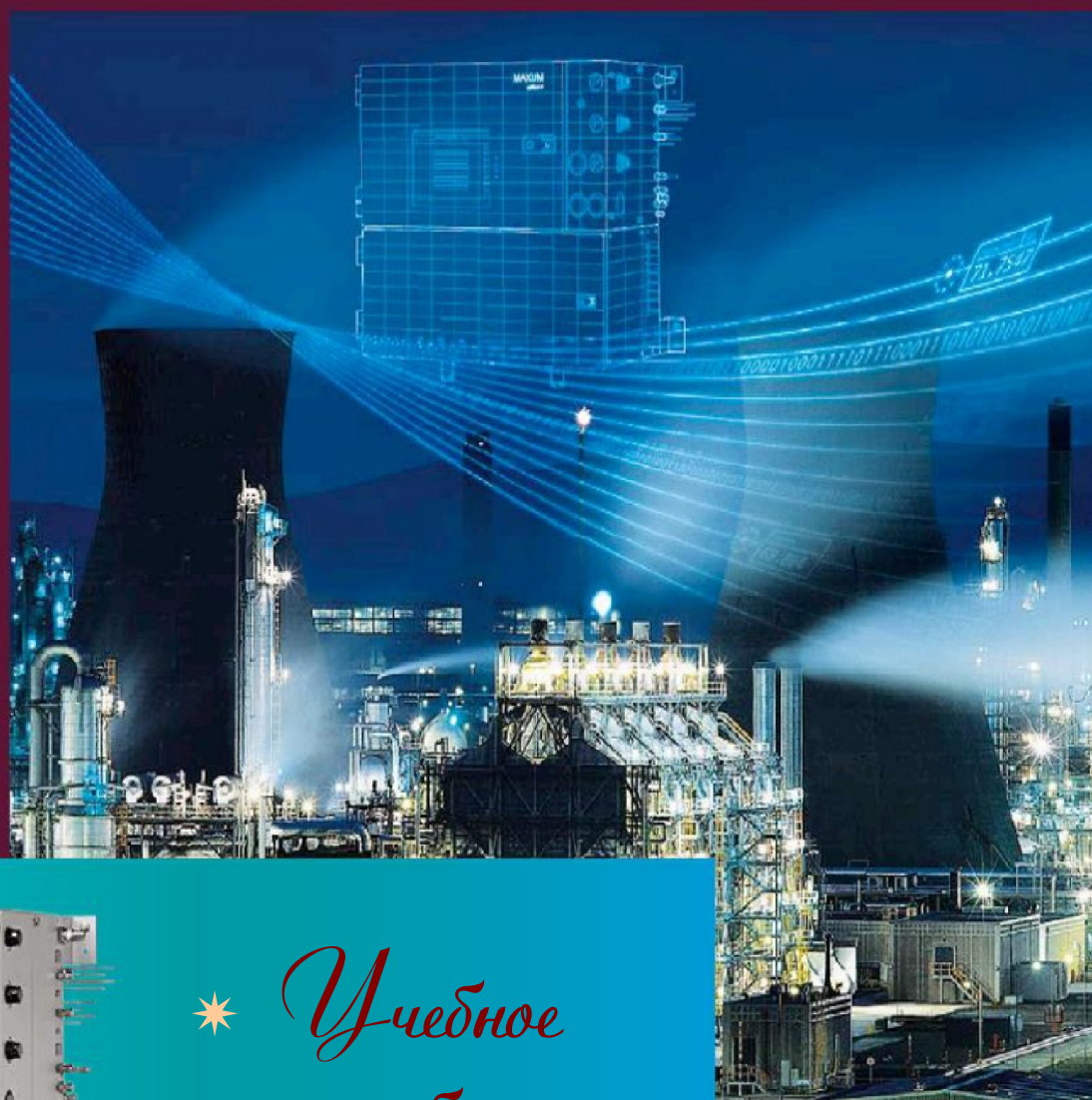


И.Э. Дейграф, А.Ж. Таскарина, Д.Р. Абсолямова

АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА



★ Учебное
пособие

И.Э. Дейграф, А.Ж. Таскарина, Д.Р. Абсолямова

АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА



Учебное пособие

Павлодар
Кереку
2018

УДК 669.01.09:681.5(075.8)
ББК 34.3я73
A22

Рецензенты:

А.В. Богомолов - канд. техн. наук, ассоциированный профессор (доцент) кафедры «Металлургия» Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова;

М.Б. Акрамов - канд. физико-математических наук, доцент департамента «Энергетики и металлургии» Инновационного евразийского университета;

Р.А. Бегалиев - начальник технологического управления ТОО «KSP Steel».

Дейграф И.Э.

A22 Автоматизация металлургического производства: учебное пособие / И. Э. Дейграф, А. Ж. Таскарина, Д. Р. Абсолямова. - Павлодар : Кереку, 2018. - 87 с.

В учебном пособии изложены основные темы, изучаемые студентами в рамках дисциплины «Автоматизация металлургического производства».

Учебное пособие предназначено для студентов специальности - «Металлургия».

УДК 669.01.09:681.5(075.8)
ББК 34.3я73

© Дейграф И. Э. и др., 2018
© ПТУ им. С.Торайгырова, 2018

Введение

В 50-х годах XX века возникла тенденция к переходу от использования отдельных датчиков и узлов, собранных на аппаратуре общепромышленного назначения к созданию специальных средств пригодных для работы в тяжелых условиях металлургических производств. Системы управления сейчас полностью охватывают технологический агрегат процесс или участок.

Работы по автоматизации развиваются в двух направлениях:

- автоматизация технологических процессов;
- автоматизация управленческого труда.

Второе направление стало достаточно актуальным т.к. автоматизация сферы управления при сокращении численности управляемого персонала позволяет получить большой экономический эффект за счет оптимизации плановых разработок, организации участка и оперативного контроля за ходом производства.

Основное направление в области автоматизации металлургического производства – это создание и внедрение АСУТП на основе широкого применения современной вычислительной техники.

В производстве глинозема успешно действует локальные системы автоматического контроля и регулирования процесса размола, выщелачивания, декомпозиции, спекания и кальцинации. Их использование позволяет стабилизировать технологические процессы, повысить производительность оборудования, снизить расход сырья, материалов, энергии, сократить трудовые затраты.

Автоматизация процесса электролиза алюминия должна быть направлена на повышение эффективности не только электролизных процессов, но и газоочистке, регенерации фтористых солей, питание электролизеров глиноземом, приготовление анодной массы.

В производстве тяжелых цветных металлов проведены работы по автоматизации гидрометаллургических процессов, процессов отжига и использования тепла отходящих газов печных агрегатов.

На предприятиях по обработке металлов (ЛП, ОМД) созданы и введены в действия системы автоматического управления процессами на станах прокатки, предусматривающие повышение точности размеров, рост производительности оборудования, улучшений условий труда. Эксплуатация систем автоматизации на прокатных станах позволяет уменьшить фактическую толщину ленты на 2–3 %, что равноценно выпуску дополнительной продукции.

Проводятся работы по созданию специальных приборов, позволяющих вести оперативный, непрерывный контроль за составом исходного сырья промежуточных и конечных продуктов.

Автоматика, как особая область науки и техники официально признана в 1930 году.

1 Особенности металлургических процессов как объектов автоматического управления и регулирования

Автоматизация – применение технических средств, экономико-математических методов и систем управления, освобождающих человека частично или полностью от непосредственного участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов или информации.

Автоматизируются:

- 1) технологические, энергетические, транспортные и др. производственные процессы;
- 2) проектирование сложных агрегатов, судов, промышленных сооружений, производственных комплексов;
- 3) организация, планирование и управление в рамках цеха, предприятия, строительства, отрасли, войсковой части, соединения и др.;
- 4) научные исследования, медицинское и техническое диагностирование, учет и обработка статистических данных, программирование, инженерные расчеты и др.

Автоматизация – одно из основных направлений научно-технического прогресса.

Основными целями автоматизации технологического процесса являются:

- повышение эффективности производственного процесса;
- повышение безопасности;
- повышение экологичности;
- повышение экономичности.

Цели достигаются посредством решения следующих задач автоматизации технологического процесса:

- улучшение качества регулирования;
- повышение коэффициента готовности оборудования;
- улучшение эргономики труда операторов процесса;
- обеспечение достоверности информации о материальных компонентах, применяемых в производстве (в т.ч. с помощью управления каталогом);
- хранение информации о ходе технологического процесса и аварийных ситуациях.

Решение задач автоматизации технологического процесса осуществляется при помощи:

- внедрения современных методов автоматизации;
- внедрения современных средств автоматизации.

Автоматизация технологических процессов в рамках одного производственного процесса позволяет организовать основу для внедрения систем управления производством и систем управления предприятием.

В связи с различностью подходов различают автоматизацию следующих технологических процессов:

- автоматизация непрерывных технологических процессов (Process Automation);
- автоматизация дискретных технологических процессов (Factory Automation);
- автоматизация гибридных технологических процессов (Hybrid Automation).

В цветной металлургии объектами управления являются металлургические печи, выщелачиватели, бункера, сгустители, насосы и другие аппараты технологических установок, а также трубопроводов.

При рассмотрении металлургических агрегатов как объектов автоматического контроля и регулирования можно указать на некоторые особенности, выделяющие их из общего ряда промышленных объектов контроля и регулирования и налагающих особые требования при создании АСУ.

Металлургические процессы в основных агрегатах являются, как правило, сложными процессами (сложными объектами), которые можно подразделить на ряд элементарных звеньев, простых объектов, простых процессов. Регулирование температуры расплава в печах, например, в отражательных, происходит за счет изменения расхода сжигаемого топлива и зависит от накладывающихся в пространстве и во времени последовательных процессов аэродинамики (подачи и смешения топлива и воздуха), химических реакций горения и теплообмена (излучением, конвекцией, теплопроводностью). С точки зрения понятий теории автоматического регулирования сложные объекты представляют как системы, составленные из ряда параллельно и последовательно соединенных элементарных (типовых) звеньев. Разделение сложного объекта на элементарные звенья по их физической сущности и динамическим свойствам может не совпадать. В случае регулирования температуры металла объект в целом представляют одним динамическим звеном, входом которого является расход топлива, а выходом – температура расплава, или двумя последовательно соединенными звеньями, причем входом первого будет служить расход топлива, а входом второго – температура рабочего пространства печи, а выходом – температура

расплава. С физической же точки зрения каждое из этих двух звеньев является сложным сочетанием разнородных процессов.

Правильное представление о сложности объекта контроля и регулирования, его физической и динамической структуре является необходимым условием создания рациональной и эффективной системы автоматического управления. Например, только при правильном анализе механизма теплообмена и движения газов в рабочем пространстве металлургической печи можно добиться представительного замера температуры при установке термоэлектрического преобразователя или пирометрического преобразователя полного излучения, так как на условиях теплообмена датчика с окружающей средой оказывается светимость факела, его конфигурация, скорость движения продуктов сгорания и т.п.

Физическая сложность, многофакторность процесса выплавки и обработки металла приводит к тому, что основные металлургические агрегаты являются многосвязными объектами, функционирование которых определяется рядом входных и выходных величин, испытывающих взаимные влияния. Например, изменение расхода воздуха, подаваемого в печь, вызывает одновременно изменение температуры в печи, состава газов, заполняющих рабочее пространство, и давления в печи.

подавляющее большинство металлургических объектов принадлежит к системам с распределенными параметрами, т.е. к системам, физические характеристики которых (температура, масса, тепловые потоки, теплоемкость, теплопроводность и т.п.) распределены в пространстве, являются функциями координат трехмерного пространства. Примерами объектов с распределенными параметрами могут служить: вращающиеся печи, мельницы, выщелачиватели и др.

В связи с тем, что математическое описание объектов с распределенными параметрами требует использования аппарата дифференциальных уравнений в частных производных, теоретические методы анализа поведения систем управления такими объектами являются более сложными и имеют ряд особенностей.

Несмотря на то, что металлургические процессы в принципе подчиняются основным законам переноса тепла, вещества и импульса, отсутствуют достаточно точные математические описания, математические модели реальных производственных процессов, представляющих собой, как указывалось, сложные комплексы взаимозависимых физико-химических явлений. Совмещение разнородных явлений усложняет исследование, понимание процессов,

формулировку и решение их математических выражений. Существующие математические модели строят на ряде упрощений и допущений, которые позволяют составить исходные математические выражения и найти их решения строго аналитическими, приближенными или численными способами. Существующие модели оказывают большую помощь в исследовании и познании металлургических процессов в определении рациональных технологических и теплотехнических режимов и способов управления этими режимами. Однако приближенность существующих моделей не позволяет полностью решить все эти вопросы и найти строго оптимальные режимы, конструкции агрегатов и создать автоматические системы управления.

