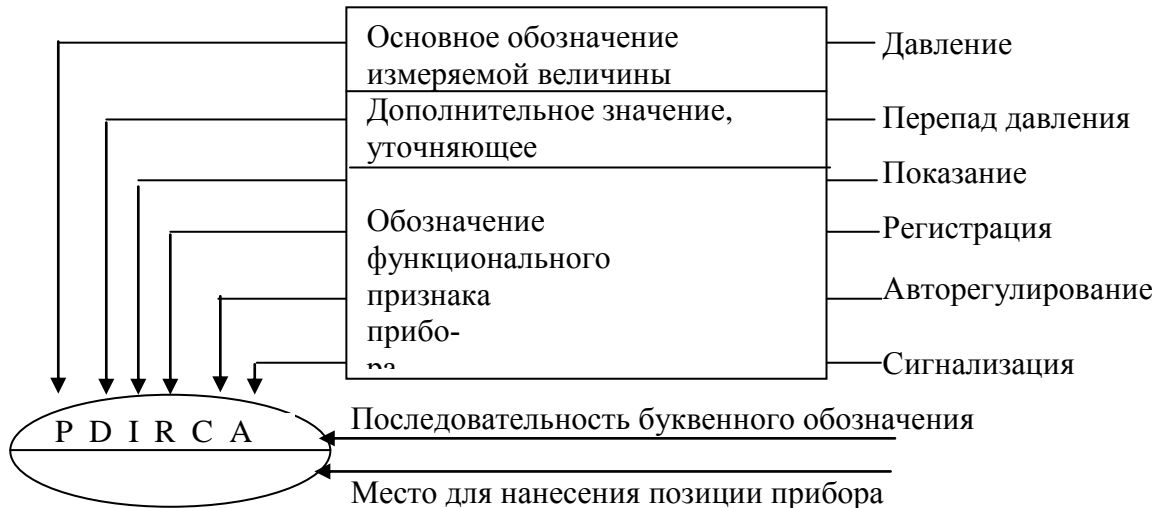


Рис. 9.2 Принцип построения условного обозначения прибора

Пример фрагмента схемы автоматизации при различных методах построения показан на рис. 9.3.

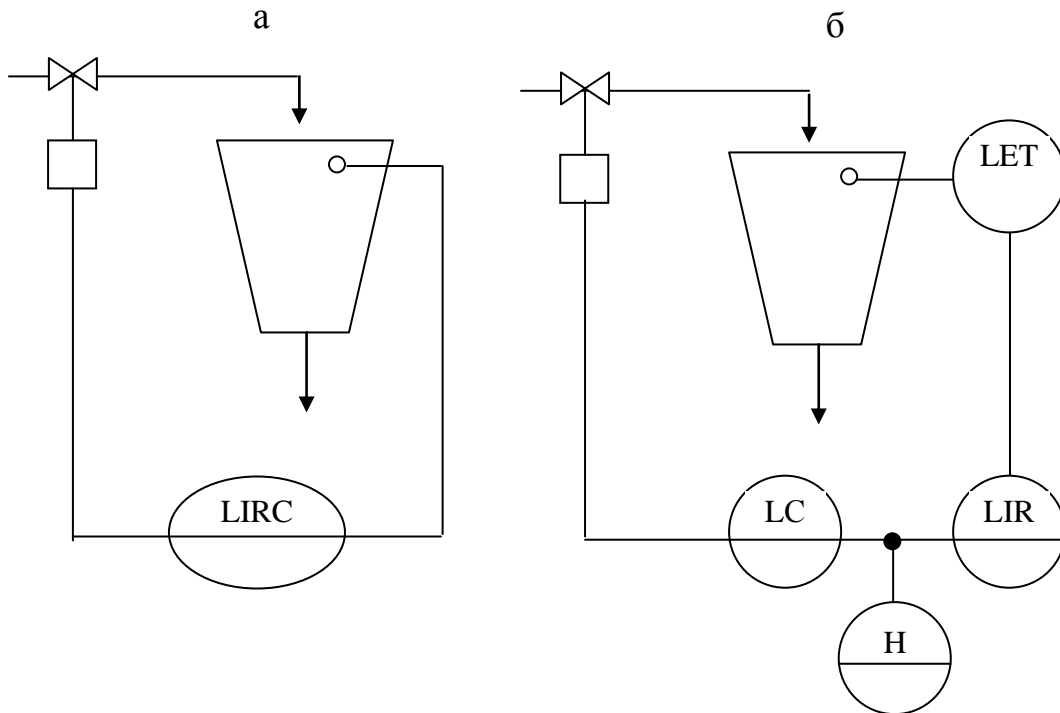


Рис. 9.3 Пример построения упрощенной (а) и развернутой (б) схемы автоматизации уровня среды в объекте.

На схеме "а" все элементы системы контроля и регулирования уровня условно собраны в единый элемент (LIRC), на схеме "б" показаны чувствительный элемент первичного датчика уровня с преобразователем и дистанционной передачей показаний (LET), регистрирующий вторичный прибор (LIR), регулятор уровня (LC) и задатчик

(Н). Здесь первичный датчик уровня (LET) располагается по месту (на объекте), а нижние приборы – на пульте (на приборах показан горизонтальный диаметр).

Подвод линии связи к прибору осуществляют в любой точке графического обозначения (сверху, снизу, сбоку). Если необходимо указать направление передачи сигнала, то на линии связи наносят стрелки.

Таким образом, условные обозначения приборов и средств автоматизации, применяемые в схемах автоматизации, включают графические, буквенные и цифровые обозначения (на рис. 8.3 цифровые обозначения позиции приборов не показаны). При этом в верхнюю часть графического изображения (круг, овал) вписывают буквенное обозначение измеряемой величины и функционального признака прибора, определяющего его значение, а в нижнюю часть вписывают позиционное обозначение прибора или комплекта средств автоматизации.

В условном буквенном обозначении принят следующий порядок расположения букв: основное обозначение измеряемой величины; обозначение функциональных признаков прибора.

В системах автоматического контроля, регулирования и управления широко используют устройства ручного управления: ключи управления для выбора рода работы системы (автоматическое, ручное, выключено), кнопки ("Больше", "Меньше"), переключатели, задатчики и т.п. Буквенные обозначения таких устройств, выполненных в виде блоков и предназначенных для ручных операций, независимо от того, в состав какого компонента они входят, должны начинаться с буквы Н. В табл. 9.5 приведены примеры условных обозначений таких устройств.

В табл. 9.6 показаны примеры построения и чтения условных обозначений приборов для контроля различных технологических параметров.

Табл. 9.5 Условные обозначения устройств ручного управления

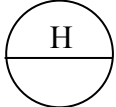
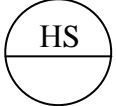
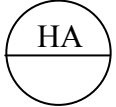
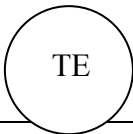
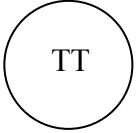
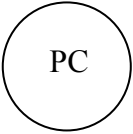
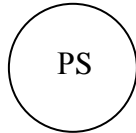
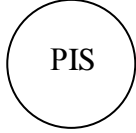
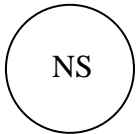
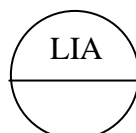
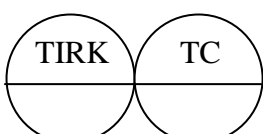
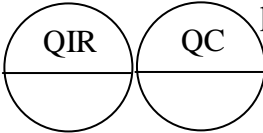
Условное обозначение прибора на схеме	Характеристика условного обозначения прибора
	Аппаратура, предназначенная для ручного управления (включение, отключение двигателя, задание регулятору)
	Ручной переключатель (выбор режима работы системы регулирования)
	Аппаратура для ручного управления, снабженная устройством сигнализации и установленная на щите, например, кнопка с встроенной лампочкой.

Табл. 9.6 Примеры обозначений приборов контроля параметров

Условное обозначение прибора на схеме	Характеристика условного обозначения прибора
	Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения температуры, установленный по месту (термопара, терморезистор)
	Прибор контроля температуры, бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту, например термометр манометрический бесшкальный
	Регулятор давления, бесшкальный, установленный по месту, например, регулятор прямого действия
	Прибор для измерения давления, бесшкальный, с контактным устройством, например реле давления, (включение, отключение), установленный по месту
	Прибор для измерения давления, показывающий, с контактным устройством, установленный по месту, например, показывающий манометр с электрическими контактами
	Пусковая аппаратура (магнитные пускатели, контакторы и т.п.)
	Прибор для измерения уровня, показывающий, с сигнализацией верхнего и нижнего уровней, установленный на щите
	Комплект для измерения и регулирования температуры, показывающий, регистрирующий, со станцией управления, установленный на щите, например, вторичный прибор КСП со встроенным регулятором
	Комплект для измерения и регулирования качества (рН среды), показывающий, регистрирующий, установленный на щите

Особенности выполнения и чтения схем автоматизации

В верхней части поля чертежа изображают технологическое оборудование и коммуникации в упрощенном виде, без указания технологических аппаратов и трубопроводов вспомогательного назначения. На технологиче-

ских трубопроводах показывают ту регулирующую и запорную арматуру, которая непосредственно участвует в контроле и управлении процессом. Технологические аппараты и трубопроводы на схеме автоматизации изображают в соответствии с требованиями стандартов.

Если автоматизируемый узел содержит несколько однотипных машин, то на схеме показывается одна машина.

Приборы, средства автоматизации на схемах автоматизации технологических процессов показывают по ГОСТ 21.404-85.

Щиты и пульты систем контроля и регулирования технологических процессов изображают на схемах в нижней части поля чертежа в виде прямоугольников, размеры которых определяются местом, необходимым для изображения в них условных графических обозначений приборов и средств автоматизации, устанавливаемых на них.

Управляющие машины и машины централизованного контроля (при их наличии) изображают также в виде прямоугольников и располагают на поле чертежа ниже изображения щитов.

Рекомендуется следующая последовательность разработки схемы автоматизации:

1. Тщательно изучается технологическая схема автоматизируемого узла.
2. Определяются основные объекты контроля и регулирования.
3. В каждом объекте выделяются технологические факторы, которые необходимо только контролировать.
4. Выбрать способы контроля технологических факторов (непрерывный, дискретный, с сигнализацией верхнего или нижнего значения, способ сигнализации пр.).
5. Определяются факторы, которые необходимо регулировать (стабилизировать).
6. Для каждого регулируемого фактора выбрать входной канал управления, т.е. определить, варьирование какого параметра наиболее эффективно приведет к изменению регулируемого фактора.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте общие требования к системам автоматизации.
2. Приведите состав схемы автоматизации процессов и основные правила ее выполнения.
3. Разработайте схему автоматизации объекта, где выходными параметрами являются уровень и плотность суспензии.
4. Разработайте упрощенную схему автоматизации теплотехнического объекта (выходные параметры – температура и разряжение в объекте).

Литература к теме: [2], [3], [4]

10 РАЗРАБОТКА СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ФЛОТО-ФИЛЬТРОВАЛЬНОГО ОТДЕЛЕНИЯ

Флотация, как объект автоматизации. Факторная взаимосвязь процесса. Регулирующие, выходные и возмущающие воздействия. Схема автоматизации флотации. Параметры управления работой вакуум-фильтра. Схема автоматизации, особенности.

10.1 Схема автоматизации угольной флотации

Флотация – наиболее сложный технологический процесс, зависящий как от управляемых технологических параметров, так и от неуправляемых, как правило, носящих случайный характер. Объектом управления в данном случае является сам процесс, включающий аппарат подготовки пульпы (АКП), флотационные машины и питатели реагентов.

Входные воздействия и выходные параметры процесса угольной флотации представлены на рис. 10.1.

На рисунке указаны входные (регулируемые) факторы: объемная нагрузка на флотацию (Q), разжиженность пульпы (R), расход реагента собирателя (q_c) и вспенивателя (q_v).

К возмущающим воздействиям отнесены факторы: зольность исходного шлама ($A_{ис}$); гранулометрический, фракционный и петрографический состав шлама соответственно (Γ , Φ и Π).