Сложность основных металлургических объектов и разнообразие возмущений, приложенных в различных местах агрегатов, приводят к тому, что объекты характеризуются большим числом контролируемых величин и управляющих воздействий.

Большое число управляющих воздействий, каждое из которых влияет чаще всего на несколько выходных величин, требует от операторов высокой квалификации при управлении процессами, а при создании автоматизированных систем управления необходимы обширные исследования взаимных связей и влияний между входными и выходными величинами, разработка и приборная реализация сложных алгоритмов управления.

На металлургических объектах значительно затруднено осуществление автоматического контроля основных параметров. Это обусловлено в основном высокими температурами и химической агрессивностью сред, принимающих участие в производственном процессе.

В настоящее время, например, практически отсутствуют материалы, которые выдерживали бы погружение в расплавленный электролит алюминиевого электролизера без износа, без изменения физико-химических свойств и разрушения при длительном пребывании в жидком расплаве.

Использование пирометрических преобразователей полного излучения для бесконтактного измерения температуры поверхности расплава и элементов кладки печей ограничивается погрешностями, возникающими из-за переменной степени черноты этих поверхностей, запыленности сред и т.д.

Металлургические объекты принадлежат, как правило, к классу нелинейных объектов, т.е. объектов, поведение которых описывается нелинейными математическими выражениями.

Методы анализа и синтеза нелинейных объектов и систем регулирования значительно сложнее, чем методы анализа и синтеза линейных объектов и систем регулирования.

Поэтому во всех тех случаях, когда это возможно, стремятся нелинейные характеристики объектов аппроксимировать линейными с применением известных методов линеаризации.

Процессы металлургического производства реализуются в агрегатах как непрерывного, так и периодического, циклического действия. К агрегатам периодического действия принадлежат конвертеры, некоторые электропечи и т.д.

Непрерывные производственные процессы легче поддаются автоматизации, чем периодические, так как непрерывные процессы характеризуются стационарными режимами при относительно небольших отклонениях контролируемых параметров и управляющих воздействий от некоторых номинальных значений, что упрощает автоматизацию управления ими.

Параметры периодических процессов претерпевают, как правило, значительно большие колебания. А управляющие воздействия могут варьироваться по абсолютной величине многократно.

Глубокие изменения контролируемых величин и управляющих воздействий в агрегатах периодического действия сопровождающихся изменениями статических и динамических характеристик объектов во времени и усложняют синтез систем автоматического управления, так как регуляторы с постоянной структурой и настройками не могут обеспечить приемлемое качество регулирования при существенных изменениях характеристик объекта.

Все реальные промышленные объекты имеют запаздывание, которое достигает довольно больших значений (порядка нескольких десятков минут) в объектах, где протекают тепло- и массообменные процессы, и невелико (всего несколько секунд) в объектах, выходные величины которых представляют собой расход или давление жидкостей или газов.

Наличие запаздывания в объектах (в АСР) усложняет задачу регулирования технологического параметра в объекте. Поэтому необходимо стремиться к его уменьшению: устанавливать датчик и исполнительное устройство системы как можно ближе к объекту регулирования, применять малоинерционные измерительные преобразователи, уменьшать протяженность потоков и т.д.

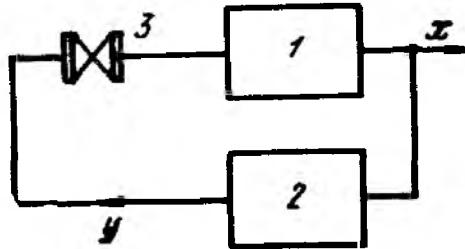
Металлургические агрегаты принадлежат к энерго- и материалоемким объектам.

Большая материало- и энергоемкость металлургических объектов определяет возможность получения значительных экономических эффектов, связанных с увеличением производительности, уменьшением расходов сырья и энергии, улучшением качества готовой продукции при внедрении совершенных систем автоматизации.

2 Основы автоматического регулирования

Автоматическим регулятором называется совокупность устройств, присоединяемых к регулируемому объекту для автоматического регулирования его выходной величины.

Автоматический регулятор присоединяют к выходу регулируемого объекта и регулирующему органу на его входе, в результате чего образуется главная обратная связь в системе регулирования (рисунок 2.1). Автоматический регулятор измеряет отклонения регулируемой величины от ее заданного значения и в зависимости от результатов измерения воздействует на регулирующий орган объекта таким образом чтобы уменьшить отклонение.



1 – объект; 2 – автоматический регулятор; 3 – регулирующий орган; x – регулируемая величина; y – выходная величина

Рисунок 2.1 – Блок-схема системы автоматического регулирования

Различают три стадии автоматизации:

1) автоматизируются все операции работы машин, но наблюдение и контроль осуществляет человек. На этой стадии используют незамкнутые управляющие системы (она не может реагировать на отклонения технологического процесса);

2) используют замкнутые системы управления, которые не только обеспечивают управление программ, но и автоматически регулируют и поддерживают условия работы технологических агрегатов, при этом функции оператора сводятся к первоначальной наладке машин;

3) объем поступающей информации о технологическом процессе всех параметров, значительно возрастает, управляющая система снабжена устройством памяти и выполняет логические операции для выбора оптимальных условий.

Автоматическое регулирование бывает двух видов: астатическое и статическое.

Астатическое регулирование – это такое регулирование, при котором при различных значениях внешнего воздействия на объект отклонение регулируемой величины от требуемого значения по окончании переходного процесса становится равным «0». При отсутствии нечувствительности в регуляторе характеристика астатического регулирования в осях. Наличие данной нечувствительности приводит к тому, что величина может находиться в пределах некоторой зоны относительно основного значения. Астатический регулятор не имеет статической характеристики, когда регулируемая величина точно равна заданному значению, а статический регулятор находится в состоянии безразличного равновесия. При всяком отклонении от заданного значения равновесие регулятора нарушается и начинается непрерывное изменение величины y . Уравнение простейшего астатического регулятора имеет вид:

$$T \frac{dy}{dt} = x - x_0, \quad (2.1)$$

$$y = \frac{1}{T} \int (x - x_0) dt. \quad (2.2)$$

Это уравнение показывает, что простейший астатический регулятор является интегрированным звеном. В более общем случае астатический регулятор может содержать в своей структуре несколько интегрированных звеньев. Их число при последовательном включении определяет порядок астатизма регулятора.

В промышленных системах черной и цветной металлургии применяют астатические регуляторы с астатизмом первого порядка.

Регуляторы со статизмом высших порядков применяют в следящих системах для устранения ошибок по скорости и ускорению. Астатическое регулирование, как правило, менее устойчиво, чем статическое. Астатические регуляторы не пригодны для регулирования объектов без самовыравнивания.

Самовыравнивание – самостоятельный переход устойчивого объекта к новому установившемуся режиму без помощи регулятора, при ограниченном изменении величины возмущающего воздействия.

Примеры объектов самовыравнивания: печь, температура в которой устанавливается на новое значение при изменении расхода топлива.

Для повышения устойчивости астатических регуляторов применяют дополнительные средства коррекции (гибкие обратные связи), они превращают астатический регулятор в изодромный.

Статическое регулирование – при котором регулируемая величина при различных постоянных внешних воздействиях на объект принимается по окончании переходного процесса различные значения в зависимости от величины внешнего воздействия.

Крутизна наклона характеристики системы статического регулирования характеризуется величиной, которая называется статизм регулирования. Статизм считается положительным, если значение регулируемой величины уменьшается с увеличением нагрузки. Системы с отрицательным статизмом встречаются сравнительно редко.

Стремятся уменьшить статизм до безопасных пределов. Для одновременного уменьшения статизма и увеличение устойчивости применяют дополнительное средство коррекции.

При регулировании общей величины нескольких работающих параллельных агрегатов с коэффициентами статизма регулирования следует соблюдать равенство:

$$\varphi = \lambda_1 \cdot \delta_1 = \lambda_2 \cdot \delta_2 = \dots = \lambda_n \cdot \delta_n, \quad (2.3)$$

где φ – общая величина;

$\lambda_{1,2,i}$ – относительные нагрузки агрегатов;

$\delta_{1,2,i}$ – распределяются обратно пропорционально коэффициентам статизма регулирования отдельных агрегатов.

При очень малых коэффициентах статизма распределение нагрузки становится неопределенным из-за влияния нечувствительности регуляторов.

В зависимости от вида управляющих воздействий системы автоматического регулирования подразделяют:

- системы автоматической стабилизации (САС);
- системы программного регулирования;
- следящие системы.

САС – предназначены для поддержания постоянного значения одной или нескольких регулирующих координат при произвольно меняющихся внешних возмущениях. Управляющее воздействие все время остается постоянным.

Требование к САС является устойчивость и ограничение величины отклонения в переходном и установившемся состоянии.

САС могут быть, как и любые системы автоматического регулирования статическими и астатическими, линейными и нелинейными, дискретными и непрерывными.

Система программного регулирования (СПР) – для регулирования величин определяющих состояние объекта по заранее заданному закону в виде функции времени или какого либо параметра системы.

Система программного регулирования – задача улучшение динамических свойств существенно облегчается тем, что программа заранее известна т.е. возможна коррекция программы с учетом динамических свойств регулируемого объекта.

По своему характеру управляющее воздействие может представлять собой:

- 1) постоянную величину;
- 2) величину, описываемую заданной функцией времени;
- 3) величину, изменяющуюся во времени по неизвестному закону.

В соответствии с видами управляемого воздействия системы автоматического регулирования подразделяют на три класса:

- 1) системы автоматической стабилизации;
- 2) системы программного управления;
- 3) следящие системы.

Формирование регулируемого воздействия во времени осуществляется регулятором в соответствии с заложенным в нем законом регулирования.

Существует четыре закона регулирования:

- 1) пропорциональный (статический)

$$v(t) = k\varepsilon(t) , \quad (2.4)$$

в нем регулирование осуществляется по отклонению;

- 2) интегральный (астатический)

$$v(t) = \frac{1}{T_u} \int \varepsilon(t) dt , \quad (2.5)$$

регулирование осуществляется по интегралу отклонения;

- 3) изодромный (пропорционально – интегральный)
осуществляется регулирование как по отклонению, так и по интегралу отклонения

$$v(t) = k \left[\varepsilon(t) + \frac{1}{T_u} \int \varepsilon(t) dt \right], \quad (2.6)$$

4) пропорционально интегральный с производной (с предварением), дополнительно введено воздействие пропорциональной скорости изменения отклонения

$$v(t) = k \left[\varepsilon(t) + \frac{1}{T_u} \int \varepsilon(t) dt + T_n \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \right], \quad (2.7)$$

где $v(t)$ – регулирующее воздействие, скорость регулирования.

$\varepsilon(t)$ – отклонение;

T_u – время интегрирования, время изодрома;

T_n – постоянная производная;

k – коэффициент усиления.

Диапазон регулирования – область допустимого изменения значения управляемого воздействия систем автоматического регулирования (САР).

Максимальной величиной порогового значения диапазона САР определяется зона чувствительности.

Время регулирования – время в течении которого устойчивая САР переходит из некоторого начального состояния к установившемуся движению или состоянию равновесия, так определяется длительность переходного процесса.

3 Основные понятия и определения о схемах автоматизации, методы построения схем автоматизации

Автоматика – отрасль науки и техники, исследующая и применяющая теорию автоматического управления, принципы построения автоматических систем и технические средства, образующие эти системы.

Автоматическая система управления (АСУ) – совокупность управляемого объекта и автоматических управляющих устройств, взаимодействующих между собой. Различают разомкнутые и замкнутые АСУ.

Автоматический контроль – это автоматическое получение и обработка информации о состоянии объекта и внешних условиях с целью обнаружения событий, определяющих управляющее воздействие. Таким событием может быть любой качественный результат контролируемого процесса (выход температуры за установленное значение, авария технологического оборудования)

Задача контроля состоит в обнаружении событий, определяющих необходимость воздействия на объект управления.

При помощи контрольно-измерительных приборов определяются контролируемые события на основе статистических и динамических характеристик приборов.

Статистическая характеристика измеряемого прибора называют зависимость положения указателя от значения измеряемой величины в статистических условиях измерения.

Чувствительность измерительного прибора – это отношение перемещения указателя к приращению измеряемой величины, вызвавшему это перемещение.

При измерениях в динамических условиях проявляется инерционность измерительных приборов в виде запаздывания (отставания показаний приборов от измеряемой величины). Запаздывание ведет к динамической погрешности (разность между показателями прибора и действительным значением измеряемой величины). Динамическая погрешность появляется только в переходных режимах, зависит от скорости изменения измеряемой величины.

Зависимость показания прибора от измеряемой переменной величины называется динамической характеристикой измерительного прибора.

Результаты измерения можно использовать, если известно погрешность или степень достоверности измерения.

По характеру причин возникновения различают систематические и случайные погрешности:

Систематические – возникают закономерно под действием определенных факторов их можно изучить и исключить из результатов измерений путем поправок.

Случайные погрешности – возникают незакономерно под действием различных, не постоянных причин, не связанных явно с процессами измерения.

Статистические свойства измеряемых величин рассматривается, как числовые характеристики результатов измерений. Учет случайных факторов определяют методами теории вероятности: плотность распределения, математическое ожидание, дисперсия, среднее квадратичное отклонение.

Системой автоматического регулирования (САР) – АСУ с замкнутой системой воздействия. Система автоматического регулирования состоит из управляемого объекта и автоматического управляющего устройства (регулятор).

Управляющее воздействие (команда) – воздействие в виде сигнала определенной величины, которые оказывает регулятор на управляемый объект.

Диспетчеризация – это централизация управления, осуществляемая диспетчером, необходимое следствие автоматизации производства. На счет диспетчера выносят показания приборов в конкретных точках процесса, сигнальные лампы аварий, ключи и кнопки управления.

Регулируемым параметром называется – физическая величина (температура, давление, уровень, разряжение, концентрация, усилие и т.д.)

Датчик – это чувствительный элемент реагирующий на изменение технологического процесса. Он является входным элементом всякого автоматического устройства, служит для восприятия величины регулируемого параметра и преобразования ее в выходной сигнал, обеспечивающий работу автоматической системы.

Сигнал – это изменение или состояние определенной величины, предназначенное отображать в соответствии с принятой условностью информацию. Для датчика сигналом является энергия на выходе, соответствующая величине регулируемого параметра, воздействующего на ход.

Вторичный прибор – контрольно измерительный прибор, воспринимающий сигнал датчика.

Контрольная точка в регулируемом процессе – это фактическая величина, заданная регулятором на которую настраивается процесс регулирования.

Исполнительный механизм – это элемент, приводящий в действие регулируемый орган непосредственно, участвующий в процессе.

3.1 Классификация приборов

Вторичные приборы разделяются на показывающие, самопишущие (регистрирующие), измеряющие (счетчики).

Часто счетчики (интеграторы) встраивают во вторичный, показывающий или самопишущий прибор, тогда показания снимаются в данный момент и с момента начала измерения.

Класс точности прибора определяет – с какой точностью или погрешностью может работать прибор.

Абсолютная погрешность – разность между показаниями прибора и действительным значением измеряемой величины.

Класс точности прибора определяется как погрешность в показаниях, в %, от максимального значения шкалы.

В практике промышленных измерений чаще всего встречаются приборы следующих классов точности: 0,5; 1; 1,5; 2,5.

Относительная погрешность – отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины.

Государственная система приборов (ГСП) и средств автоматизации – это совокупность рядов максимально унифицированных блоков, приборов, элементов и устройств с широким диапазоном возможностей – от осуществления автоматического контроля и регулирования отдельного процесса до решения задач комплексной автоматизации, предусматривающих использование новейших средств вычислительной техники.

Блочный принцип построения – полная взаимозаменяемость приборов, элементов и блоков системы, обеспечивают возможность ее применения практически во всех отраслях промышленности при этом за счет применения типовых узлов значительно снижается затраты на стоимость ремонт и эксплуатацию приборов.

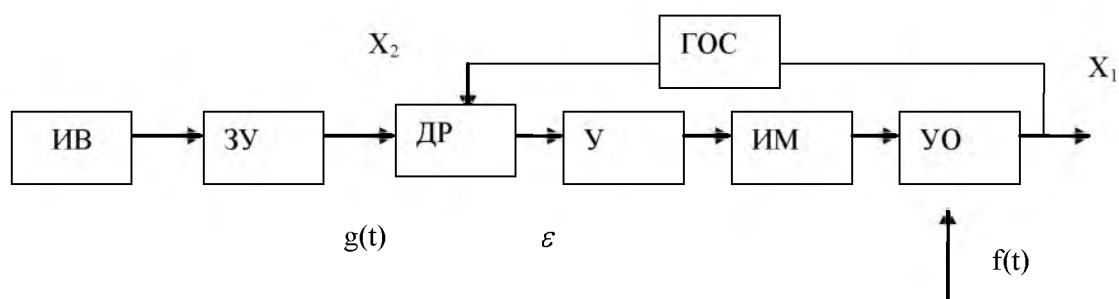
Возмущающее воздействие – действует на входе систем автоматического регулирования и приложена к управляющему или задающему элементу. В соответствии с управляющим воздействием в элементе вырабатывается полезный входной сигнал, с которым сравнивается сигнал плавной обратной связи объекта.

Следящие системы – АС – в которых выходная величина с определенной точностью воспроизводит, изменяющимся неизвестным образом входную величину при помощи обратной связи.

Структурная схема следящей системы включает прямую цепь воздействия и обратную связь.

Следящая система работает, так чтобы все время сводить к «0» рассогласования ε , сигнал X_2 обратной связи должен иметь уже физическую природу, что и входная величина u .

Важнейшей характеристикой работы следящей системы является снижение на основе заданной точности и характера воздействий формируется требование к поведению следящей системы в динамике.



ИВ – источник воздействия; ГОС – главная обратная связь; ЗУ – задающее устройство; ИМ – исполнительный механизм; ДР – датчик рассогласования; УО – управляемый объект; У – усилитель; ε – ошибка согласования

Рисунок 3.1 – Структурная схема следящей системы

3.2 Элементы составления схем автоматического регулирования и управления, определения и термины

Схема – графический конструкторский документ, на котором представлены составные части изделия и связи между ними в виде условных изображений и графических обозначений. Являясь составной частью конструкторской документации, схема содержит необходимые данные для проектирования, регулировки, контроля, ремонта и эксплуатации изделия, разъясняет основные принципы действия и последовательность процессов при работе механизма, прибора, устройства, установки, сооружения и т. д.

Требования к выполнению и оформлению схем установлены стандартами седьмой классификационной группы ЕСКД, которые содержат нижеперечисленные термины и определения.

Элемент схемы – составная часть схемы, которая выполняет определенную функцию в изделии и не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное функциональное назначение (например, насос, трансформатор, компрессор, муфта, турбина, резистор).

Устройство – совокупность элементов, представляющая собой единую конструкцию (например, выпарной аппарат, механизм, плата). Устройство может не иметь в изделии определенного функционального назначения.

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

Функциональная часть – элемент, функциональная группа и устройство, выполняющие определенную функцию.

Функциональная цепь – линия, канал, тракт определенного назначения.

Линия взаимосвязи – отрезок линии, указывающий на наличие связи между функциональными частями изделия,

Установка – условное наименование объекта в энергетических сооружениях, на который выпускается схема.

4 Общие сведения о системах измерения и контрольно-измерительных приборах, методы, технические средства и системы для измерения температур

Для измерения температуры используют первичные преобразователи, термопреобразователи сопротивления, жидкостные стеклянные термометры, манометрические термометры, термоэлектрические термометры, фотоэлектрические пирометры

4.1 Жидкостные стеклянные термометры

Жидкостные стеклянные термометры могут изготавливаться двух видов:

- палочный термометр, состоит из толстостенного стержня с капилляром, на стержень наносят или вытравляют шкалу;
- термометр с вложенной шкалой, состоит из капилляра и пластины со шкалой, заключенных в защитную оболочку.

Термометры градуируют по шкале Цельсия в соответствии с Международной практической температурной шкалой, принятой Генеральной конференцией мер и весов и Международной системой единиц (СИ).

При измерении температуры какой-либо среды стеклянными жидкостными термометрами применяются следующие способы.

Частичное погружение при этом способе термометр погружают в среду до обусловленной глубины так, что не весь столбик жидкости оказывается погруженным в среду. Столбик жидкости находится в части капилляра, наполненной жидкостью, но не погруженной в среду.

Для обеспечения точности при градуировке, калибровке и применении термометра необходимо определить среднее значение температуры выступающего столбика жидкости. Эта температура может быть одинаковой по всей длине шкалы, но может устанавливаться и в зависимости от положения термометра относительно шкалы.

При полном погружении (полное погружение столбика) весь столбик жидкости погружают в среду так, что верхний уровень столбика жидкости находится на уровне поверхности измеряемой среды.

При общем погружении термометр полностью погружают в измеряемую среду.

Термометр изготавливают из подходящего термометрического стекла, подобранного и обработанного так, чтобы готовое изделие

обладало следующими свойствами. Напряжение стекла резервуара, капилляра и, когда это необходимо, защитной оболочки должно обеспечить целостность изделия при термическом и механическом ударе. Стекло резервуара должно быть стабилизировано соответствующей термической обработкой так, чтобы точность показаний термометра соответствовала требованиям

Для жидкостного наполнения определены следующие общие требования:

1) жидкостный наполнитель не должен замерзать полностью или частично в диапазоне измерения термометра при определенном давлении внутри капилляра термометра;

2) жидкость не должна содержать механических включений, влияющих на точность показаний термометра;

3) точка кипения термометрической жидкости должна быть достаточно высокой, чтобы снизить до минимума испарение жидкости при определенном давлении внутри капилляра.

В общем случае термометры должны быть прямыми. Внешняя линия поперечного сечения должна быть близка к форме круга. Для специальных термометров допускается отклонение от прямой формы и круглого поперечного сечения.

Верхнюю часть термометра оплавливают или снабжают кольцом или кнопкой (рисунок 4.1). Внешний диаметр кольца или кнопки не должен превышать диаметр термометра.

В термометрах с вложенной шкалой эмалевая полоска должна быть расположена таким образом, чтобы она находилась за столбиком жидкости, если на столбик жидкости смотреть по линии, образуемой концами всех коротких отметок правой стороны шкалы или концами всех отметок левой стороны шкалы.

Шкальную пластину термометров с вложенной шкалой изготавливают из материала, пригодного для работы в температурном диапазоне термометра и обеспечивающего надежную фиксацию пластины в оболочке. Пластина находится внутри оболочки и плотно соединяется с капилляром, в верхней части термометра пластину закрепляют жестко и надежно. Удобным способом фиксации является припаивание верхней части пластины к оболочке термометра при помощи стеклянной трубки или стержня, нижний конец пластины должен свободно (без фиксации) удерживаться в седле нужной формы. Шкальную пластину можно закреплять внутри оболочки и любым другим способом, учитывая разность степени расширения различных материалов.

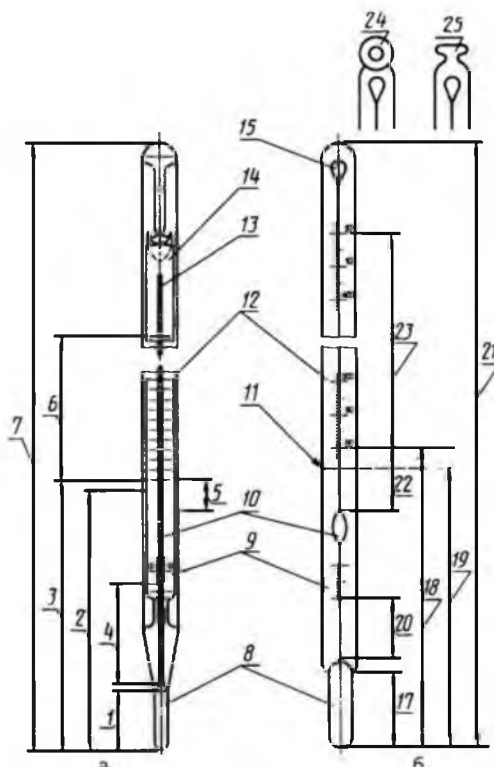
Внутренняя поверхность капилляра должна быть гладкой. Площадь поперечного сечения канала не должна отклоняться от среднего значения более чем на 10 %. Диаметр канала капилляра должен обеспечивать равномерное (без скачков, превышающих установленную часть градуированного интервала) движение мениска при установленной равномерной скорости повышения температуры.