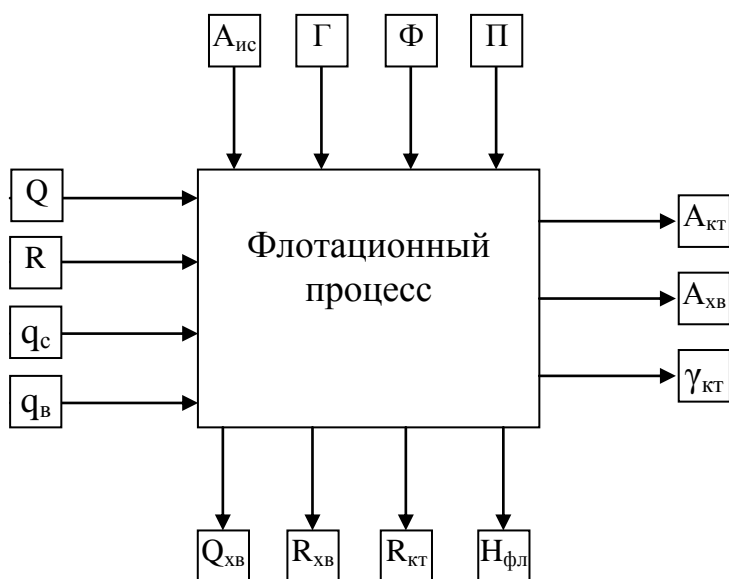


Рис.10.1 Управляющие, возмущающие и выходные факторы процесса флотации

Основные выходные параметры, определяющие эффективность процесса, представлены показателями: зольность и выход концентрата ($A_{кт}$, $\gamma_{кт}$) и зольность хвостов флотации ($A_{хв}$).

Дополнительными промежуточными выходными факторами могут служить уровень пульпы в ванне флотомашине ($H_{фл}$), разжиженность хвостов и концентрата ($R_{хв}$, $R_{кт}$) и объемный выход хво-

стов флотации ($Q_{хв}$).

Выполним анализ основных входных факторов, существенно влияющих на процесс.

Объемная нагрузка на флотационную машину. Данный параметр определяет время флотации, и, следовательно, извлечение горючей массы в концентрат, качественные показатели продуктов флотации. Кроме того, от объемной нагрузки зависит уровень пульпы во флотомашине. Следовательно, объемную нагрузку на флотацию необходимо контролировать и регулировать (стабилизировать). При этом стабилизируется общая нагрузка на флотацию, а на каждую индивидуальную флотомашину нагрузка устанавливается с помощью затворов, расположенных на АКП (с учетом типа и механического состояния флотомашин). Заметим, что объемная нагрузка в значительной мере определяет необходимый расход реагента-пенообразователя. Канал управления объемным расходом – дросселирование пульпы с помощью заслонки, задвижки и пр., установленных на пульпопроводе.

Второй важный параметр – содержание твердого продукта в пульпе. Практика показала, что колебание содержания твердого в пульпе в пределах 80 – 150 г/л не существенно влияет на эффективность процесса. Однако данный параметр определяет необходимый расход реагента-собирателя. Вспомним механизмы процесса флотации – собиратель адсорбируется на поверхности твердой фазы (угольной фракции). Следовательно, содержание твердого в пульпе необходимо контролировать и использовать данный параметр для управления расходом реагента-собирателя. Если же автоматизируемая схема флотирует сгущенную пульпу, то не составит труда установить систему регулирования ее плотности путем добавления в процесс технической воды.

Расходы реагентов – гибкие и важные каналы управления процессом. Реагент-собиратель следует дозировать пропорционально поверхности твердой фазы (угольной). Однако, автоматический контроль данного параметра весьма затруднителен. Поэтому приемлемым является изменение расхода собирателя пропорционально изменению содержания твердого в пульпе, т.е. стабилизировать удельный расход собирателя (г/т). Следовательно, необходимо разработать систему контроля данного параметра. Это достигается путем перемножения контролируемых факторов – объемной нагрузки ($m^3/\text{час}$) и содержания твердого в пульпе (t/m^3).

Расход реагента-пенообразователя влияет на степень аэрации пульпы, крупность и устойчивость воздушных пузырьков. Чем большая объемная нагрузка на флотацию, тем большим должен быть расход пенообразователя. Значит необходимо предусмотреть пропорциональное регулирование расхода пенообразователя. Изменение расхода реа-

гентов осуществляется с помощью дозаторов реагентов, содержащих рабочий элемент для изменения расхода. На схемах автоматизации допустимо условно показывать дросселирование реагентного трубопровода с помощью поворотной заслонки.

Для управления процессом весьма полезно знать текущие зольности продуктов флотации, в настоящее время автоматические золомеры продуктов флотации практически отсутствуют, но если рассматривать схему автоматизации как техническое задание для проектирования соответствующим организациям, наличие систем контроля зольностей продуктов в схеме правомерно.

В процессе работы флотационного отделения необходимо иметь информацию об уровнях реагентов в рабочих баках. Желательно в схеме предусмотреть хотя бы дискретный контроль верхнего и нижнего уровней реагентов в баках.

На процесс флотации оказывают влияние и ряд других факторов, например, температура пульпы, рН среды, гранулометрический и петрографический состав шламов и пр. Однако их регулирование или экономически не оправдано, либо технически неосуществимо.

На рис. 10.2 показан вариант схемы автоматизации процесса угольной флотации.

На схеме упрощенно изображена технологическая схема, содержащая аппарат кондиционирования пульпы (АКП), флотационную машину, баки реагентов и трубопроводы с регулирующими органами (РО). При наличии нескольких однотипных машин, работающих параллельно, показывается одна машина (в данном случае - одна флотомашина). В нижней плоскости схемы расположены средства автоматизации, установленные на щите (пульте).

Для упрощения схемы автоматизации на щите не показаны пусковая аппаратура, переключатели режима работы АСР.

В соответствии с выполненным анализом в схему автоматизации включаем следующие системы.

1. Система стабилизации объемной нагрузки на процесс (система 1), содержащая первичный датчик расхода (поз. 1-1), вторичный показывающий и регистрирующий прибор (1-2), регулятор расхода (1-3), задатчик (1-4), исполнительный механизм (1-5) и регулирующий орган (1-6), установленный на питающем пульпопроводе.
2. Система контроля содержания твердого в пульпе (система 2), включающая первичный датчик плотности (2-1) и показывающий вторичный прибор (2-2).
3. Система дозирования реагента-собирателя (система 3), которая содержит блок перемножения параметров (3-1), на который поступает информация от вторичных приборов объемного расхода

(1-2) и содержания твердого в пульпе (2-2), регулятор расхода собирателя (3-2) с задатчиком удельного расхода (3-3) и исполнительный механизм (3-4) с заслонкой (или питатель реакентов).

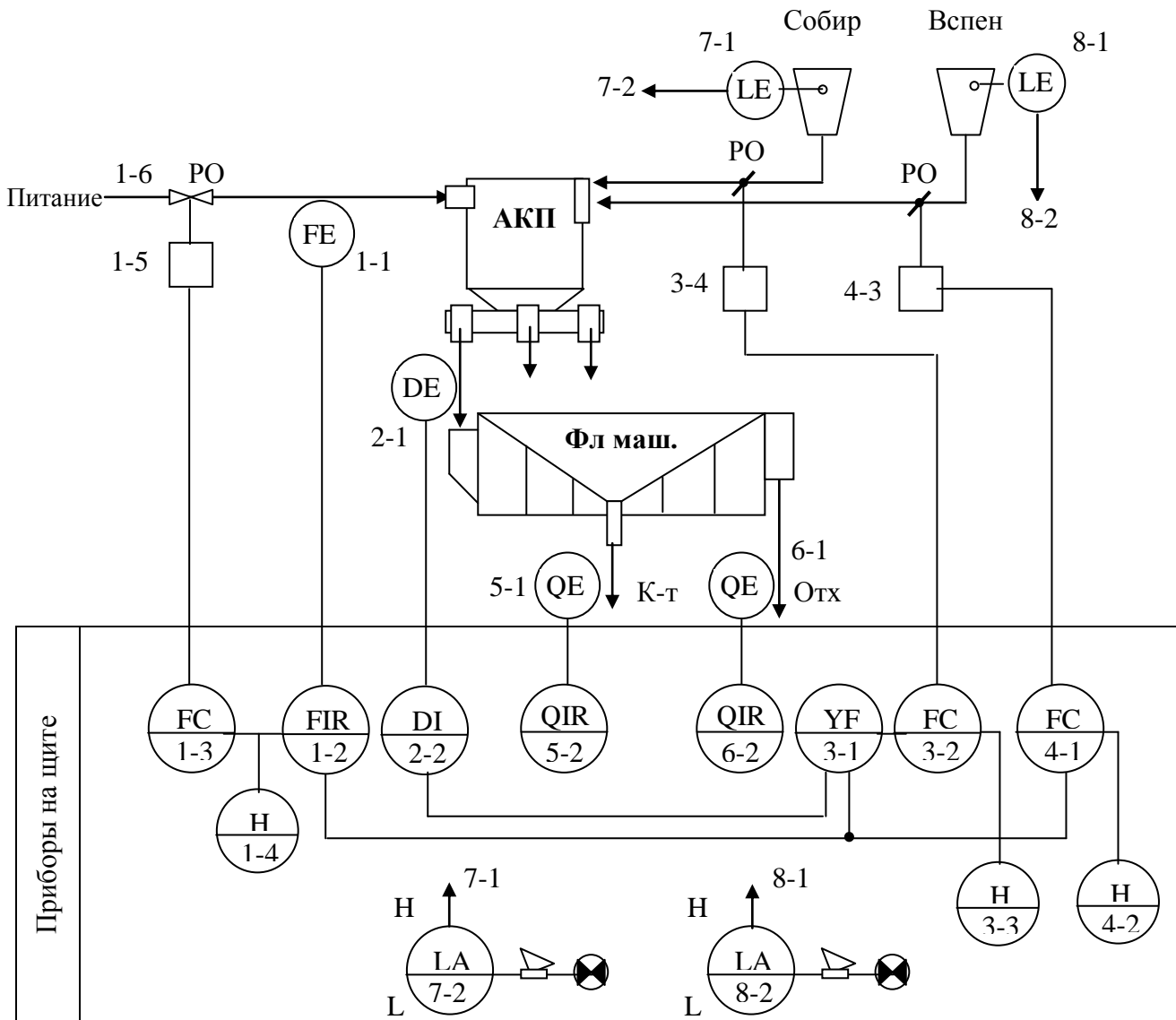


Рис. 10.2 Схема автоматизации процесса угольной флотации

4. Система дозирования реагента-пенообразователя (система 4), включающая регулятор (4-1), куда поступает информация об объемном расходе пульпы, задатчик (4-2) и питатель пенообразователя (4-3).
5. Системы контроля зольности концентрата (система 5) и отходов (система 6), которые на данном этапе автоматизации только регистрируются вторичными приборами. В дальнейшем эти системы можно расширить до управляющих, воздействуя, например, на АСУ расхода реагентов при отклонении зольностей продуктов от заданных.

6. Системы дискретного контроля с сигнализацией верхнего и нижнего уровней реагентов в баках (системы 7 и 8). Для упрощения чтения схемы в данных системах линии передачи информации условно разорваны.

Анализ работы систем данной схемы проста, если вспомнить буквенные обозначения технологических параметров и функциональных признаков приборов (раздел 9).

Следует отметить, что приведенная схема (как и нижеследующие) реализует первый этап автоматизации. В дальнейшем, при наличии надежно действующих первичных датчиков параметров и алгоритмов управления, в схему автоматизации можно ввести централизованный управляющий комплекс на базе микропроцессорной техники.

10.2 Схема автоматизации процесса обезвоживания на вакуум-фильтре

При разработке схемы автоматизации вакуум-фильтра следует учитывать, что процесс фильтрации относится к вспомогательным и задача фильтровального отделения – принимать и обезвоживать весь флотационный концентрат флотационного отделения.

На рис. 10.3 показана структура факторов вакуум-фильтра.

Основными выходными параметрами являются производительность фильтра по кеку и его влажность (G , W_k). Дополнительные выходные факторы – расход и плотность фильтрата (q_f , δ_f).

К промежуточному выходному параметру следует отнести уровень пульпы в ванне вакуум-фильтра (H_n), во многом определяющим его режим работы.

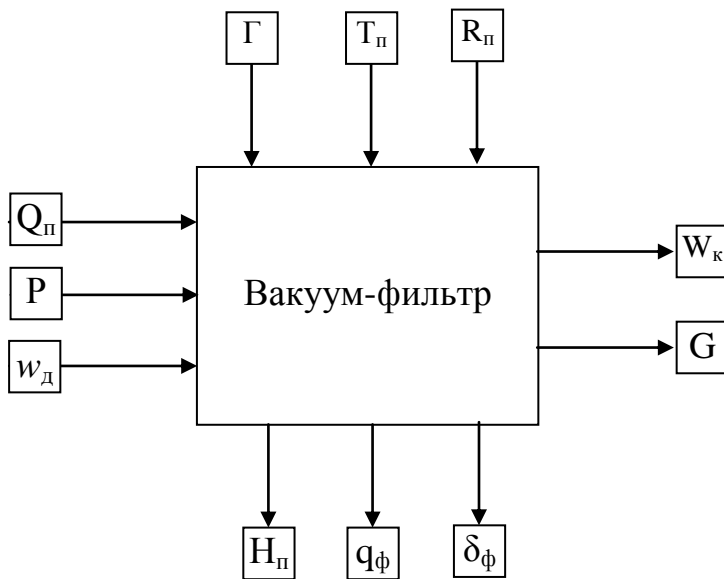


Рис. 10.3 Структура факторов процесса обезвоживания на вакуум-фильтре

Возмущающие воздействия представляются гранулометрическим составом концентрата (Γ), разжиженностью и температурой пульпы (R_n , T_n). Основными управляющими воздействиями на объект приняты объемная нагрузка (Q_n), разрежение в дисках фильтра (P) и частота вращения дисков (w_d).