Термометр не следует нагревать выше верхнего номинального предела шкалы, так как это может привести к разрушению термометра или же к его перекалибровке, если термометр не разрушился или не видно следов повреждения. Для того чтобы термометр не разрушался при случайном перегреве или хранении в температурных условиях, превышающих диапазон измерения термометра, в верхней части капилляра следует предусматривать запасной резервуар. Запасной резервуар должен иметь форму груши с полусферой в верхней части. Запасной резервуар следует располагать на расстоянии не менее 10 мм от верхней отметки шкалы, чтобы не допустить ненужного расширения канала капилляра. Приблизительный объем запасного резервуара выражают длиной капилляра или соответствующим температурным интервалом. Если применяют газовое наполнение, то запасной резервуар представляет продолжение капилляра постоянного диаметра длиной не менее 30 мм над уровнем самой верхней отметки.

Для нанесения дополнительной шкалы или для того, чтобы столбик термометрической жидкости полностью не опускался в резервуар, канал капилляра может иметь расширение над резервуаром или дополнительной шкалой – нижний запасной резервуар, выполненный в виде удлиненного расширения. В термометрах с вложенной шкалой такое расширение может быть расположено непосредственно над резервуаром, в палочных термометрах предпочтительно отделять резервуар от нижнего запасного резервуара капилляром небольшой длины. Если нижний запасной резервуар располагается над дополнительной шкалой, то расстояние от верхней отметки шкалы до расширения должно быть не менее 5 мм.

Расстояние от верхней части нижнего запасного резервуара до первой отметки шкалы, имеющей нижний номинальный предел шкалы термометра ниже 100 °C, должно быть не менее 10 мм.

В термометрах частичного погружения это расстояние (10 мм) измеряют до первой отметки основной шкалы или до линии погружения, во втором случае это расстояние будет меньше. Если нижний номинальный предел шкалы термометра 100 °C или выше, то вышеуказанное расстояние должно составлять не менее 20 мм.



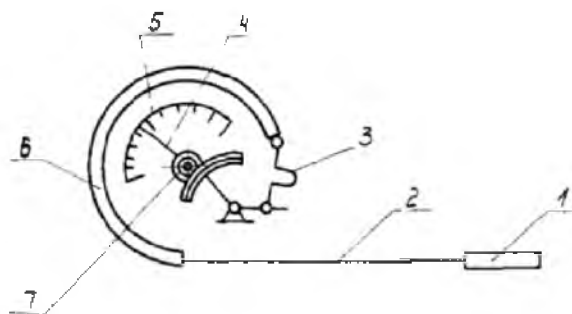
а – термометр с вложенной шкалой; б – палочный термометр

1 – длина резервуара; 2 – глубина погружения; 3 – расстояние от дна резервуара до нижнего номинального предела основной шкалы; 4 – расстояние от верхней части воронки резервуара до нижнего номинального предела дополнительной шкалы; 5 – расстояние от верха нижнего запасного резервуара до нижнего номинального предела основной шкалы; 6 – длина шкалы; 7 – общая длина; 8 – резервуар; 9 – вспомогательная шкала; 10 – нижний запасной резервуар; 11 – линия погружения (если указывается); 12 – основная шкала; 13 – запасной резервуар; 14 – шкальная пластина; 15 – запасной резервуар; 16 – запаянный верх оболочки; 17 – длина резервуара; 18 – расстояние от дна резервуара до нижнего номинального предела основной шкалы; 19 – глубина погружения; 20 – расстояние от верхней части воронки резервуара до нижнего номинального предела дополнительной шкалы; 21 – общая длина; 22 – расстояние от верха нижнего запасного резервуара до нижнего номинального предела основной шкалы; 23 – длина шкалы; 24 – колечко; 25 – кнопка

Рисунок 4.1 – Общее устройство и конструктивные части жидкостного термометра

4.2 Манометрические термометры

Во избежание дополнительной погрешности в показаниях приборы и капилляры не должны находиться вблизи мощных нагревательных или охлаждающих устройств.



1 – термобаллон; 2 – соединительный капилляр; 3 – тяга; 4 – стрелка; 5 – циферблат; 6 – манометрическая пружина; 7 – трибно-секторный механизм

Рисунок 4.2 – Принципиальная схема манометрического термометра

Для обеспечения правильности показаний температуры необходимо обеспечивать полное погружение термобаллона в измеряемую среду. Положение термобаллона в измеряемой среде может быть в зависимости от местных условий горизонтальным, вертикальным, наклонным. Термобаллон при помощи соединительного штуцера устанавливают в бобышку, приваренную к технологическому аппарату или трубопроводу. Для уплотнения присоединительный штуцер снабжают сальником, который рекомендуется выполнять из сухой асбестовой сальниковой набивки типа АСд8. В зависимости от свойств измеряемой среды термобаллон может монтироваться как в защитной гильзе, так и без нее. При погружении в среду, находящуюся под давлением выше 6,4 МПа, а также в случае, если смена термобаллона может повлечь за собой остановку агрегата, следует применять защитную гильзу, которую приваривают к бобышке или втулке. Для увеличения теплопроводности пространство между защитной гильзой и термобаллоном заполняют металлическими опилками или жидкостью с температурой кипения выше, чем верхний предел измерения.

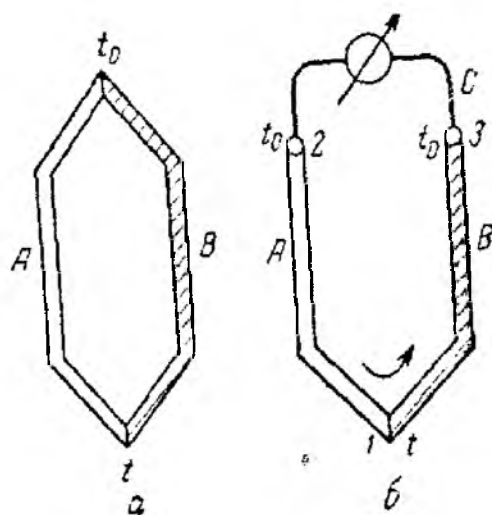
Капилляр следует прокладывать в местах с постоянной температурой. Если капилляр необходимо проложить по горячим или холодным поверхностям, то его следует изолировать от них

воздушным зазором или теплоизоляционным материалом. По всей длине капилляр должен быть защищен от механических повреждений, причем конструкция защитного устройства должна обеспечивать доступ к капилляру для периодического осмотра. для защиты капилляра в основном применяют уголки швеллерах. Радиус округления в точке изгиба капилляра должен быть не менее 60 мм. При излишней длине капилляра сворачивают в бухту диаметром не менее 300 мм; бухту перевязывают не менее чем в трех местах неметаллическими перевязками и закрепляют у прибора.

4.3 Конструкция и принцип действия термоэлектрических преобразователей

Термоэлектрическим термометрам называют термопару, снабженную защитной арматурой. Принцип работы термопары состоит в следующем. Если составить замкнутую цепь из двух разнородных проводников и нагреть ее один спай, то цепи возникнет электрический ток.

Замкнутая электрическая цепь (рисунок 4.3, а), состоящая из двух разнородных проводников – термоэлектродов А и В, образуя термоэлемент (термопару). Спай, погружаемый в измеряемую среду, называется рабочим или горячим спаем термопары; второй спай носит название свободного или холодного.



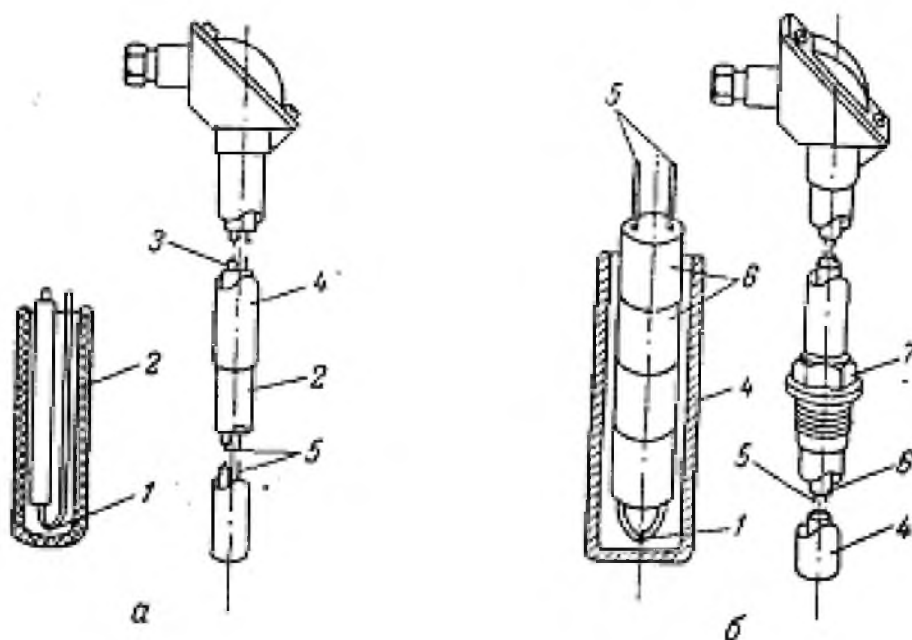
а – цепь, состоящая из двух разнородных проводников; б – схема включения третьего проводника в цепь термопары

Рисунок 4.3 – Схемы термоэлектрических цепей

При введении в цепь термопары третьего проводника (рисунок 4.3, б), если концы последнего имеют одинаковые температуры, т.э.д.с. термопары не изменяется (то же относится и к нескольким проводникам). Поэтому включение в цепи термопары соединительных проводов, измерительных приборов и подгоночных сопротивлений не отражается на точности измерения.

Конструктивно термопара представляет собой две проволоки из разнородных материалов, нагреваемые концы которых скручиваются, а затем сворачиваются или спаиваются (рисунок 4.4).

Термоэлектронны изолируются обычно одноканальными или двух канальными фарфоровыми трубками и помещаются в защитный чехол. Для соединения термоэлектроннов с внешней цепью служит головка термопары, выполненная из электроизоляционного материала.



а – термопара ТПП; б – термопары ТХК и ТХА

1 – рабочий спай; 2 – фарфоровый защитный чехол; 3 – фарфоровая трубка; 4 – металлическая трубка; 5 – термоэлектроды; 6 – фарфоровые бусы; 7 – неподвижный штуцер.

Рисунок 4.4 – Технические термопары

Для устранения влияния изменения температуры окружающей среды на величину возникающей т. э. д. с. Свободные концы

термопары термостатируют или применяют специальные компенсирующие устройства.

Соединение термопары с вторичными производится термоэлектродными проводами, изготовленными из таких же материалов, что и сама термопара, или из других сплавов, развивающих в пределах до 100 °С т. э. д. с., равную т. э. д. с.

В качестве вторичных приборов в комплекте с термопарами для измерения температуры используются, как правило, лабораторные или автоматические потенциометры.

4.4 Пирометры излучения

Методы измерения температуры тел по их тепловому излучению называют часто методами пирометрии излучения. Средства измерений температуры тел по тепловому излучению принято называть пирометрами излучения или просто пирометрами. Они широко применяются в металлургической и в других отраслях промышленности, а также при проведении научных исследований для измерения температур тел от 300 °С до 6000 °С и выше. Вообще же пирометры могут быть использованы для измерения и более низких температур.

При измерении температуры с помощью пирометров температурное поле объекта измерения не искажается, так как измерение, осуществляемое методами пирометрии излучения, не требует непосредственного соприкосновения с телом какого-либо термоприёмника. Поэтому такие методы измерения температур тел принято называть бесконтактными.

Бесконтактные методы измерения температур теоретически не имеют верхнего температурного предела своего применения. Температура источника излучения со сплошным спектром, близкая к 6000 °С, измеряется теми же методами, что и температура в 1000 °С или 2000 °С. Различие может быть лишь только в технике измерений.

В тех случаях, когда для длительного измерения температур объектов могут применяться наряду с пирометрами излучения приборы, использующие контактные методы (термоприёмники погружения), последним следует отдать предпочтение, так как они обычно обеспечивают более высокую точность измерения температуры по сравнению с пирометрами излучения.

Методы измерения температур, использующие различные свойства теплового излучения тел, вытекающие из законов излучения абсолютно черного тела, нашли широкое практическое применение. Под абсолютно черным телом понимают тело, которое поглощает всю

падающую на него лучистую энергию. Такие тела в природе отсутствуют, но модель черного тела можно осуществить с достаточной степенью приближения.

Моделью, наиболее приближающейся по своим свойствам к абсолютно черному телу, является полое непрозрачное тело с малым отверстием, все участки поверхности которого имеют одну и ту же температуру. Для такой модели черного тела коэффициент поглощения можно принять равным единице, так как энергия луча, попадающего в малое отверстие полого тела, практически полностью поглощается внутри последнего вследствие многократных отражений от внутренней поверхности. В дальнейшем все величины, относящиеся к абсолютно черному телу, будем отмечать индексом «О».