Отметим, что вакуум-

фильтр, как объект автоматизации по каналу "нагрузка на фильтр" – "уровень пульпы в ванне" с достаточной точностью можно представить реальным интегрирующим звеном с незначительным транспортным запаздыванием, а по каналу "частота вращения дисков" – "влажность кека" – аperiodическим звеном первого порядка.

С учетом изложенного рассмотрим фрагмент схемы автоматизации процесса обезвоживания флотоконцентрата на вакуум-фильтре, приведенный на рис. 10.4.

Здесь упрощенно изображена технологическая схема обезвоживания флотоконцентрата, включающая сборный зумпф концентрата, насос, трубопровод с регулирующим органом. Вакуум-фильтр снабжен приводом с регулируемой частотой вращения (позиция 2-6).

Следует учесть, что вакуум-фильтр является сложным объектом управления, так как имеется существенная взаимосвязь между различными факторами.

Например, частота вращения дисков вакуум-фильтра предопределяет с одной стороны его производительность, с другой влажность кека.

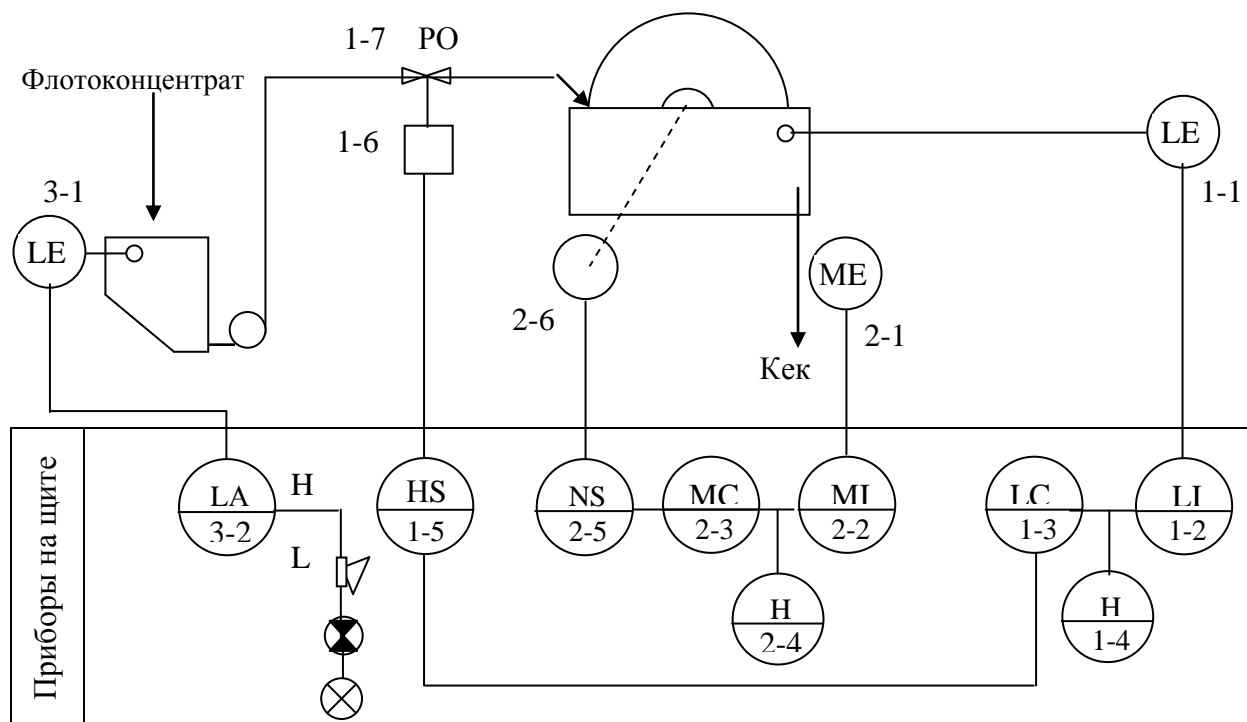


Рис. 10.4 Схема автоматизации процесса фильтрации флотоконцентрата

Из технологических соображений принимаем, что для вакуум-фильтра важнейшими параметрами являются влажность кека и уровень пульпы в ванне. Уровень пульпы зависит от ряда параметров – нагруз-

ки на вакуум-фильтр, его производительности, которая в свою очередь определяется частотой вращения дисков, вакуумом в системе, гранулометрическим составом питания и пр. Принимаем наиболее простой канал управления уровнем пуды – объемную нагрузку на вакуум-фильтр, которую можно изменять с помощью дроссельной заслонки, расположенной на нагнетательном пульпопроводе (РО, поз 1-7).

Влажность кека также зависит от многих факторов (вакуум в системе, частота вращения дисков, объемная нагрузка на вакуум-фильтр, грансостав флотоконцентрата). Учитываем, что вакуум в системе обезвоживания всегда поддерживается максимально возможным.

Гранулометрический состав питания вакуум-фильтра изменять практически невозможно. Следовательно, принимаем наиболее рациональный канал управления влажностью концентрата - изменение частоты вращения дисков вакуум-фильтра с помощью привода (поз. 2-6). Заметим, что современные вакуум-фильтры оборудуются приводом с управляемой частотой вращения дисков.

Важным параметром в данной схеме является и уровень пульпы в зумпфе, нельзя допускать как перелив, так и захват всасывающим патрубком насоса воздуха.

Таким образом, принимаем для рассматриваемой схемы автоматизации 3 независимые системы:

- 1 Система стабилизации уровня пульпы в ванне вакуум-фильтра (поз.1).
- 2 Система регулирования влажности кека (поз. 2).
- 3 Система контроля верхнего уровня пульпы в зумпфе (поз. 3).

Система 1 содержит первичный датчик уровня пульпы (чувствительный элемент с преобразователем, поз 1-1), установленный по месту, вторичный прибор контроля уровня (показывающий, поз. 1-2), регулятор (поз. 1-2), задатчик (поз. 1- 4), переключатель выбора режима работы системы (поз. 1-5), исполнительный механизм с регулирующим органом, установленном на пульпопроводе (поз. 1-6 и 1-7).

Аналогично, система регулирования влажности (2) кека включает первичный датчик влажности (2-1), вторичный показывающий и регистрирующий прибор (2-2), регулятор с задатчиком (2-3 и 2-4), тиристорную станцию управления (2-5) и привод фильтра (2-6).

Система контроля уровня (3) в зумпфе содержит первичный дискретный датчик уровня (например, 2 электрода поз. 3-1) и уровнемер (например, типа УКС, поз. 3-2). Последний настроен на контроль двух уровней – верхнего (Н) и нижнего (L). Сигнализация осуществляется с помощью индикаторной лампочки и гудка.

В углеобогатительной промышленности нашел применение универсальный комплекс аппаратуры (САРФ) предназначенный для авто-

матизации флотационных и фильтровальных отделений. Комплекс обеспечивает:

- автоматическую стабилизацию заданных удельных расходов реагентов;
- стабилизацию плотности и расхода пульпы на флотацию;
- автоматическое регулирование уровня пульпы в ванне вакуум-фильтра и его производительности.

Контрольные вопросы

1. Дайте характеристику факторной взаимосвязи флотационного процесса.
2. Изложите принципы разработки схемы автоматизации дозирования реагентов.
3. Раскройте требования к схемам автоматизации угольной флотации.
4. Объясните особенности вакуум-фильтра как объекта автоматизации.
5. Перечислите факторы, влияющие на процесс фильтрации.
6. Составьте исходные данные для проектирования схемы автоматизации вакуум-фильтра.

Литература к разделу: [4], [5], [9]

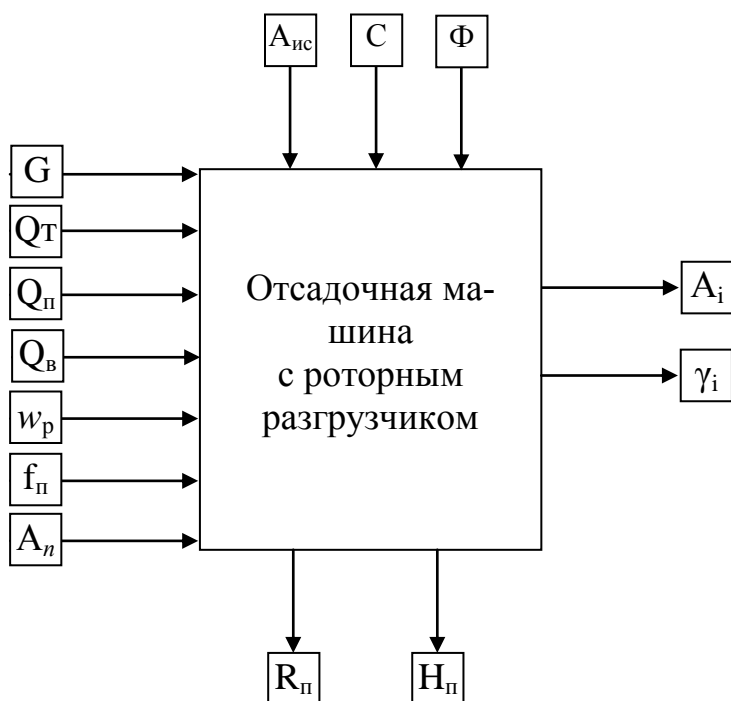
11 РАЗРАБОТКА СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ОБОГАЩЕНИЯ

Входные, выходные и возмущающие факторы процесса. Принцип управления отсадочной машиной. Системы контроля и локальные АСР. Схема автоматизации отсадочной машины. Структура факторов процесса тяжелосредной сепарации. Схема автоматизации процесса.

11.1 Схема автоматизации отсадочной машины

Особенностью современной отсадочной машины является большое число управляющих воздействий. Для примера рассмотрим отсадочную машину с роторным разгрузчиком для обогащения угля. Отсадочная машина характеризуется большим количеством управляющих воздействий (рис. 11.1). К ним относятся нагрузка (G), расход транспортной и подситной воды (Q_T , Q_P), расход воздуха (Q_B), частота вращения роторного разгрузчика (w_p), частота и амплитуда пульсации постели (f_p , A_n).

Входные возмущения связаны в основном с переменным характером свойств сырья. Это –



зольность, ситовый и фракционный состав исходного ($A_{ис}$, C , Φ).

На рисунке указаны промежуточные выходные параметры - разрыхленность и высота постели (R_p , H_p). Последние два фактора непосредственно влияют на выходные параметры - зольность продуктов (A_i) и их выход (γ_i). При выборе регуляторов высоты и разрыхленности постели следует учитывать, что передаточная функция отсадочной машины по каналу "частота вращения разгрузчика" –

Рис. 11.1 Управляющие, возмущающие и выходные факторы процесса отсадки

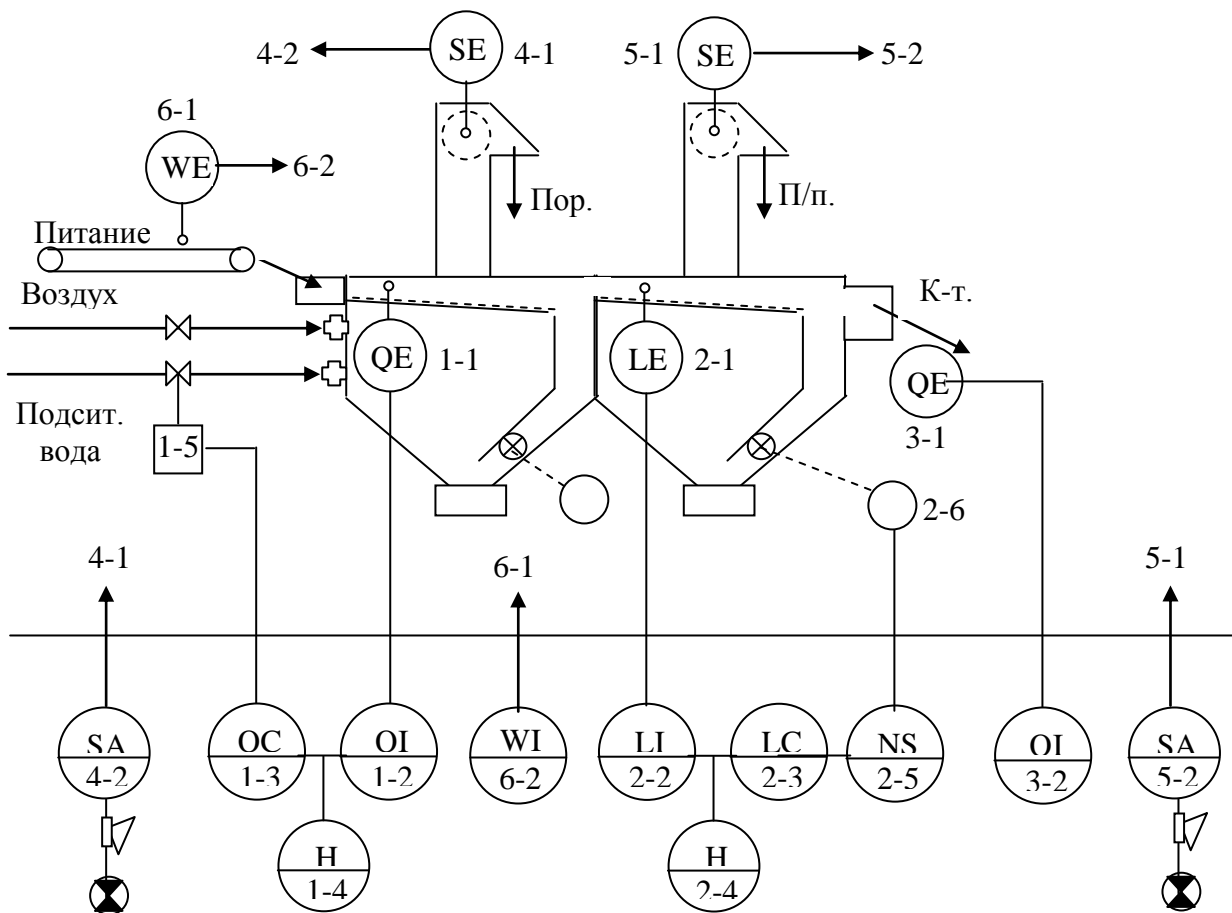
"высота постели" представляет собой реальное интегрирующее звено с транспортным запаздыванием:

$$W(p) = \frac{k}{p(Tp+1)} e^{-p\tau},$$

а по каналам "расход подситной воды или воздуха" – "разрыхленность постели" передаточная функция имеет вид апериодического звена первого порядка с транспортным запаздыванием: $W(p) = \frac{k}{Tp+1} e^{-p\tau}$.

Таким образом, при разработке схемы автоматизации отсадочной машины принимаем, что к основным технологическим параметрам, определяющим качественно-количественные показатели ее работы, относятся разрыхленность постели и ее толщина (высота).

Разрыхленность постели предопределяет возможность ее расслоения по плотности. Она может изменяться путем регулирования расхода подситной воды и воздуха. Каналом управления разрыхленностью постели обычно принимают расход подситной воды. На схеме автоматизации (рис. 11.2) регулирование разрыхленности осуществляет система 1 (первое отделение машины).



11.2 Схема автоматизации отсадочной машины с роторным разгрузчиком

Такая же система предусматривается и во втором отделении (на схеме не показана). Система содержит стандартные элементы автоматики датчик (1-1), вторичный показывающий прибор (1-2), регулятор с задатчиком (1-3 и 1-4), исполнительный механизм с регулирующим органом (1-5).

Толщина постели может регулироваться нагрузкой на машину и количеством выгрузки тяжелой фракции. Нагрузка на машину устанавливается постоянной (на схеме не показано), поэтому за основной канал управления толщиной постели принята частота вращения роторного разгрузчика, т.е. количество выгружаемой тяжелой фракции. На современных отсадочных машинах роторные разгрузчики укомплектованы тиристорным приводом (регулируемая частота вращения).

На схеме регулирование толщины постели осуществляется системой 2 (второе отделение машины). Эта система содержит станцию управления (2-5) тиристорным приводом (2-6). Подобная система установлена и в первом отделении (на рисунке не показана).

Ряд параметров процесса отсадки желателно контролировать. К ним относятся зольность концентрата (система контроля 3), нагрузка на машину (система 6). Для контроля перемещения цепей элеваторов установлены реле скорости с сигнализацией (системы 4 и 5).

На некоторых углеобогащительных фабриках эксплуатируется комплекс автоматизации отсадочных машин ОКА. Комплекс включает ряд функциональных блоков, позволяющих:

- автоматическое регулирование высоты и разрыхленности постели;
- оптимизацию процесса разделения угля с учетом зольности продуктов обогащения и производительности отсадочной машины;
- контроль основных параметров процесса отсадки и сигнализацию о состоянии механизмов.

11.2 Схема автоматизации процесса обогащения в тяжелых средах

Автоматизация процесса тяжелосреднего обогащения в сепараторах либо в гидроциклонах не имеет принципиального различия. На рис. 11.3 показана структура факторов процесса.

Входными и управляющими факторами здесь являются нагрузка по исходному (Q), расход воды и магнетита ($Q_{в}$, $Q_{м}$) и долевая часть рабочей суспензии, направляемой на регенерацию (α_c).

Возмущающими воздействиями, как и в случае автоматизации отсадочной машины, являются характеристики исходного материала — зольность, ситовый и фракционный состав сырья ($A_{ис}$, C и Φ).

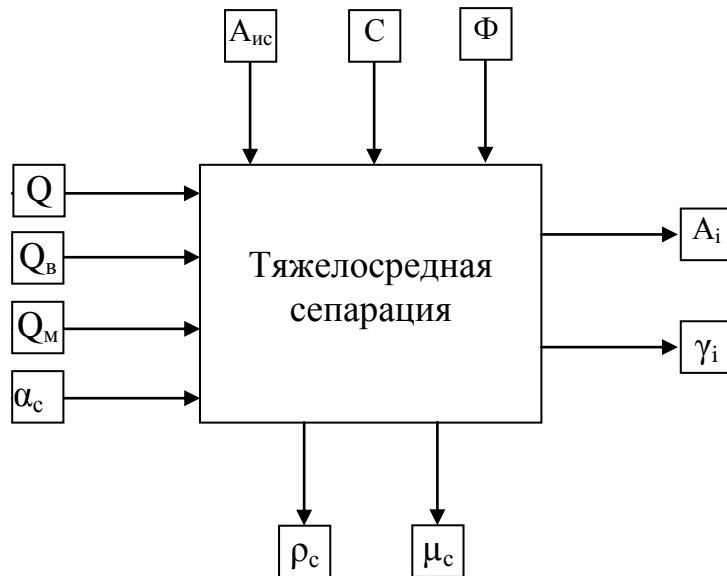


Рис. 11.3 Структура факторов процесса тяжелосредной сепарации

Промежуточные выходные параметры, определяющие выходные показатели - зольность продуктов обогащения (A_i) и их выход (γ_i), - это плотность (ρ_c) и вязкость (μ_c) рабочей суспензии.

На рис. 11.4 приведен вариант схемы автоматизации процесса тяжелосредной сепарации на коленном сепараторе типа СКВП. На схеме не показана отмывка магнетита от породного продукта

При разработке схемы учтено, что основные параметры процесса, определяющие качественные показатели, и, следовательно, требующие стабилизации – плотность рабочей суспензии (система 3) и ее вязкость (система 4). Существует несколько каналов управления плотностью суспензии.

На схеме показан канал управления – разбавление суспензии водой до нужного значения. Реализация данного метода возможна, так как в бак кондиционной суспензии (БКС) по мере необходимости подается свежая порция суспензии с заведомо повышенной плотностью, приготовленная в специальном баке (БС).

Вязкость суспензии регулируется путем подачи части рабочей суспензии с помощью делителя и исполнительного механизма (поз. 4-б) на регенерацию.

Состав и работа рассмотренных локальных систем авторегулирования легко читается с помощью буквенных обозначений.

Дополнительно схема содержит систему (система 1) контроля с сигнализацией верхнего и нижнего уровня в баке суспензии (БС).

На щите установлена схема управления (2-1) задвижкой на трубопроводе свежей суспензии (2-2). Контролируются с сигнализацией и

уровни в баках кондиционной (БКС) и некондиционной суспензии (БНС, системы 5 и 6).

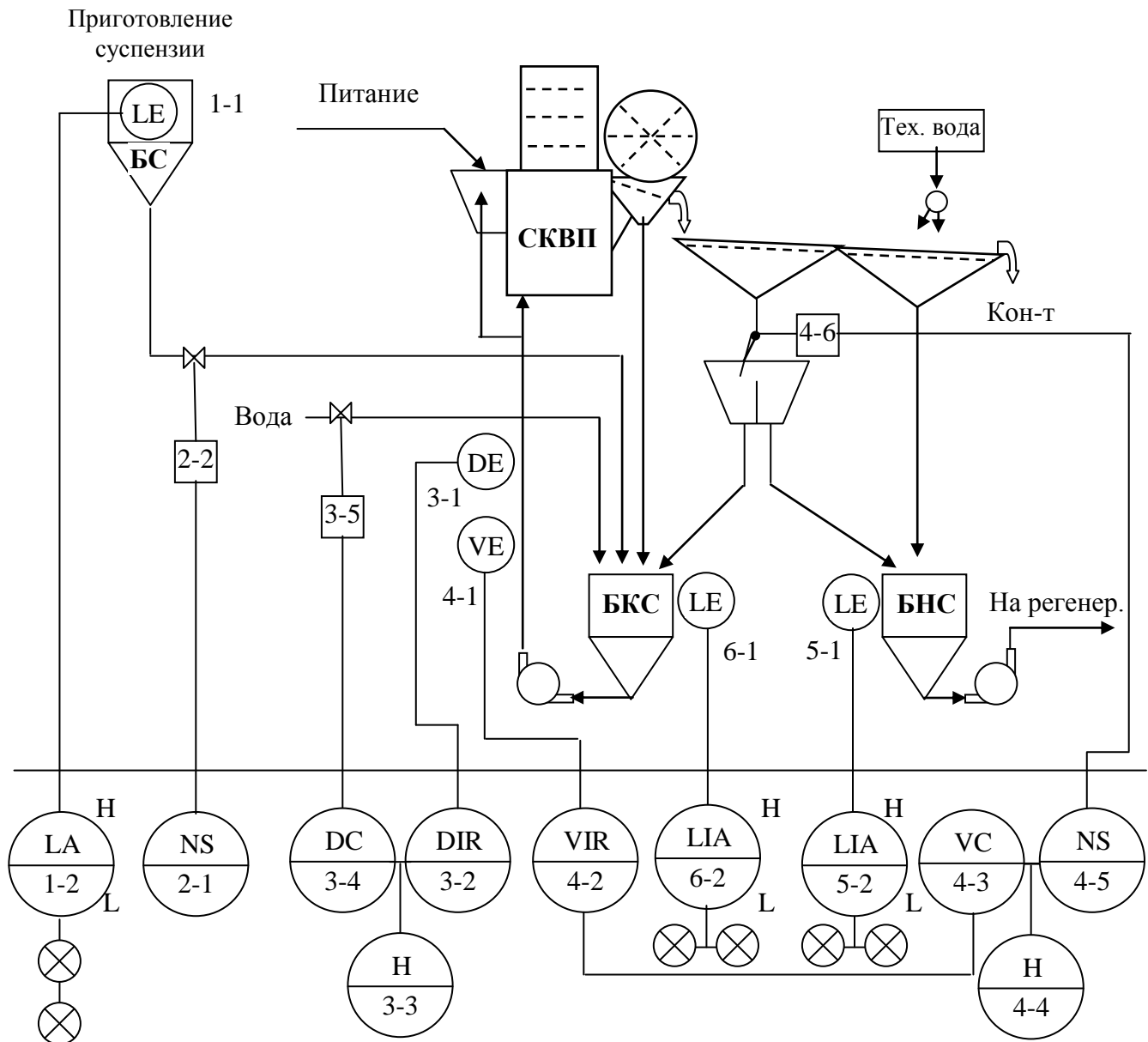


Рис. 11.4 Схема автоматизации процесса тяжелосредной сепарации колесном сепараторе

Для автоматизации любых тяжелосредных установок разработан универсальный комплекс аппаратуры РУТА, который может реализовать автоматизацию следующих вариантов технологических схем:

- обогащение в одну стадию в колесных или тяжелосредных гидроротициклонах с разделением на два продукта;
- двухстадийное обогащение в колесных сепараторах с выделением трех продуктов;

- обогащение в двух- и трехпродуктовых гидроциклонах с отдельной регенерацией суспензии.