В пирометрии излучения в качестве величин, характеризующих тепловое излучение тел, применяют энергетическую светимость (излучательность) и энергетическую яркость (лучистость). При этом следует различать полную и спектральную светимость и яркость.

Под полной энергетической светимостью тела понимают полную (интегральную) поверхностную плотность излучаемой мощности, т.е.

$$R(T) = \int_0^{\infty} R(\lambda, T) d\lambda, \quad (4.1)$$

где $R(T)$ – полная энергетическая светимость при температуре T , Вт/м²;

λ – длина волны излучения, м;

$R(\lambda, T)$ – спектральная энергетическая светимость, отнесенная к очень узкой области спектра $d\lambda$ (от λ до $\lambda + d\lambda$), Вт/м³.

Очевидно, что

$$R(\lambda, T) = \frac{dR(T)}{d\lambda}, \quad (4.2)$$

где $dR(T)$ – доля полной светимости в спектральном интервале $d\lambda$ при температуре T , Вт/м².

Энергетической яркостью тела в данном направлении называется мощность излучения в единичный телесный угол с единицы площади проекции поверхности тела на плоскость, перпендикулярную данному направлению. Полная энергетическая яркость тела определяется, аналогично предыдущему, выражением

$$B(T) = \int_0^{\infty} B(\lambda, T) d\lambda, \quad (4.3)$$

где $B(T)$ – полная энергетическая яркость при температуре T , Вт/(ср м²).

4.5 Фотоэлектрические пирометры

Фотоэлектрические пирометры являются автоматическими показывающими и записывающими приборами. Они позволяют измерять и записывать яркостную температуру неподвижных или движущихся тел, нагретых до видимого свечения, например температуры при высокочастотном нагреве, температуры прокатываемого металла и т.п.

Фотоэлектрические методы измерения яркостей широко используются в прецизионных фотоэлектрических установках, применяемых для научных исследований и эталонных работ в области оптической пирометрии. Фотоэлектрические методы позволили превзойти точность в измерении яркостей, которая была достигнута в визуальной оптической пирометрии, так как в последнем случае точность ограничена контрастной чувствительностью человеческого глаза.

В фотоэлектрических пирометрах в качестве приемника излучения (чувствительного элемента) используют фотоэлемент, фотосопротивление и т.п. При освещении фотоэлемента в цепи его возникает ток, пропорциональный световому потоку, испускаемому нагретым телом. Следует отметить, что применяемые фотоэлементы (сурьмяно-цезиевые, кислородно-цезиевые, с запирающим слоем и др.) обладают различной спектральной чувствительностью, которая зависит от типа фотоэлемента.

В зависимости от того, какой рабочий спектральный интервал используется в существующих фотоэлектрических пирометрах, они могут быть разделены на две группы. К первой группе относятся фотоэлектрические пирометры, у которых при применении красного светофильтра с областью пропускания, начинающейся с длины волны около 0,6 мкм, используется сравнительно узкий рабочий спектральный интервал фотоэлемента – от 0,6 до 0,72 мкм. Благодаря этому у пирометров этого типа и у визуальных оптических пирометров эффективные длины волн практически совпадают. Градуировка и поверка фотоэлектрических пирометров этого типа производится с помощью температурных ламп, снабженных стеклом ПС-5 и градуированных на яркостные температуры в свете длины волны 0,65 мкм.

Поскольку эффективные длины волн указанных фотоэлектрических пирометров и визуальных оптических пирометров одинаковы, то яркостные температуры, измеренные этими приборами, будут совпадать в пределах их суммы допустимых основных погрешностей. Переход к действительным температурам тел от их яркостных температур, измеренных фотоэлектрическим пирометром, можно осуществлять с помощью уравнений или специальных таблиц.

Широко применяемым фотоэлектрическим пирометром первой группы является прибор ФЭП-4 с нижним пределом измерения 800 °С. Из числа выпускаемых фотоэлектрических пирометров за границей к первой группе относятся, например, пирометры «Оптиматик» (США).

Ко второй группе относятся фотоэлектрические пирометры, использующие широкие спектральные области излучения. Эффективные длины волн у фотоэлектрических пирометров этого типа значительно различаются. Яркостные температуры, измеренные фотоэлектрическими пирометрами, со значительно различающимися эффективными длинами волн, характеризуются несравнимыми значениями. Широкие спектральные интервалы, используемые в фотоэлектрических пирометрах, исключают возможность осуществлять их градуировку и поверку с помощью температурных ламп, градуированных в свете какой-либо определенной длины волны. Поэтому фотоэлектрические пирометры второй группы градуируются и поверяются только по модели черного тела.

Переход от яркостных температур, измеренных фотоэлектрическими пирометрами этого типа, к действительной температуре физического тела представляет большие трудности, так как для этого необходимо знать значения коэффициентов излучения для эффективных длин волн, лежащих в различных интервалах длин волн. В настоящее время такие данные о значениях коэффициентов черноты излучения для большинства физических тел отсутствуют, а имеющиеся же данные значений ε_λ для некоторых длин волн, в частности, для $\lambda = 0,65$ мкм, далеко недостаточны.

Вследствие вышеизложенных причин фотоэлектрические пирометры второй группы применяются главным образом в тех случаях, когда по условию технологического процесса контроль температуры тел не требует знания действительной температуры. Однако необходимо отметить, что некоторые типы фотоэлектрических пирометров этой группы снабжаются графиком поправок, позволяющим осуществлять переход от показаний этих приборов к действительной температуре тела.

Ко второй группе относятся приборы ФЭП с нижним пределом измерения $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ (с фотоэлементом ЦВ-3), АРС с фотоэлементом СУВ-3 и ряд других.

Для ознакомления с устройством фотоэлектрических пирометров в качестве примера рассмотрим применяемые пирометры ФЭП-4. В пирометрах этого типа с диапазоном измерения яркостной температуры от $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $4000\text{ }^{\circ}\text{C}$ используется вакуумный сурьмяно-цезиевый фотоэлемент типа СЦВ-51, чувствительный к излучению только видимой области спектра. На рисунке 3.5 представлены кривые спектральной чувствительности сурьмяно-цезиевого фотоэлемента 1 и пропускания красного светофильтра 2. Из этого графика видно, что фотоэлемент СЦВ-51 в сочетании с красным светофильтром КС-15 реагирует на излучение с длиной волны от $0,60$ до $0,72\text{ мкм}$. При этом эффективная длина волны пирометра в диапазоне измеряемых температур остается практически постоянной ($0,65 \pm 0,01\text{ мкм}$). Вследствие этого температура, показываемая фотоэлектрическим пирометром, как отмечалось выше, будет совпадать с яркостной температурой, измеренной визуальным оптическим пирометром, в пределах суммы допускаемых основных погрешностей обоих приборов.

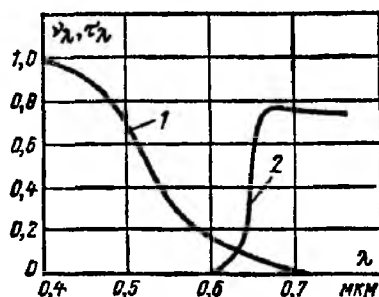


Рисунок 4.5 – Кривые спектральной чувствительности сурьмяно-цезиевого фотоэлемента СЦВ-51 (1) и пропускания красного светофильтра (2)

В пирометрах ФЭП с диапазоном измерения температуры от $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ применяется кислородно-цезиевый фотоэлемент ЦВ-3, чувствительный к излучению в области длин волн от $0,4$ до $1,2\text{ мкм}$. Эффективная длина волны этих пирометров $0,9\text{--}1,1\text{ мкм}$. Температура, показываемая пирометром этого типа, несколько отличается от яркостной температуры, измеренной оптическим пирометром.

Пирометры ФЭП с фотоэлементом ЦВ-3 снабжаются графиком поправок, позволяющим определять действительную температуру тела по показаниям этих приборов. Фотоэлектрический пирометр ФЭП-4 (рисунок 4.6) состоит из следующих отдельных блоков: первичного преобразователя (визирной головки) 1, включающего в себя фотоэлемент 2, оптическую систему, модулятор света 3, лампу обратной связи 4 и двухкаскадный электронный усилитель 5; силового блока 6; феррорезонансного стабилизатора напряжения 7; быстродействующего автоматического потенциометра 8; разделительного трансформатора 9.

Изображение источника излучения 10 с помощью объектива 11 создается в плоскости отверстия 12 в держателе красного светофильтра 13, установленного перед фотоэлементом 2. Неподвижная диафрагма 14, установленная за объективом, обеспечивает постоянство входного угла, а размер отверстия 12 определяет ту часть светового потока, которая создает освещенность катода фотоэлемента. При фокусировке изображение объекта 10, которое рассматривается через визирное устройство, состоящее из окуляра 15 и наклонного зеркала 16, должно полностью перекрывать отверстие 12. В этом случае световой поток, падающий на катод фотоэлемента, зависит только от яркости объекта, а следовательно, и от яркостной температуры его.

Через второе отверстие 17 в держателе красного светофильтра на катод фотоэлемента подается световой поток от лампы 4, питаемой током выходного каскада силового блока 6. С помощью этой лампы в пирометре осуществляется обратная связь по световому потоку. Перед держателем красного светофильтра, а вместе с тем и перед фотоэлементом установлена заслонка 18 модулятора света 3. С помощью этого устройства световые потоки, падающие на катод фотоэлемента, от объекта и лампы обратной связи модулируются с частотой 50 Гц в противофазе. При неравенстве этих световых потоков в цепи фотоэлемента потечет ток, переменная составляющая которого пропорциональна разности освещенностей катода обоими источниками. Переменная составляющая фототока усиливается электронным усилителем 5, выпрямляется фазовым детектором силового блока 6 и подается на сетки лампы его выходного каскада-усилителя постоянного тока. В общую цепь катодов лампы этого выходного каскада включена последовательно лампа обратной связи. При этом в цепи этой лампы ток накала будет меняться до тех пор, пока на катоде фотоэлемента не уравниются световые потоки от источника излучения и лампы.

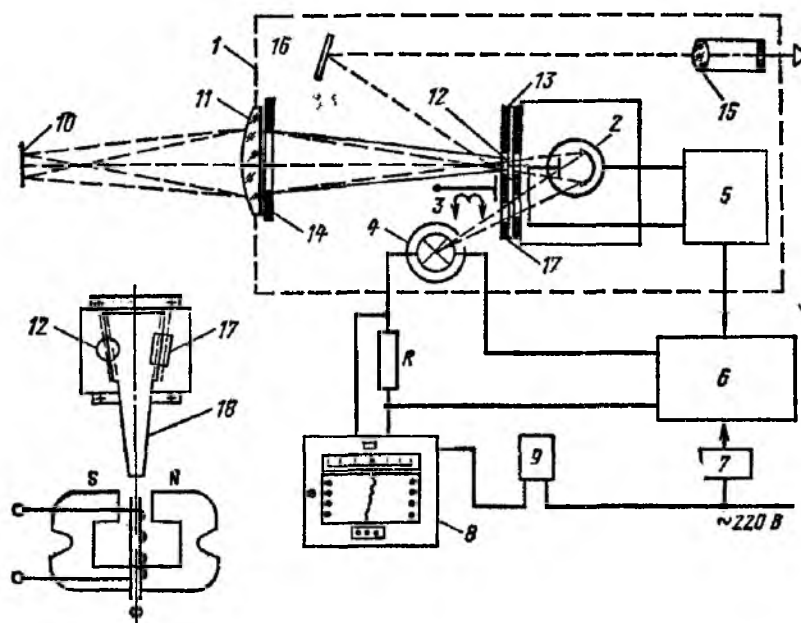


Рисунок 4.6 – Схема устройства фотоэлектрического пирометра типа ФЭП-4

Следует отметить, что световой поток от лампы обратной связи несколько отличается от потока визируемого объекта, однако благодаря большому коэффициенту усиления системы разность между этими потоками мала. Таким образом, с достаточной точностью можно считать, что сила тока в цепи лампы обратной связи однозначно связана с яркостной температурой визируемого тела. В цепь лампы обратной связи включен постоянный калиброванный резистор R , падение напряжения на котором измеряется быстродействующим автоматическим потенциометром, снабженным шкалой, позволяющей производить отсчет яркостной температуры, выраженной в градусах Цельсия.