Контрольные вопросы

1. Составьте исходные данные для проектирования схем автоматизации:
 - процесса отсадки;
 - процесса тяжелосредней сепарации угля;
 - обогатительного гидроциклона;
 - спирального сепаратора.
2. Разработайте схему автоматизации обогатительного гидроциклона

Литература к разделу: [2], [3], [4]

12. РАЗРАБОТКА СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Сушильные установки – объекты автоматизации. Особенности динамических свойств объектов. Факторная взаимосвязь комплекса топка-сушильный агрегат. Принципы разработки схемы автоматизации топок и сушильных барабанов. Схемы автоматизации сушильных агрегатов.

12.1 Особенности сушильных установок как объектов управления

Сушильные установки обогатительных фабрик состоят из двух частей – топочного устройства с дутьевыми установками, служащего для выработки газообразного теплоносителя, и собственно сушилок с загрузочными и разгрузочными устройствами, системами пылеулавливания и дымососами.

На сушильных установках в качестве сушильного агента используются топочные газы, которые получают в топках при сжигании твердого, жидкого или газообразного топлива. Наиболее простыми в управлении являются топочные устройства с газообразным либо жидким топливом. Однако их применение ограничивается в связи с дефицитом таких топлив. На обогатительных фабриках наиболее часто применяют топки со слоевым сжиганием твердого топлива, которые являются более сложными в эксплуатации и автоматизации.

Процесс термической сушки чаще всего осуществляется в трубах-сушилках или барабанных сушильных установках, а в некоторых случаях – в сушилках кипящего слоя.

Целью автоматизации процесса сушки является стабилизация (или оптимизация) конечной влажности продуктов обогащения с максимальной производительностью сушильных агрегатов при минимальных расходах топлива, а также обеспечить условия для безопасной эксплуатации сушильных агрегатов и топок.

К основным особенностям сушильных установок как объектов автоматизации можно отнести:

- инерционность, свойственная протеканию тепловых процессов;
- стохастичность процесса термической сушки при значительном уровне случайных возмущений и слабой взаимосвязи основных переменных;
- сложность получения основного регулирующего воздействия, предельно отражающего изменения конечной влажности угля вследствие того, что сушильные отделения перерабатывают большие массы мелкокускового неоднородного продукта, влаж-

ность которого определяется как усредненная величина, характеризующая продукт статистически;

- взрывоопасность, обуславливающая необходимость создания систем защиты, контроля и сигнализации.

Автоматизация сушильной установки должна обеспечивать:

- контроль основных технологических параметров; защиту установки от аварийно-опасных режимов работы;
- автоматическое регулирование основных факторов, обеспечивающих рациональные режимы работы установок;
- управление процессом сушки и горения топлива, а также контроль основных параметров безопасности.

Технологически топочное устройство и сушильный агрегат представляют собой единый комплекс (рис. 12.1), в котором топка решает задачу подготовить необходимое количество теплоносителя (Q_T) с заданной температурой (T_T), а сушильный агрегат – обеспечить требуемую влажность сушонки (W_c).

К управляющим параметрам топочного устройства относятся количество поступающего топлива (G_T) и количество подаваемого воздуха на горение (Q_B). Основным возмущением на данный агрегат является теплота сгорания подаваемого топлива, определяемая его характеристиками (q_T).

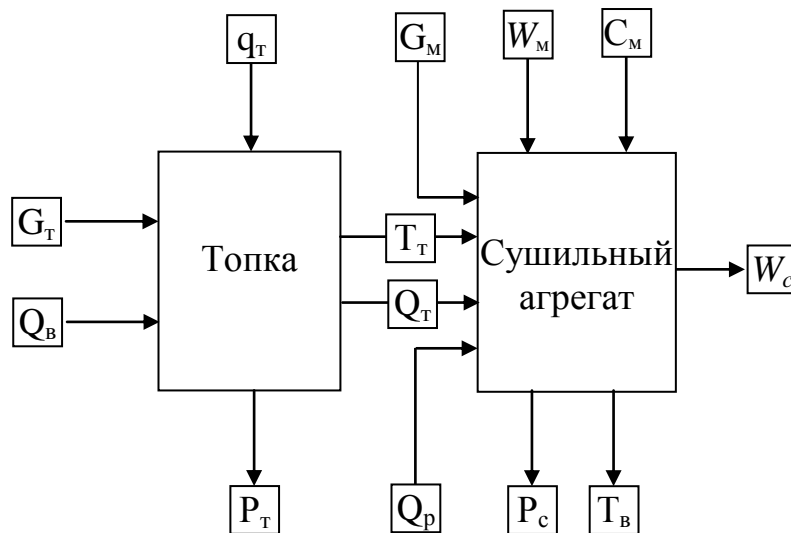


Рис. 12.1 Факторная взаимосвязь сушильного комплекса

К промежуточному выходному параметру следует отнести разряжение в топке (P_T), являющееся показателем сбалансированной работы тягодутьевых аппаратов и безопасности эксплуатации топки

Главные выходные факторы топки, они же являются входными для сушильного агрегата – количество и температура теплоносителя (Q_T и T_T).

К входным (управляемым) факторам сушилки следует отнести нагрузку на агрегат по подсушиваемому материалу (G_M) и количество подаваемого в загрузочную камеру воздуха на разбавление теплоносителя (Q_p). Возмущениями на данный объект могут быть влажность исходного материала (W_M) и его ситовый состав (C_M). К промежуточным выходным факторам отнесем разрежение в агрегате (P_c) и температура газа в его выгрузной камере (T_b).

Рассмотрим подробнее принципы автоматизации сушильных комплексов.

12.2 Схема автоматизации топки с цепной решеткой.

На рис. 12.2 изображена схема автоматизации топки слоевого сжигания с цепными решетками прямого хода.

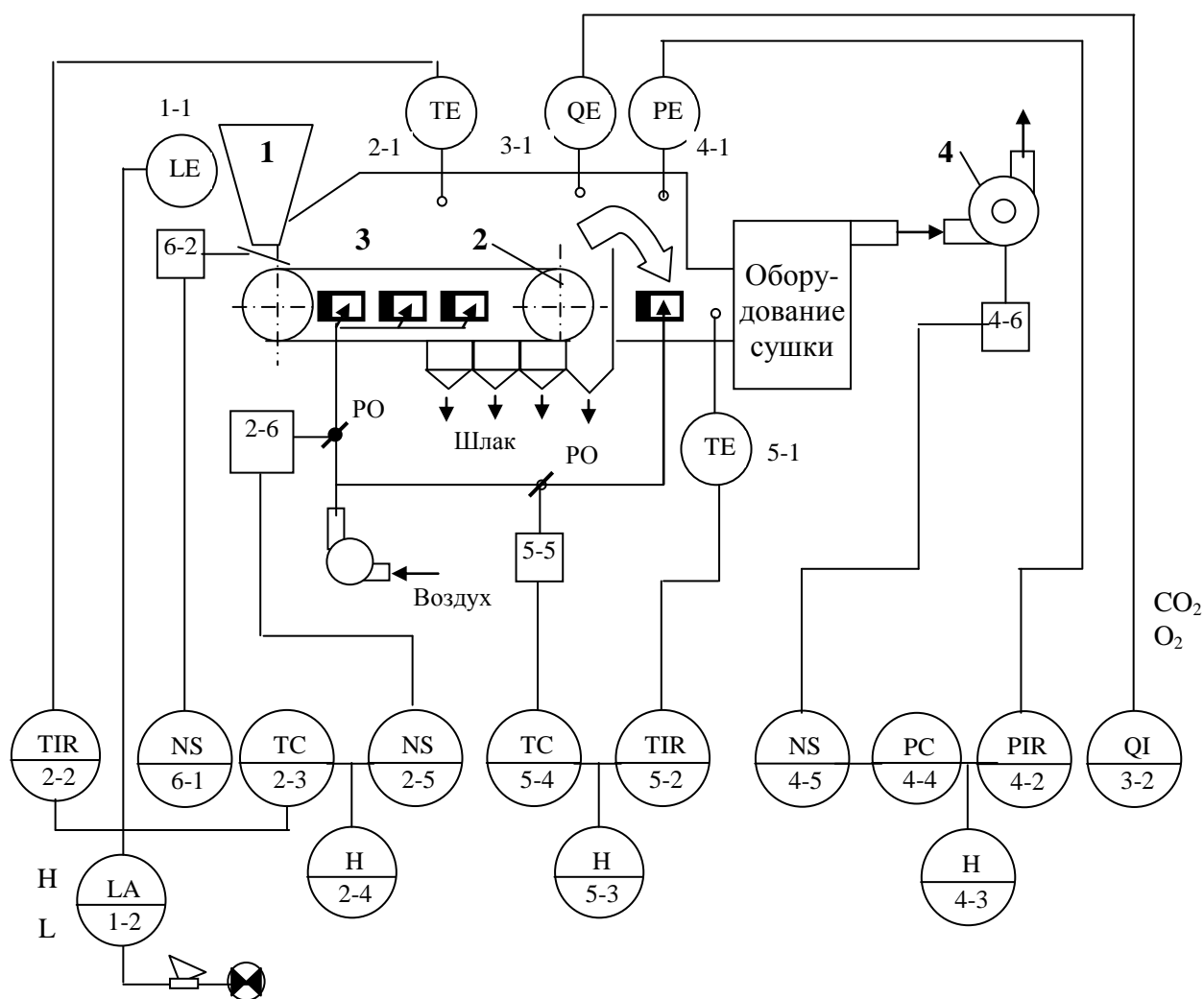


Рис 12.2 Схема автоматизации топки с цепной решеткой

Топка представляет собой камеру сжигания твердого топлива (3), которое происходит на поверхности беспровальной цепной решетке (2). Топливо дозируется на решетку из бункера (1) питателем с приводом (4-6). Для поддержания горения снизу вентилятором подается воздух, расход его управляется системой регулирования температуры в зоне горения (система 2). Продукты горения через смесительную камеру поступают в сушильный агрегат (трубу-сушилку или барабан). Система регулирования (5) поддерживает температуру газа на входе в агрегат путем разбавления газов холодным воздухом. Ее величина определяется маркой сушеного угля и его влажностью. Большое значение для безопасности труда имеет разряжение в топке.

Требуемое разряжение обеспечивает система (4), которая изменяет производительность дымососа, воздействуя на его направляющий аппарат исполнительным механизмом (4-6). Схема автоматизации содержит газоанализатор (система 3) и систему контроля уровня в бункере топлива (система 1). При наличии оперативного контроля содержания O_2 и CO_2 представится возможность разработать систему регулирования рационального режима сжигания твердого топлива.

12.3 Схема автоматизации барабанной сушильной установки

Упрощенная схема автоматизации приведена на рис. 12.3. Технологическая схема содержит бункер подсушиваемого угля (БУ), снабженный питателем с управляемым приводом (поз.1-6), вращающийся барабан, батарею циклонов (БЦ), дымосос, мокрый пылеуловитель (МП). Барабан снабжен загрузочной камерой (ЗК) и разгрузочной (РК). В загрузочную камеру поступает влажный уголь и теплоноситель (газ), подготовленный в топке.

В разгрузочной камере происходит выделение основной массы сухого угля (сушонка), тонкие частицы угля выносятся в батарейный циклон, где выделяется основная часть тонких частиц, окончательное их улавливание осуществляется с помощью воды в мокром пылеуловителе (МП).

Основной регулируемый параметр – влажность сушонки, (система 1). Каналом управления здесь принята нагрузка на барабан, которая изменяется с помощью привода питателя (поз. 1-6). Система содержит обычные элементы автоматики: первичный датчик влажности (1-1), вторичный регистрирующий прибор (1-2), регулятор с задатчиком (1-4 и 1-3), станция управления (1-5) и исполнительный механизм (1-6).

Второй важный параметр – температура газов на входе в барабан. Но она стабилизируется системой регулирования (5), расположенной в схеме автоматизации топки (рис. 8.13).

Поэтому здесь предусмотрен только дополнительный ее контроль (система 2). Система 3 контролирует температуру на выходе из барабана, это также важный параметр. Разница между температурами на входе и на выходе из барабана характеризует теплоотдачу газа на подсушивание угля.

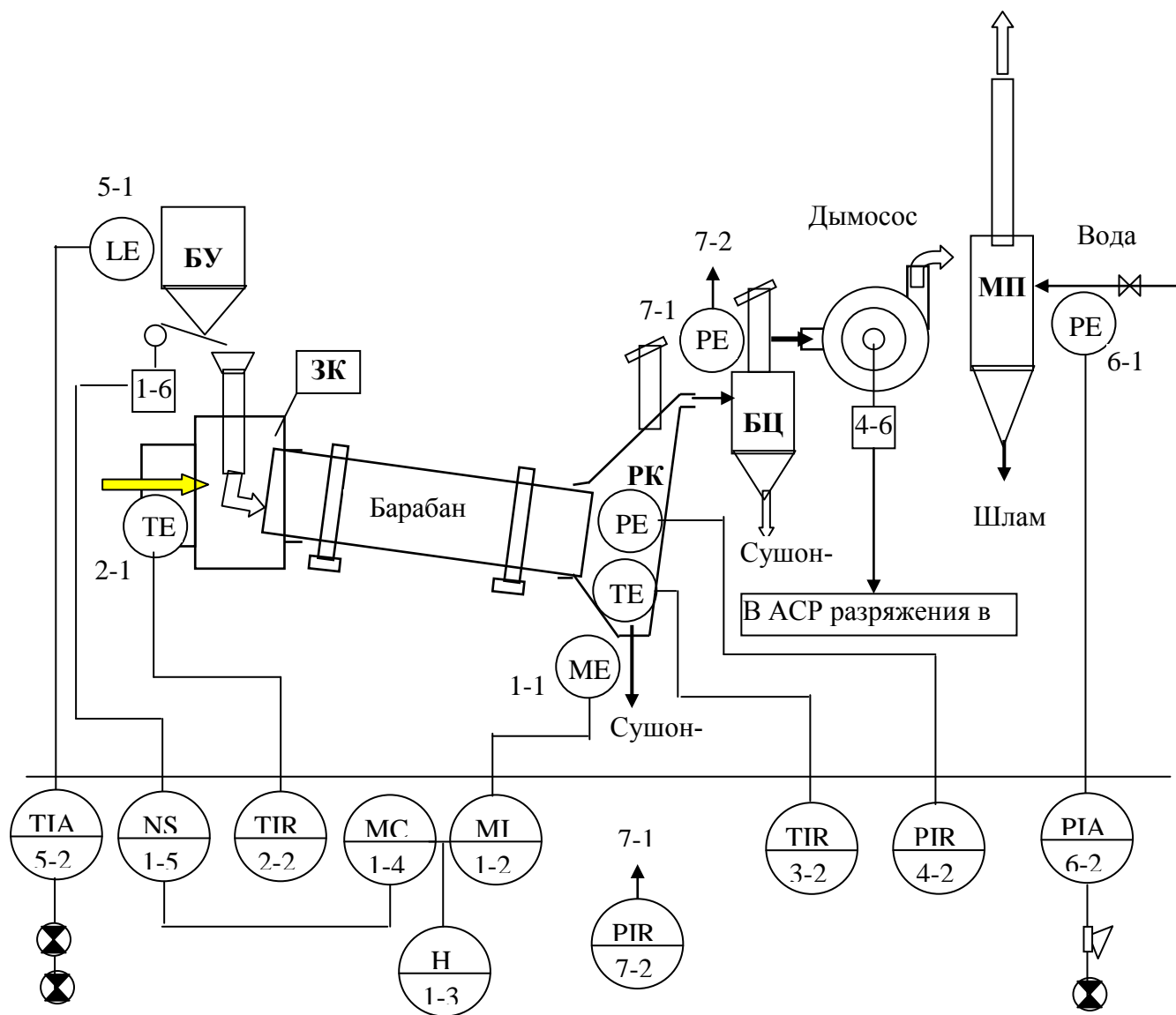


Рис. 12.3 Схема автоматизации барабанной сушильной установки

Системы 4 и 7 контролируют разрежение в соответствующих точках технологии. Эти параметры полезны для общего управления процессом сушки.

Система контроля уровня в бункере угля (5) – дискретная с сигнализацией. Последняя вспомогательная система контроля с сигнализацией давления воды на входе мокрого пылеуловителя (6).

В системах контроля температуры в качестве первичных датчиков обычно применяют термопары и терморезисторы соответствующего типа.

Одним из важных вопросов по данной схеме является обеспечение оперативного контроля влажности конечного продукта.

12.4 Схема автоматизации трубы-сушилки

Один из вариантов схемы автоматизации трубы-сушилки показана на рис. 12.4.

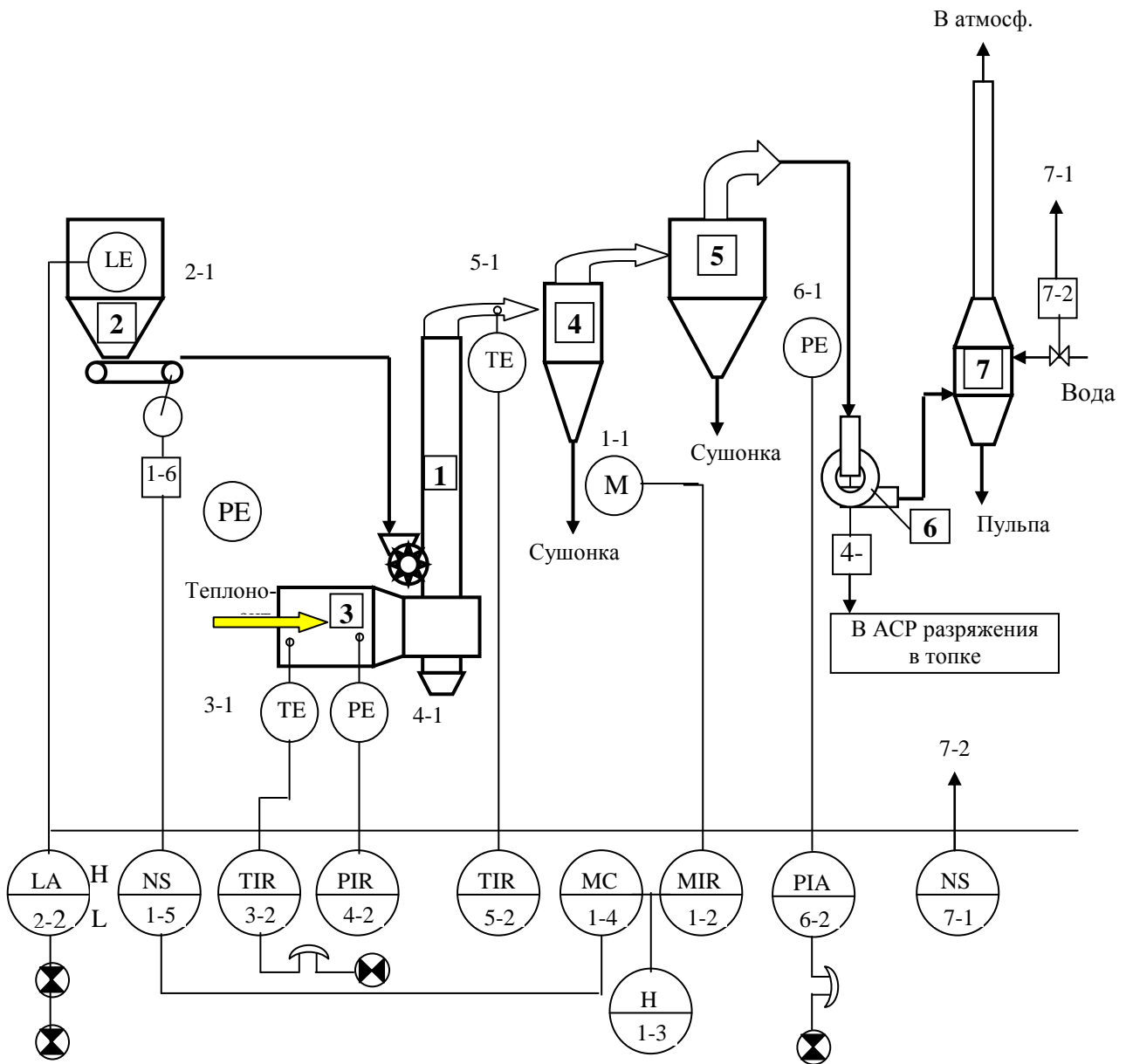


Рис. 12.4 Схема автоматизации трубы-сушилки

Технологическая схема отличается от вышерассмотренной в основном сушильным агрегатом. Здесь применяется труба-сушилка (1), снабженная в нижней части забрасывателем влажного угля. В забрасыватель влажный уголь дозируется с помощью питателя, расположенного под бункером (2).

Горячие газы, подготовленные в топке, поступают в трубу с помощью газохода (3) со скоростью, обеспечивающей подъем в ней наиболее крупного куска угля, содержащийся в подсушиваемом материале. Улавливание основной массы сухого угля осуществляется с помощью разгрузочной камеры или циклона (4), тонкие фракции угля выделяются на батарейном циклоне (5), окончательная очистка газов производится в мокром пылеуловителе (7), куда газы подаются дымососом (6). Следует обратить внимание, что дымосос обеспечивает движение теплоносителя от зоны горения в топке до выброса очищенного газа в атмосферу. При этом он обеспечивает необходимое разрежение во всех аппаратах сушильного отделения и транспортирование угля в трубе-сушилке.

В схеме автоматизации приняты подобные, как и при разработке автоматизации барабанной установки, регулируемые и контролируемые параметры. Поэтому пояснения здесь будут излишни. Следует обратить внимание, что производительность дымососа регулируется системой (4), относящейся к топочному агрегату.

Контрольные вопросы

1. Дайте характеристику факторной взаимосвязи сушильного комплекса.
2. Составьте упрощенную схему автоматизации топки с твердым топливом.
3. Разработайте схему автоматизации топки с газообразным топливом.
4. Составьте исходные данные для разработки схем автоматизации:
 - барабанной сушильной установки;
 - трубы-сушилки.

Литература к разделу: [3], [4], [5]

13 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СГУЩЕНИЯ

Радиальный сгуститель, как объект автоматизации. Анализ факторной взаимосвязи. Обоснование принципа регулирования. Факторы управления. Контроль промежуточных выходных параметров. Схема автоматизации, ее анализ

Для примера рассмотрим автоматизацию процесса сгущение хвостов флотации в радиальном сгустителе, работающем на многих углеобогатительных фабриках. Важность поставленного вопроса объясняется тем, что чистота используемого в качестве оборотной воды слива во многом определяет эффективность последующих гравитационных процессов.

Радиальный сгуститель, как объект автоматизации, сложный инерционный объект (рис. 13.1). Характеризуется основными выходными параметрами – плотность сгущенного продукта ($\delta_{сг}$) и плотность слива ($\delta_{сл}$).

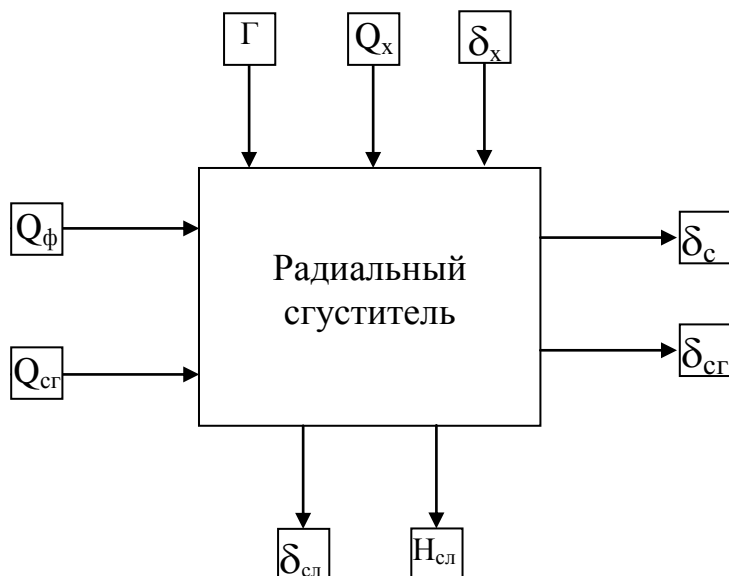


Рис. 13.1 Структура факторов процесса сгущения

Основные возмущающие воздействия – расход, плотность и гранулометрический состав твердой фазы питания (Q_x , δ_x , Γ).

Промежуточные выходные параметры, непосредственно влияющие на выходные факторы, - высота осветленного слоя ($H_{сл}$) и его плотность ($\delta_{сл}$).

С точки зрения требований технологии целью управления радиальным сгустителем является: стабилизация плотности сгущенного продукта ($\delta_{сг} = \text{const}$) и выполнение условия $\delta_{сл} < \delta_{сл \text{ доп}}$, где $\delta_{сл \text{ доп}}$ - допустимая плотность слива.

Управляющим воздействием по первому критерию может служить величина сечения выпускного отверстия сгустителя, по второму - расход флокулянта.