Пределы допускаемой основной погрешности показаний пирометров с диапазоном измерения от 800 °С до 2000 °С не превышают ± 1 % верхнего предела измерения. Для двухшкальных пирометров с диапазоном измерения 1200–2000 °С предел допускаемой основной погрешности ± 20 °С, а для второй шкалы с верхним пределом измерений выше 2000 °С не превышает $\pm 1,5$ % верхнего предела измерения. Время установления показаний пирометра около 1 с. Порог чувствительности пирометра составляет 0,1 % верхнего предела измерения прибора.

5 Методы и приборы для измерения давления и разрежения

Давление жидкостей, газов и пара определяется силой, нормально действующей на единицу поверхности. При измерении давления нас может интересовать абсолютное и избыточное давления. Абсолютное давление необходимо знать в тех случаях, когда влияние атмосферного давления исключить нельзя, как, например, при определении температуры кипения жидкостей, при испытаниях различного рода агрегатов и т. д. В технике, как в лабораторных, так и промышленных условиях в большинстве случаев имеют дело с избыточным давлением.

Под термином «абсолютное давление» подразумевается полное давление, под которым находятся жидкость, газ или пар.

Прибор, измеряющий атмосферное давление, обычно называют барометром и отсюда атмосферное давление часто называют барометрическим. Прибор, измеряющий избыточное (сверхбарометрическое) давление, принято называть манометром. Избыточное давление иногда называют манометрическим.

Избыточное давление равно разности между абсолютным давлением, большим, чем атмосферное, и атмосферным давлением.

Таким образом, манометр всегда показывает разность между абсолютным и атмосферным давлением и, следовательно, не учитывает последнего.

Если абсолютное давление меньше атмосферного на величину p_v , то эту величину называют разрежением (вакуумом). Таким образом, под термином «разрежение» разумеется разность между атмосферным давлением и абсолютным давлением, меньшим, чем атмосферное.

Ниже рассмотрим различные методы измерения давления и разрежения и наиболее распространенные приборы. В зависимости от их назначения они все по точности показаний разделяются на классы. Класс точности обозначают числом, которое соответствует величине допустимой погрешности, выражаемой обычно в процентах предельного значения шкалы прибора. Принятые для приборов, предназначенных для измерения давления и разрежения, классы точности соответствуют следующему ряду: 0,005; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4. Кроме того, изготавливают образцовые пружинные манометры и вакуумметры класса точности 0,35. Принятые классы точности на приборы, служащие для измерения давления и разрежения, в значительной степени облегчают выбор

прибора и исключают, кроме того, возможный произвол в установлении погрешностей.

Приборы, предназначенные для измерения давления и разрежения, в зависимости от их назначения разделяются на три основные группы: эталонные, образцовые и рабочие.

По принципу действия все приборы, предназначенные для измерения давления и разрежения, могут быть разделены на пять основных групп: жидкостные, пружинные, комбинированные, поршневые и электрические.

К группе комбинированных приборов относятся поплавковые, кольцевые, колокольные, т.е. все те приборы, у которых принцип действия носит смешанный характер.

Приборы пружинные и комбинированные выпускаются как механические, так и с электрической передачей показаний на расстояние; последние обычно работают в комплекте с одним или двумя вторичными приборами.

5.1 Жидкостные приборы

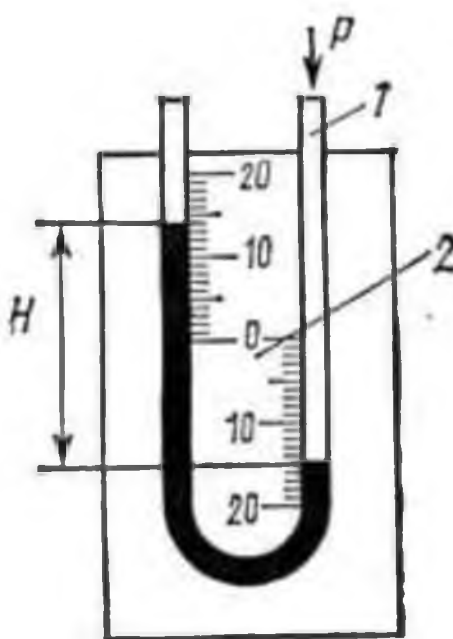
Жидкостные приборы, основанные на гидростатическом принципе действия, широко применяют для измерения давления и разрежения, а также разности давлений. Несмотря на то, что, кроме жидкостных приборов имеется достаточное количество приборов, основанных на других способах измерения давления, все же они с давних времен и до наших дней широко применяются как в лабораторной практике, так и в различных отраслях промышленности. Причину этого следует видеть в простоте обращения, относительно высокой точности измерения и, наконец, в их дешевизне.

Простейшим и вместе с тем точным прибором для измерения давления и разрежения, а также разности давлений является U-образный стеклянный манометр, заполняемый до половины своей высоты рабочей жидкостью (рисунок 5.1).

Принцип измерения давления с помощью этого прибора основан на непосредственном наблюдении разности уровней h рабочей жидкости. В качестве рабочей жидкости обычно применяют ртуть и воду. Однако при точных измерениях давления капиллярные свойства воды не позволяют применять ее в качестве рабочей жидкости в U-образных манометрах со стеклянными трубками малого диаметра. В этом случае в качестве рабочей жидкости рекомендуется применять спирт или толуол.

Если отсчет высоты столба по U-образному прибору производят невооруженным глазом, то абсолютная погрешность в измерении

высоты столба может быть оценена в 1 мм. При этом следует иметь в виду, что погрешностью самой шкалы и погрешностью при определении удельного веса рабочей жидкости мы пренебрегаем, так как эти погрешности очень малы по сравнению с погрешностью отсчета. Поскольку в U-образном приборе необходимо делать два отсчета, то в этом случае наибольшая абсолютная погрешность может достигнуть 2 мм. Отсюда следует, что относительная погрешность при измерении давления, разрежения или разности давлений U-образным прибором зависит в основном от высоты столба рабочей жидкости и точности его отсчета.



1 – трубка; 2 – шкала

Рисунок 5.1 – U-образный манометр

Для увеличения точности отсчета высоты столба рабочей жидкости, образцовые U-образные манометры снабжаются зеркальной шкалой, в этом случае при цене деления шкалы в 1 мм отсчет высоты столба может быть произведен с погрешностью 0,25 мм. Если учесть, что необходимо произвести два отсчета, то общая погрешность будет не менее 0,5 мм. Производить два отсчета при точных измерениях крайне неудобно. Поэтому для избежания этих неудобств, а вместе с тем и уменьшения погрешности производят предварительную калибровку трубок U-образного

манометра, в результате чего можно пользоваться только одним отсчетом.

При измерении очень малых давлений, например, выражающихся высотой столба жидкости всего лишь в несколько десятков миллиметров, U-образный прибор становится весьма грубым и его заменяют прибором, который называется микроманометром. U-образный манометр для измерения относительно больших давлений совершенно неудобен

На рисунке 5.2 представлена схема чашечного манометра. Он в основном представляет собой U-образный манометр, у которого одно колено трубки выполнено в виде сосуда с сечением, значительно большим, чем у второго колена. Измеряемое давление, действуя на поверхность рабочей жидкости в широком сосуде, заставляет ее подниматься вверх по стеклянной измерительной трубке. Основным достоинством чашечного манометра перед U-образным является то, что он позволяет производить только один отсчет, ибо разностью высот в широком сосуде или можно пренебречь, или же учесть ее путем введения поправки.

Это обстоятельство, т. е. возможность производить только один отсчет, уменьшает возможную погрешность отсчета наполовину.

Если диаметр широкого сосуда равен 80 мм, а диаметр измерительной трубки 4 мм, то при повышении рабочей жидкости в измерительной трубке на какую-нибудь высоту в широком сосуде рабочая жидкость опустится на $\frac{4^2}{80^2}$ этой высоты, т.е. на 0,25 %.

Следовательно, если в чашечном манометре желательно учесть изменение уровня рабочей жидкости в широком сосуде, то измеренную высоту столба в измерительной трубке надо увеличить на 0,25 %.

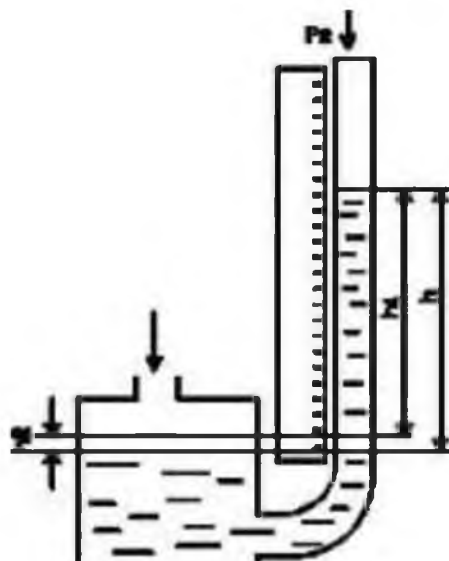
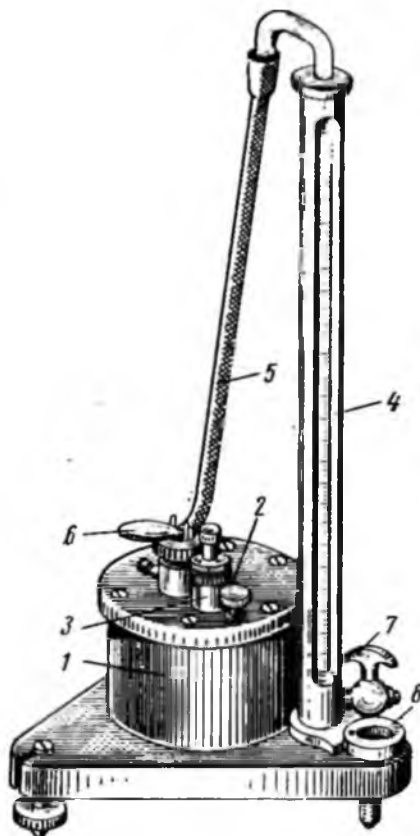


Рисунок 5.2 – Схема чашечного манометра

Общий вид чашечного манометра показан на рисунке 5.3. Для этого прибора множитель $(1 + \frac{d^2}{D^2})$ равен 1,00173; следовательно, погрешность из-за недоучета этого множителя не превышает 0,173 %. Шкала чашечного прибора градуируется в миллиметрах водяного столба для определенной рабочей жидкости, обычно спирта ($\gamma = 0,81 \text{ Г/см}^3$).

Образцовые чашечные манометры для увеличения точности отсчета высоты столба рабочей жидкости снабжаются зеркальной шкалой.



1 – сосуд; 2 – пробка, закрывающая отверстие для заливки в прибор рабочей жидкости; 3 – устройство для установки на нуль; 4 – стеклянная трубка со шкалой; 5 – резиновая соединительная трубка; 6 – многоходовой кран; 7 – спускной кран; 8 – уровень

Рисунок 5.3 – Общий вид чашечного манометра

Микроманометры являются лабораторными приборами и предназначены для измерения малых давлений, разрежений или незначительных разностей давлений, определяемых десятками миллиметров водяного столба. Применять описанные выше жидкостные приборы здесь не представляется возможным из-за большой погрешности этих приборов.

Для уменьшения погрешности в таких приборах применяют специальные оптические устройства или трубке чашечного манометра придается наклонное положение. При производстве технических измерений и измерений, требующих относительно быстрого отсчета, целесообразно применять микроманометры, с наклонной трубкой, так как микроманометры, снабженные оптическими устройствами, в этом

случае неудобны. На рисунке 5.4 схематически показан микроманометр с наклонной трубкой.