Однако реализация системы регулирования плотности слива (по отклонению) путем изменения расхода флокулянта проблематична.

Из теории авторегулирования известно, что если

$$\tau_{об} > 1/\alpha, \quad (8.1)$$

где α - параметр, характеризующий среднюю скорость изменения возмущающего воздействия;

$\tau_{об}$ - общее запаздывание объекта регулирования, то система регулирования по отклонению становится бесполезной, даже в некоторых случаях вредной.

Радиальные сгустители по указанному каналу управления характеризуются большим значением инерционности [5], что приводит к выполнению условия (8.1), т.е. АСР неработоспособна.

Данная проблема может быть решена двумя способами. Первый – с помощью системы регулирования по возмущению ($Q_{пит}$). Второй – стабилизацией высоты осветленного слоя в сгустителе путем изменения расхода флокулянта. По этому каналу инерционность объекта значительно меньшая и реализация АСР по отклонению реальна. Некоторую сложность представляет автоматический контроль высоты осветленного слоя. Ниже будет предложен вариант косвенной оценки толщины осветленного слоя.

Пример схемы автоматизации приведен на рис. 13.2. Здесь предусмотрено две системы авторегулирования по отклонению. Первая АСР (система 1) стабилизирует высоту осветленного слоя путем изменения расхода флокулянта.

В систему входит датчик высоты осветленного слоя (1-1) и обычные стандартные элементы.

Вторая АСР (система 2) стабилизирует плотность сгущенного продукта. Работа системы аналогично вышерассмотренным.

Аварийный контроль плотности слива осуществляется с помощью фотометрического мутномера (3-1), вторичного прибора с контактной группой и средств сигнализации (3-3). Это решение актуально для угольных обогатительных фабрик, где слив используется в качестве оборотной воды.

Учитывая высокую стоимость современных флокулянтов целесообразно осуществлять контроль их расхода с суммированием (система 5).

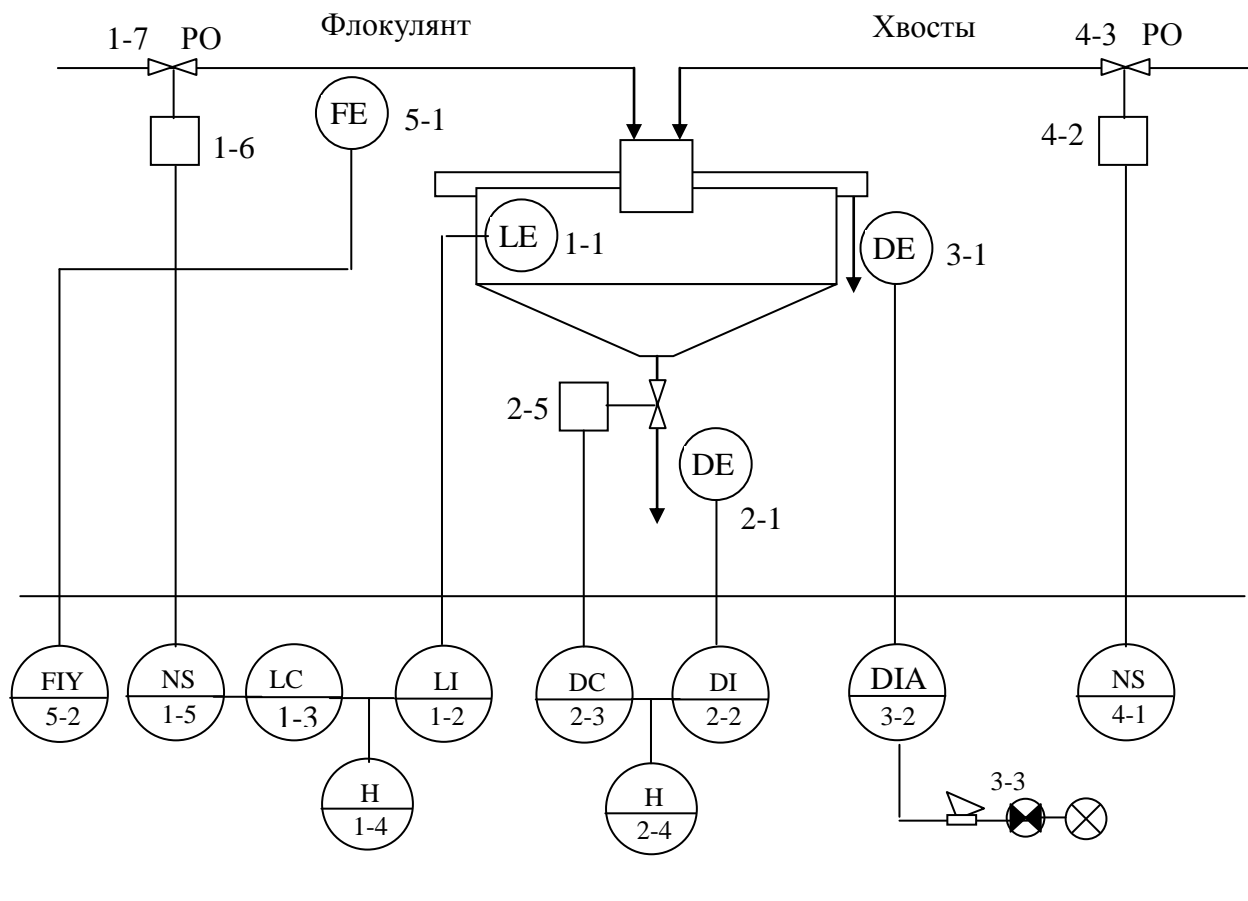


Рис. 13.2 Вариант схемы автоматизации радиального сгустителя

В схеме предусмотрена типичная схема дистанционного управления регулирующим органом на линии питания сгустителя.

На схеме не приведены системы сигнализации и защиты от перегруза фермы, которыми комплектуются радиальные сгустители с периферийным приводом.

Контрольные вопросы

1. Изложите особенности автоматизации сгустителей хвостов угольной флотации.
2. Перечислите возможные методы контроля высоты осветленного слоя в сгустителе.
3. Приведите упрощенную схему автоматизации цилиндрико-конического сгустителя.

Литература к разделу: [3], [5], [9]

14 ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ РУДНОГО ОБОГАЩЕНИЯ

Особенности автоматизации подготовительных процессов рудного обогащения. Автоматизация процессов дробления и измельчения. Принципы автоматизации магнитного обогащения руд.

Обогащение руд черных и цветных металлов включает ряд процессов, которые не характерны для обогащения углехимического сырья. Это, прежде всего подготовительные операции (дробление, измельчение, классификация), магнитное разделение, процессы дешламации, гидromеталлургические методы.

Автоматизация рудоподготовки

Рудоподготовка включает процессы дробления, грохочения и измельчения руды.

Дробление. Схемы дробления осуществляют в одну, две или три стадии в зависимости от крупности исходной руды и крупности дробленого продукта. В схемах применяют предварительное или контрольное грохочение, возможны замкнутые циклы в последней стадии; между стадиями дробления располагают бункера, склады, транспортные конвейерные линии.

На рудообогатительных фабриках наибольшее распространение получили щековые и конусные дробилки. Щековые дробилки используются только для крупного дробления, конусные - для крупного, среднего и мелкого дробления.

Автоматический контроль процесса дробления. Технологически целесообразно осуществлять автоматический контроль количества перерабатываемого материала, гранулометрического состава дробленого продукта, уровней материала, наличия в руде посторонних металлических предметов, температуры подшипников и обмоток электродвигателей и системы централизованной смазки.

Количество перерабатываемого материала измеряют конвейерными весами, крупность дробленого продукта можно контролировать различными гранулометрами.

Наличие верхнего уровня руды на различных участках дробилки дает информацию о перегрузке или о забивке нижней разгрузочной щели. Для контроля верхнего уровня используются сигнализаторы наличия руды и гамма-реле, а для токопроводящих руд - электродные уровнемеры.

Контроль нижнего уровня в приемных бункерах необходим не только для получения информации о количестве материала, но и для предохранения питателей от разрушения падающими кусками руды при загрузке бункера (на пластинчатом питателе постоянно должен оставаться небольшой слой материала).

Нижний уровень контролируют преимущественно с помощью гамма-реле.

Датчики-реле нижнего уровня в приемных бункерах применяются также в схемах сигнализации и защиты.

Для автоматического обнаружения посторонних металлических предметов устанавливаются стандартные металлоискатели и металлоуловители.

Контроль температуры узлов трения и обмоток электродвигателей может быть осуществлен с помощью термо- или тензорезисторов, а регистрация - многоточечных автоматических мостов переменного тока со встроенными контактными устройствами, которые используются в схемах защиты и сигнализации.

Все современное дробильное оборудование оборудовано системами централизованной смазки. Аппаратура для контроля системы смазки, поставляемая, как правило, комплектно с дробилкой, включает приборы для измерения температуры масла, уровня в маслобаке и давления в маслопроводе.

Автоматическое регулирование процесса дробления. Из-за невозможности в современных дробилках оперативно изменять величины разгрузочной щели, автоматического регулирования процесса сводится в основном к стабилизации нагрузки на дробилку.

Автоматическое регулирование производительности дробилки можно производить путем стабилизации количества подаваемой руды, степени загрузки дробилки материалом, тока или мощности, потребляемой электродвигателем дробилки и удельного расхода электроэнергии.

На рис. 14.1 приведено два варианта схем автоматизации конусной дробилки. Технологические схемы вариантов отличаются только наличием операции грохочения (3) в схеме "а".

Первая схема реализует автоматическую стабилизацию нагрузки на дробилку, используя в качестве сигнала отклонения потребляемую двигателем мощность

Система включает первичный преобразователь потребляемой мощности (2-1), типичный набор элементов АСР (вторичный прибор, регулятор с задатчиком и станция управления). В качестве привода пластинчатого питателя принят асинхронный электродвигатель (2-5) с тиристорным управлением, что позволяет плавно изменять производительность питателя.

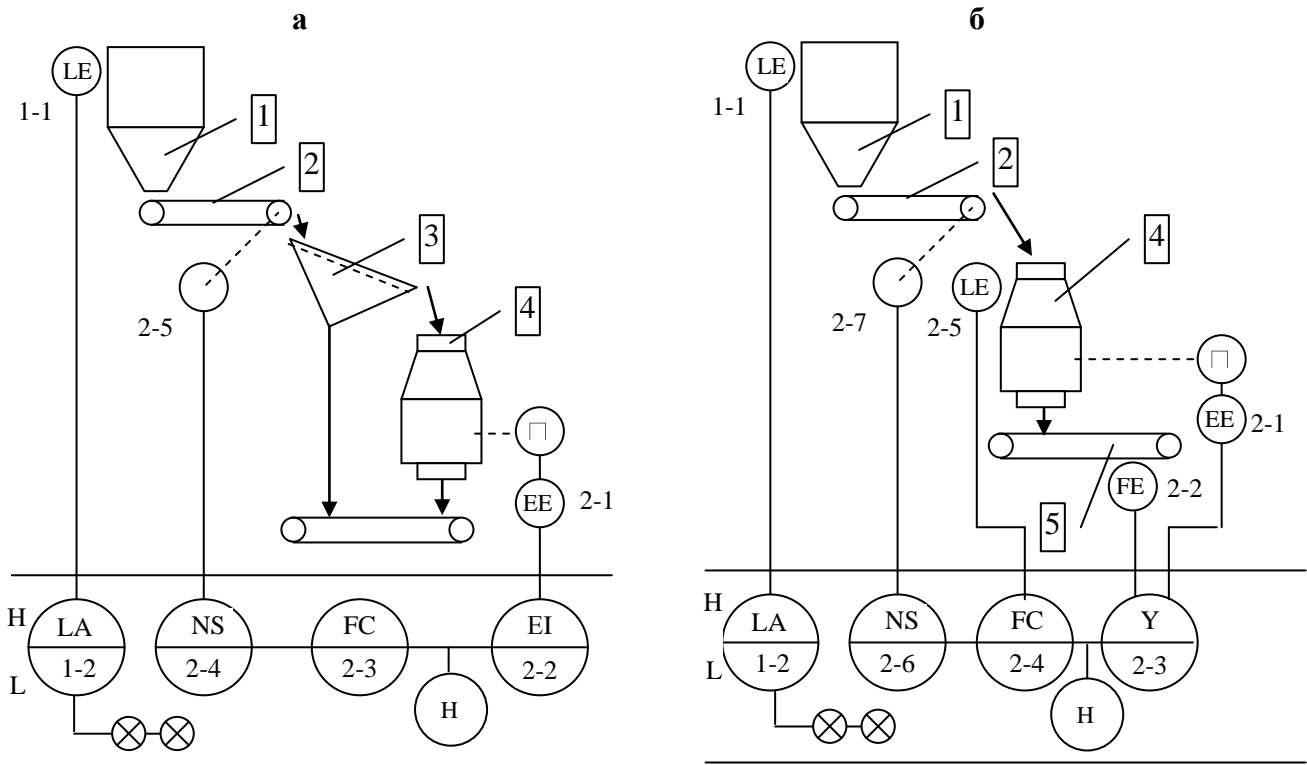


Рис. 14.1 Схемы автоматизации процесса дробления
 а – по потребляемой мощности; б – по удельному расходу энергии
 1 – бункер; 2 – питатель пластинчатый; 3 – грохот; 4 – дробилка конусная; 5 - конвейер

Основным недостатком данной схемы автоматизации является зависимость потребляемой двигателем мощности от свойств руды

(твердость, крупность, влажность). Поскольку АСР рассчитывается для условия дробления руды со средними механическими свойствами, не исключается возможность переполнения загрузочной части дробилки при поступлении более мягкой или мелкой руды.

Следует обратить внимание, что наличие грохота между объектом регулирования (дробилка) и регулирующим органом (питатель) значительно усложняет работу АСР, так как в объект вводится транспортное запаздывание.

Указанные недостатки отсутствуют в схеме автоматизации, показанной на рис. 14.1, б. В качестве входного сигнала в данной схеме принято отклонение удельного расхода электроэнергии. Сигнал пропорциональный удельному расходу энергии определяется путем деления в блоке (2-3) сигнала от преобразователя мощности (2-1) на сигнал от весоизмерительной системы (2-2). При чрезмерном заполнении дробилки материалом, вследствие, например, снижения его прочности, на регулятор (2-4) поступает информация от датчика уровня (2-5), запрещающая дальнейшее увеличение нагрузки на дробилку.

В обеих схемах автоматизации предусмотрен контроль верхнего и нижнего уровня в бункерах исходного (системы 1).

На практике чаще реализуется принцип стабилизации потока и запаса материала для процессов крупного, среднего и мелкого дробления путем управления поточно-транспортной системой (ПТС) цехов и заполнением дробилок и грохотов рудой. Управление ПТС обеспечивает стабильность потока руды по технологической схеме, включая звенья: бункера, конвейеры, грохоты, дробилки, питатели, перегрузочные узлы.

Для автоматизации заполнения бункеров можно рекомендовать аппаратуру автоматического управления загрузкой бункера, включающую устройство дистанционной передачи информации и аппаратуру автоматизации загрузки бункера, выпускаемую Луганским заводом "Углеприбор". Аппаратура управляет передвижением загрузочного механизма над бункером в автоматическом, дистанционном и местном режимах с помощью логических схем, например, на базе бесконтактных элементов ("Оператор").

В Украине эксплуатируются различные типовые системы дистанционного управления позволяющие осуществлять запуск и остановку любой сложности поточно-транспортные системы.

Измельчение. На рудных обогатительных фабриках применяются барабанные шаровые, стержневые, рудно-галечные мельницы и мельницы самоизмельчения. Для крупного измельчения используются мельницы самоизмельчения и стержневые, работающие обычно в открытом цикле.

Для среднего и тонкого измельчения наибольшее распространение получили шаровые и рудно-галечные мельницы, работающие в замкнутом цикле с классифицирующими устройствами – классификаторами или гидроциклонами.

Автоматический контроль процесса измельчения. Эффективность процесса измельчения зависит от ряда входных технологических факторов, число которых определяется видом технологической схемы. К ним следует отнести: расход руды, поступающей в мельницу, циркулирующая нагрузка (песковая нагрузка классификатора), степень загрузки мельницы, расход воды на мельницу, гранулометрический состав измельчаемого продукта, плотность пульпы на сливах. Основные выходные параметры – гранулометрический состав измельченной руды и производительность процесса.

Контроль таких параметров, как расходы руды, воды и пульпы не вызывает трудностей. Для определения циркулирующей нагрузки наибольшее распространение получили методы, основанные на измерении тока или мощности, потребляемых двигателем привода классификатора, так как потребляемая мощность определяется силами

сопротивления движению транспортирующего органа классификатора, которые в свою очередь зависят от песковой нагрузки.

Основной недостаток контроля циркулирующей нагрузки по току или мощности состоит в сильной зависимости от технического состояния трущихся поверхностей силовой передачи и зашламленности постели транспортирующего органа.

Степень загрузки мельницы рудой и циркулирующими песками является одним из основных параметров, определяющих ход процесса измельчения. Для оценки степени загрузки используется метод, основанный на измерении шума мельницы в различных частотных диапазонах.

Гранулометрический состав продуктов измельчения желательно измерять непосредственно автоматическими гранулометрами, установленными на сливе классификатора. Учитывая сложность такого контроля, о крупности измельченного материала косвенно судят по плотности слива классификатора. Плотность может быть проконтролирована с помощью манометрических, весовых или радиоизотопных плотномеров.

Плотность пульпы в разгрузочном продукте мельницы измеряется в основном радиоизотопными плотномерами.

Автоматический контроль за состоянием измельчительного оборудования сводится к измерению температуры подшипников и обмоток электродвигателей и контролю за работой системы смазки.

Автоматизация процесса измельчения. Разработка схем автоматизации процессов измельчения руд должна отвечать требованиям технологии, которые в основном состоят в стабилизации требуемого гранулометрического состава продукта измельчения и обеспечении максимальной производительности процесса.

В связи с отсутствием надежно действующих автоматических гранулометров первое требование реализуется косвенно – путем стабилизации плотности слива классификатора или гидроциклона.

Учитывая, что на действующих фабриках последующее за измельчением оборудование не особенно приспособлено к переменной нагрузке, второе требование заменяется на стабилизацию потока готового продукта.

В задачу автоматического регулирования многостадийного измельчения входит также распределение нагрузки между стадиями.

В задачу автоматического регулирования многостадийного измельчения входит также распределение нагрузки между стадиями.

На рис. 14.2 показан вариант схемы автоматизации, отвечающий поставленным требованиям, которая включает: АСР загрузки мельни-

цы рудой (система 2), плотности пульпы в мельнице (система 3) и гранулометрического состава слива классификатора (система 4).

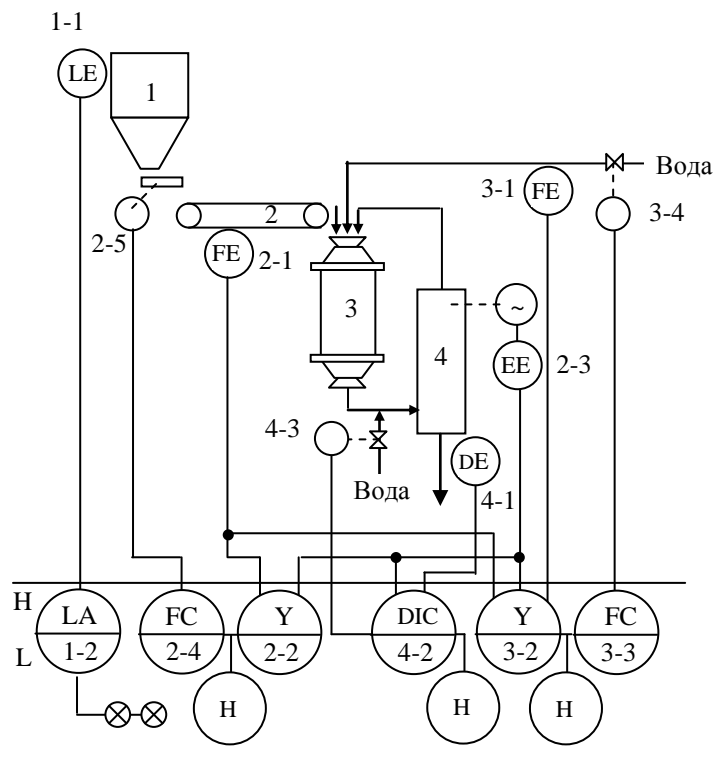


Рис. 14.2 Схемы автоматизации процесса одностадийного измельчения
1 – бункер; 2 – конвейер; 3 – шаровая мельница; 4 – спиральный классификатор

В АСР загрузки мельницы блок (2-4) служит для суммирования сигналов, пропорциональных расходу руды (датчик 2-1) и циркулирующей нагрузке (датчик 2-3).

С учетом задания (Н) и суммированного сигнала регулирующий блок (2-4) управляет производительностью питателя (2-6), изменяющего нагрузку на мельницу.

Регулирование расхода воды в мельницу осуществляется также с учетом загрузки мельницы рудой, песками и текущим расходом воды (блок 3-2).

Регулирование гранулометрического состава слива классификатора осуществляется путем стабилизации плотности слива с коррекцией по песковой нагрузке (система 4).

На схеме показан и контроль уровня в бункере дробленой руды.

Автоматизация процессов магнитного обогащения

На любой обогатительной фабрике, обогащающей магнетитовые руды, работает большое количество, различным образом включенных магнитных сепараторов, которые с целью упрощения конструкции не имеют никаких регулирующих органов. В связи с этим практически не

используют для автоматической регулировки магнитных сепараторов ни частоту вращения барабана, ни напряженность магнитного поля электромагнитных сепараторов.

Известно, что существенным фактором магнитного разделения сильномагнитных руд является плотность питания, однако регулировать ее путем подачи воды в каждый отдельный сепаратор вызывает сложности из-за большого их количества. Данный вопрос можно было бы решить стабилизацией плотности слива предшествующего магнитной сепарации классифицирующего аппарата или подачей дополнительной воды в исходную пульпу. В этом случае одна точка расхода воды может существенно влиять на работу целой группы магнитных сепараторов. Однако, стабилизация плотности слива классифицирующего аппарата приводит к значительным изменениям расхода твердого в сливе, а следовательно, к нестабильному режиму работы магнитных сепараторов. Например, при увеличении крупности и ухудшении измельчаемости исходной руды растет количество песков в классификаторе, уменьшается подача свежей руды в мельницу, следовательно, уменьшается количество пульпы на сливе классификатора, меняется нагрузка на магнитный сепаратор, что приводит к иному перераспределению между качеством и выходом промежуточных продуктов магнитного сепаратора. Еще большее влияние на работу магнитного сепаратора, оказывают колебания содержания магнитного железа в исходной руде.

Трудности, связанные с автоматическим управлением процессом обогащения в развернутых технологических линиях, можно устранить, если определить такие промежуточные регулируемые переменные, которые были бы тесно связаны с конечными показателями процесса обогащения и имели бы довольно небольшие запаздывания относительно регулирующих воздействий. Реализация подобных схем автоматизации связана с использованием вычислительных машин.

При мокром обогащении *слабомагнитных руд* применяют преимущественно валковые сепараторы с сильным полем и нижней подачей материала. Здесь рационально применять систему стабилизации уровня пульпы в ванне сепаратора, так снижение уровня приводит к уменьшению эффективности разделения и потере производительности сепаратора, а увеличение – к переливу пульпы из ванны.

Контрольные вопросы

1. Раскройте принципы автоматизации подготовительных процессов рудного обогащения.
2. Разработайте схему автоматизации магнитного дешламатора.

3. Разработайте упрощенную схему автоматизации двух-стадиального измельчения.
4. Разработайте схему автоматизации обогащения магнетитов в магнитных сепараторах.

Литература к разделу: [2], [4], [5], [9]

Заключение

Литература

1. Крутов В.И., Спорыш И.П., Юношев В.Д. Основы теории автоматического регулирования. - М.: Машиностроение, 1969. – 360 с.
2. Козин В.З., Тихонов О.Н. Опробование, контроль и автоматизация обогатительных процессов. Учеб. для вузов. - М.: Недра, 1990. – 343 с.
3. Козин В.З., Троп А.Е., Комаров А.Я. Автоматизация производственных процессов на обогатительных фабриках: Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1980. – 336 с.
4. Гудима В.И. Основы автоматизации обогатительных фабрик. –М: Недра, 1979. – 213 с.
5. Автоматизация производства на углеобогатительных фабриках/Л.Г. Мелькумов, В.А. Ульшин и др. – М.: Недра, 1983. – 295 с.
6. Техника проектирования систем автоматизации. Справочные материалы. Под. ред. Л.И. Шипетина. -М.: Машиностроение, 1966. –. 702 с.
7. Глинков Г.М., Маковский В.А., Лотман С.Л. Проектирование систем контроля и автоматического регулирования металлургических процессов. –М: Металлургия, 1970. – 412 с.
8. Климовицкий М.Д., Копелович А.П. Автоматический контроль и регулирование в черной металлургии. Справочник. –М: Металлургия, 1967. – 788 с.