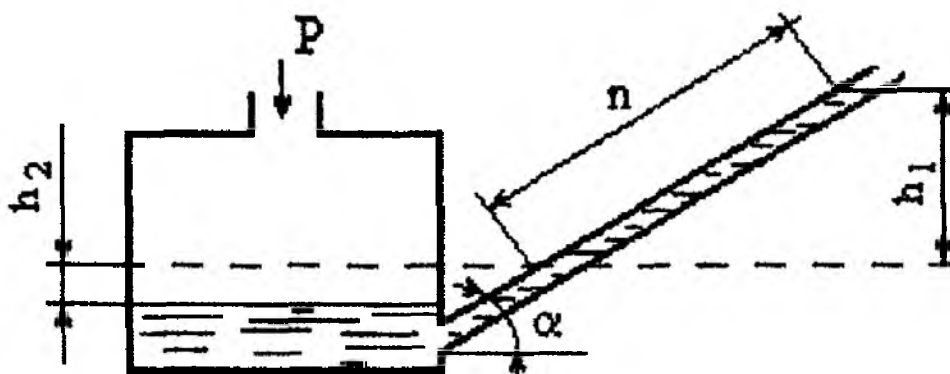


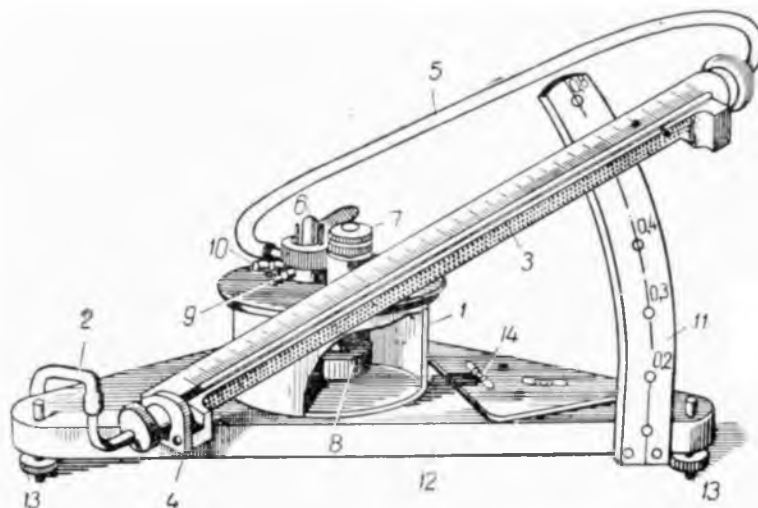
Рисунок 5.4 – Схема микроманометра с наклонной трубкой

При измерении давления исследуемое пространство присоединяется к широкому сосуду, а при измерении разрежения к наклонной трубке. В случае измерения разности давлений пространство с большим давлением присоединяют к широкому сосуду, а с меньшим к трубке.

Следует указать, что при одной и той же рабочей жидкости и шкале прибора предельное измеряемое давление будет тем меньше, чем меньше угол наклона стеклянной трубки. Однако угол наклона α менее 15° не делают, так как при малых значениях α мениск в трубке получается вытянутым и размытым, отчего отсчет может стать неточным.

Шкала микроманометров с наклонной трубкой чаще всего градуируется в миллиметрах водящего столба для определенной рабочей жидкости, обычно спирта.

На рисунке 5.5 изображен микроманометр с переменным углом наклона измерительной трубки.



1 – цилиндрический сосуд; 2 и 5 – резиновые трубки; 3 – измерительная трубка; 4 – кронштейн; 6 – трехходовой кран; 7 – корректор нуля; 8 – поршень; 9 и 10 – штуцеры; 11 – стойка; 12 – плита; 13 – регулирующие винты; 14 – уровень

Рисунок 5.5 – Микроманометр с переменным углом наклона измерительной трубки

Он состоит из широкого сосуда, соединенного со стеклянной трубкой, вдоль которой расположена шкала длиной 250 мм, позволяющая отсчитывать величину h до 100 мм вод. ст. Сосуд укреплен на постаменте с тремя установочными винтами и двумя уровнями; здесь же укреплена стойка, которая дает возможность устанавливать стеклянную трубку при производстве измерений в четырех положениях при разных углах наклона. Цифры 0,1; 0,2; 0,3; 0,4, нанесенные на стойке, обозначают величину множителя γ ($\sin \alpha + \frac{F_1}{F_2}$).

Установка мениска на нуль производится изменением уровня спирта в сосуде с помощью специального приспособления.

Это приспособление состоит из цилиндра, в большей или меньшей степени погруженного в жидкость посредством винтового устройства с сальниковым уплотнением. На крышке сосуда установлен многоходовой кран, позволяющий одновременно включать и выключать сосуд и трубку («плюс» и «минус»).

Другие типы применяемых микроманометров с наклонной трубкой отличаются от рассмотренного выше прибора лишь незначительными конструктивными особенностями.

Основная погрешность микроманометров с наклонной трубкой в зависимости от их конструктивных особенностей лежит в пределах от $\pm 0,5$ до $\pm 1,5$ %.

Для более точного измерения малых давлений, разрежений или незначительных разностей давлений применяют в лабораторных условиях чашечные микроманометры, снабженные оптическим устройством.

6 Методы и приборы для измерения уровня и расхода, влажности, состава и качества веществ

Измерение уровня в производственной практике – одна из самых распространенных задач в общей системе заводского контроля.

Измерение уровня не всегда возможно визуальным способом.

В качестве примера, исключающего ручные замеры и показывающего важность информации, служит уровень в барабане котельного агрегата. Барабан герметичен и находится под давлением. Вода и пар в нем высокой температуры. В процессе переходных режимов уровень в котле быстро меняется на весьма значительную величину. С одной стороны спуск уровня из барабана приводит к пережогу кипяtilных труб, а с другой, переполнение барабана котла водой может привести к забросу воды в паропроводы и повлечь разрушение лопаток турбины.

Уровень измеряется линейными мерами длины: метрами, сантиметрами и миллиметрами.

Все приборы измерения уровня можно разделить на две группы: приборы следящего уровня и сигнализаторы уровня.

Приборы следящего уровня (уровнемеры) постоянно измеряют уровень. Эти приборы показывают уровень в емкости по всей высоте диапазона измерения. Сигнализаторы уровня контролируют только отдельные точки стояния уровня.

В некоторые модификации уровнемеров встраивают устройства для сигнализации контрольных точек уровня в емкости.

6.1 Уровнемеры

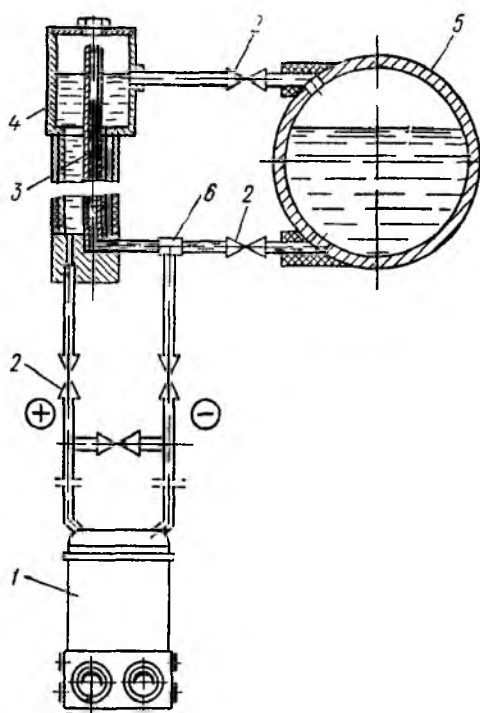
Измерение уровня может осуществляться с помощью дифманометра. На рисунке 6.1 показана схема промышленного уровнемера У-III с дифференциальным пневматическим манометром ДМПК-100.

На чувствительный элемент дифманометра 1 воздействуют два столба жидкости. Столб из сосуда постоянного уровня 4 подсоединен к плюсовой камере дифманометра. Сосуд постоянного уровня соединен с паровым пространством барабана котла 5. В сосуде все время происходит конденсация паров и за счет этого уровень в сосуде пополняется. Лишняя вода сливается через трубку и вентиль 2 в барабан. Минусовая камера дифманометра через тройник 6 подсоединяется к сосуду переменного уровня 3. В этом сосуде устанавливается уровень, равный отметке уровня в барабане котла. Дифманометр показывает разницу двух столбов жидкости.

Но так как один (плюсовой) столб имеет постоянный уровень, дифманометр показывает уровень в барабане котла.

Такое устройство позволяет показывающий прибор уровня устанавливать на площадке обслуживания оператора, которая находится ниже барабана котла.

Прибор будет правильно показывать уровень только в том случае, если плотность жидкости, находящейся в плюсовой и минусовой линии, одинакова.



1 – дифманометр; 2 – запорные вентили; 3 – сосуд переменного уровня; 4 – сосуд постоянного уровня; 5 – барабан котла; 6 – тройник

Рисунок 6.1 – Схема уровнемера У-III с дифференциальным манометром

Плотность воды в зависимости от температуры и давления довольно значительно меняется. Так, например, при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении $1,03\text{ кгс/см}^2$ (101 кПа) – плотность воды $0,96\text{ г/см}^3$ (960 кг/м^3), а при температуре $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении $4,85\text{ кгс/см}^2$ (476 кПа) – плотность воды $0,87\text{ г/см}^3$ (870 кг/м^3). Это составит ошибку в измерении 9% .

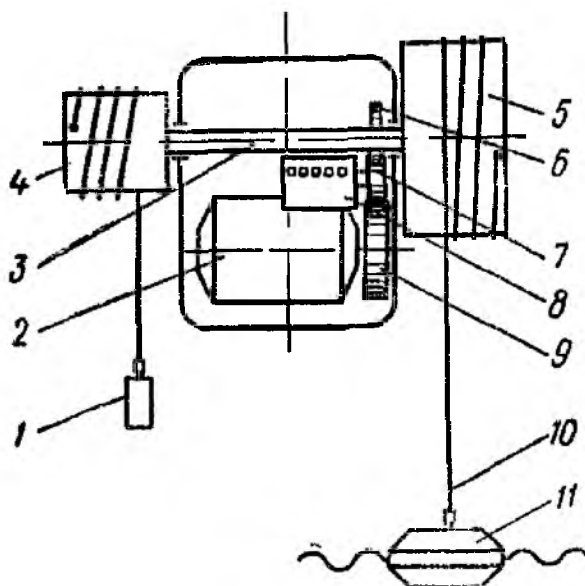
В показанном на рисунке 6.1 устройстве сосуд переменного уровня находится внутри сосуда постоянного уровня.

Этой конструкцией достигается одинаковая температура воды в обоих сосудах.

Вместо пневматического дифманометра может быть применен любой другой дифманометр.

Измерения уровня с помощью поплавкового устройства. Уровнемер УМ2-31-ОНБТ-11 применяется для измерения уровня в открытых резервуарах и емкостях.

Датчик уровнемера УМ2-31-ОНБТ-11 типа ДСУ-1М показан на рисунке 6.2. Датчик укрепляют над емкостью так, чтобы поплавок 11 плавал на поверхности жидкости, уровень которой измеряется. С изменением уровня поплавок перемещается вверх или вниз. Когда уровень понижается, поплавок под собственным весом уходит вниз и через трос 10 передает вращение барабану 5. Если уровень повышается, поплавок и трос перемещаются вверх под действием противовеса 1, укрепленного на барабане 4. Барабан 4 сидит на одном валу с барабаном 5. На валу 3 укреплена шестеренчатая передача, состоящая из шестерен 6, 7 и 9. Шестерня 9 передает вращение сельсину-датчику 2, а шестерня 7 счетчику местного отсчета 8.

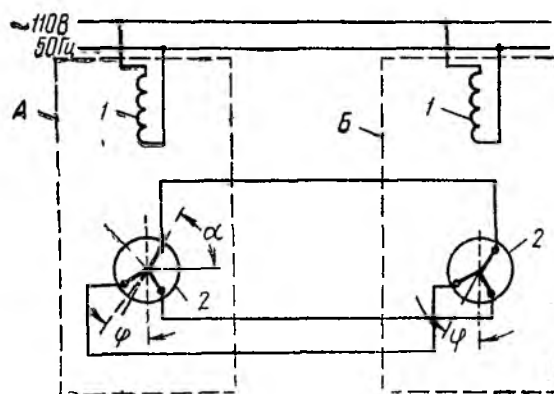


1 – противовес; 2 – сельсин; 3 – вал; 4 – барабан противовеса; 5 – мерительный барабан; 6,7,9 – шестерни зубчатой передачи; 8 – счетчик местного отсчета; 10 – трос; 11 – поплавок

Рисунок 6.2 – Датчик ДСУ-1М

Сельсин-датчик электрической линии передачи связан с сельсином-приемником, на валу которого укреплена стрелка, показывающая на шкале отметку измеряемого уровня.

Принцип действия системы синхронной передачи угла поворота с применением сельсина становится понятным из рассмотрения рисунка 6.3. Система состоит из сельсина-датчика *А* и сельсина-приемника *Б*.

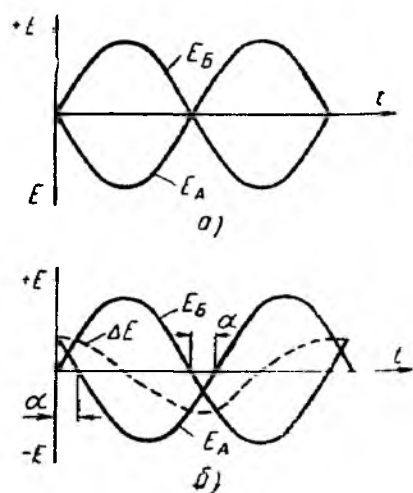


А – сельсин датчик; *Б* – сельсин приемник; 1 – обмотка возбуждения; 2 – обмотка ротора

Рисунок 6.3 – Принципиальная схема сельсинной передачи

Сельсины представляют собой малогабаритные асинхронные двигатели с трехфазным ротором и однофазным статором. Обмотки ротора датчика и приемника включены навстречу друг другу. Если роторы машин по отношению к своим статорам занимают одинаковые углы поворота, оба ротора останутся неподвижными.

Это происходит потому, что э.д.с. E_A , наведенная в обмотках ротора сельсина-датчика *А*, в каждый момент времени будет равна по величине и противоположна по фазе э.д.с. E_B , соответствующей обмотке ротора сельсина-приемника *Б*. В результате ток в роторных обмотках равен нулю, и вращающий момент не создается (рисунок 6.4, *а*). Так как обмотки включены навстречу друг другу, э.д.с. на рисунке 6.3, *а* условно повернута на 180° .



а – сельсин-датчик и сельсин-приемник занимают одинаковое положение; б – сельсин-датчик повернут; E_A – э.д.с. сельсина А; E_B – э.д.с. сельсина Б; ΔE – разность потенциалов; α – угол сдвига фаз э.д.с.

Рисунок 6.4 – Временные диаграммы напряжений роторов сельсинов

Пусть роторы сельсинов, находящихся в равновесии, занимают положение, при котором они повернуты по отношению к оси симметрии на угол φ . Если уровень изменится так, что ротор сельсина А повернется на угол α по часовой стрелке, то э.д.с. E_A сельсина А (рисунок 6.4, б) тоже сдвинется на угол α и величины э.д.с. обоих роторов в каждый момент времени уже не будут равны друг другу. Между концами соединенных обмоток появится разность потенциалов

$$\Delta E = [E_A \sin(\varphi + \alpha) - E_B \sin \varphi] \quad (6.1)$$

В результате в обмотках роторов датчика и приемника появится уравнивающий ток. Взаимодействие этого тока с магнитными потоками статоров создаст в каждом из сельсинов вращающий момент. Ротор датчика повернуться не может, так как возникший вращающий момент меньше момента сопротивления системы редуктор – поплавков – уровень. Под действием вращающего момента ротор приемника поворачивается в ту же сторону, в которую повернулся ротор датчика до тех пор, пока не исчезнет уравнивающий ток, т.е. разность потенциалов ΔE станет равна нулю. Это случится тогда, когда ротор приемника, повернувшись на угол α , займет по

отношению статора такое же положение, как ротор датчика. Стрелка сельсина-приемника Б покажет новое положение уровня.

К одному сельсину-датчику может быть подсоединено до трех сельсинов-приемников.

Устройство получает питание от сети переменного тока 50 Гц. Напряжение на зажимах сельсинов должно быть 104–115 В. Для получения такого напряжения от сети 220 В необходимо в схему включить автотрансформатор или реостат. Потребление тока сельсином-датчиком составляет 0,9 А, а сельсином-приемником 0,45 А. Пределы измерения уровня сельсином-приемником УСП-1М 1,25; 2,5; 5; 7,5; 10; 12 и 20 м. Дальность линии связи определяется сопротивлением проводов, которое должно быть не более 30 Ом. При применении медного провода сечением 4 и 6 мм² показания могут передаваться до 10 км. Габариты датчика УСП-1М – 249 × 98 × 175 мм, масса 2,8 кг.

Измерения уровня с помощью емкостных индикаторов, конструктивно индикатор уровня, основанный на измерении электрической емкости, представляет собой два электрода, опущенных в измеряемую среду. Один из электродов заземлен. В одной из модификаций прибора, выпускаемого заводом, один электрод представляет собой одножильный кабель, жила которого со всех сторон окружена изоляцией и на срезе внизу жила также изолирована. Вторым электродом служит стальная труба диаметром около 200 мм. Трубу устанавливают вертикально в измеряемой емкости так, чтобы в нее свободно проникала жидкость и уровень в трубе не отличался от уровня в емкости. В трубу опускают кабельный электрод.

Емкость цилиндрического конденсатора определяется по формуле

$$C = \varepsilon \frac{2\pi l}{\ln \frac{d_2}{d_1}}, \quad (6.2)$$

где C – емкость, Ф;

ε – диэлектрическая проницаемость среды между внутренним и наружным электродами, Ф/см;

d_1 – диаметр внутреннего электрода, см;

d_2 – диаметр внешнего электрода, см;

l – длина электродов конденсатора, см.

Диаметры внешнего электрода (трубы) и внутреннего (кабель) постоянны. Диэлектрическая проницаемость среды также постоянна.

Таким образом, получается как бы два конденсатора, соединенных параллельно между собой. Общая емкость их будет равна

$$C_{об} = C_{ср} + C_B, \quad (6.3)$$

где $C_{ср}$ – емкость части конденсатора, погруженного в среду;

C_B – емкость другой части конденсатора, находящейся вне среды.

Так как

$$C_{ср} = \varepsilon_{ср} \frac{2\pi l_{ср}}{\ln \frac{d_2}{d_1}}, \quad (6.4)$$

$$C_B = \varepsilon_B \frac{2\pi l_B}{\ln \frac{d_2}{d_1}}, \quad (6.5)$$

то получаем следующее уравнение

$$C_{об} = \varepsilon_{ср} \frac{2\pi l_{ср}}{\ln \frac{d_2}{d_1}} + \varepsilon_B \frac{2\pi l_B}{\ln \frac{d_2}{d_1}} = \frac{2\pi}{\ln \frac{d_2}{d_1}} (\varepsilon_{ср} l_{ср} + \varepsilon_B l_B) \quad (6.6)$$

Общая длина электродов l равна

$$l = l_{ср} + l_B, \quad (6.7)$$

откуда

$$l_B = l - l_{ср},$$

тогда

$$C_{об} = K[\varepsilon_{ср} l_{ср} + \varepsilon_B(l - l_{ср})] = Kl_{ср}[\varepsilon_{ср} + \varepsilon_B(l - 1)], \quad (6.8)$$

или

$$C_{об} = KK_1 l_{ср}, \quad (6.9)$$

$$K = \frac{2\pi}{\ln \frac{d_2}{d_1}}; K_1 = [\epsilon_{cp} + \epsilon_b(l - l_{cp})]. \quad (6.10)$$

В этой формуле величины K , ϵ_{cp} , ϵ_b , l – постоянны; переменной является только величина уровня l_{cp} . Итак, емкость $C_{об}$ изменяется с изменением уровня l_{cp} .

Сигнал изменения емкости воспринимается электронным блоком прибора, усиливается и передается на показывающий прибор.

На рисунке 6.5 представлена принципиальная схема электронного блока индикатора уровня ЭИУ-2.

Чувствительным элементом электронного блока является индуктивно-емкостный мост, два плеча которого образованы вторичной обмоткой (3–4–5) трансформатора Тр1. Два других плеча образованы емкостями. В одном плече между точками 5 и 6 включен подстроечный конденсатор С9, другое плечо образовано измеряемой емкостью СД датчика (клеммы 9, 2 штеккера Ш1).

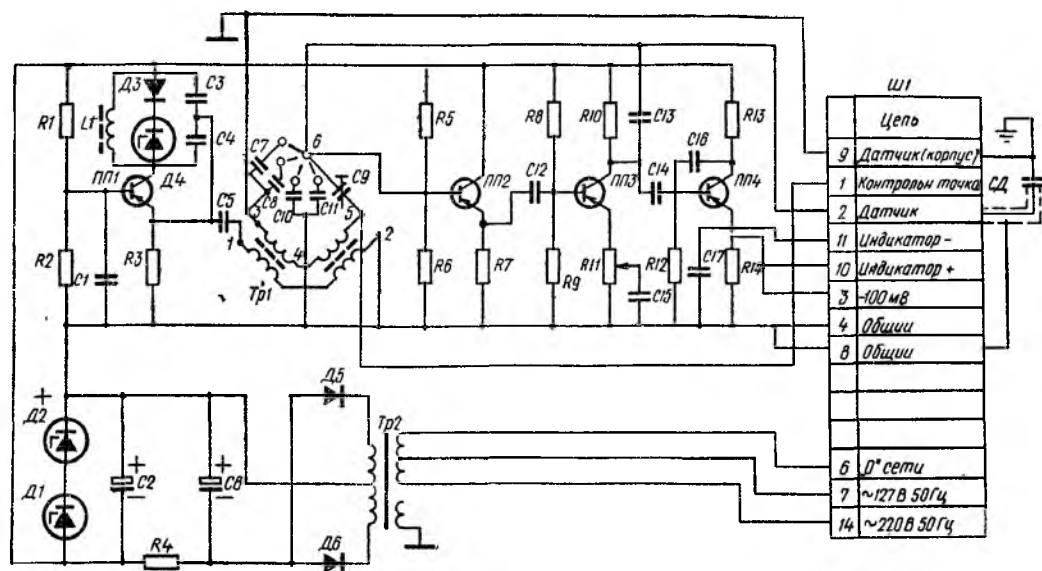
Конденсаторы С7, С8, С10, С11 служат для подбора диапазона измерения.

Питание мост получает от первичной обмотки трансформатора Тр1. Подобная схема эквивалентна подключению питающего генератора к точкам 3–5 моста. Сигнал разбаланса снимается со второй диагонали моста между точками 6 и 4.

Сигнал поступает на усилитель, состоящий из эмиттерного повторителя ПП2, усилительного каскада ПП3 и выходного каскада ПП4.

На триоде ПП1 собран генератор синусоидальных колебаний. В цепь коллектора триода ПП1 включен контур из индуктивности L1 и емкостей С3 и С4, настроенный на частоту 100 кГц. Напряжение этой частоты от контура подается на эмиттер триода ПП1 (обратная связь) цепь самовозбуждения и через емкость С5 на трансформатор Тр1 индуктивно-емкостного моста.

В разрыв эмиттерной цепи транзистора ПП4 (клеммы 10 и 11 штеккера Ш1) включается милливольтметр постоянного тока. Хотя усиление сигнала производится на переменном токе, режим последнего транзистора подобран так, что он срезает отрицательные полуволны сигнала, т.е. служит выпрямителем.



Ш1 – штеккерный разъем; СД – емкость датчика; Tr2 – силовой трансформатор; Tr1 – трансформатор питания моста; Д1, Д2, Д4 – стабилитроны; Д3, Д5, Д6 – диоды; С1 – С17 – конденсаторы; R7 – R14 – резисторы; L1 – катушка индуктивности, ПП1– ПП4 – транзисторы

Рисунок 6.5 – Принципиальная схема электронного индикатора уровня ЭИУ-2

Установка стрелки на нуль шкалы производится переменным конденсатором С9. Установка 100 % шкалы производится потенциометром R11. В зависимости от измерения электрической емкости датчика прибор может работать в одном из диапазонов 0300 пФ; 0 – 600 пФ; 0 – 1200 пФ.

Габаритные размеры электрического блока 292 × 152 × 90 мм. Масса блока 2,5 кг.

6.2 Сигнализаторы уровня

Во многих случаях в производственной практике нет необходимости иметь постоянные показания уровня, т.е. можно обойтись без приборов, постоянно следящих за уровнем. В этих случаях достаточно сигнализировать предельные значения уровня, например верхний и нижний уровень в емкости. Сигнал верхнего уровня указывает оператору, что емкость полна и, процесс заполнения можно прекратить. Сигнал нижнего уровня, наоборот, свидетельствует, что емкость необходимо заполнить.

Часто сигнализаторы уровня используются наряду с уровнемерами для того, чтобы световым и звуковым сигналом привлечь внимание оператора или диспетчера о выходе уровня из допустимых пределов. Сигнализаторы уровня по своей конструкции проще, а, следовательно, надежней уровнемеров, поэтому они получили широкое распространение.

Сигнализаторы уровня могут быть электрическими и пневматическими. В связи с тем, что показывающим устройством в сигнализаторах является электрическая лампочка, электрический сигнализатор не требует преобразования энергии. Пневматические сигнализаторы уровня применяются в основном во взрывоопасных или химически активных цехах. В конечном счете, для подачи светового сигнала пневматический импульс преобразуется в электрическую команду.

Наиболее распространенными приборами являются электродные сигнализаторы уровня. Принцип работы таких сигнализаторов основан на замыкании цепи электрического тока материалом, касающимся опущенного в измеряемую емкость электрода

6.3 Расходомеры

Количество вещества, протекающее по трубопроводу в единицу времени, называется расходом, а приборы, измеряющие расход, расходомерами. Количество вещества может измеряться в тоннах, метрах кубических, килограммах, литрах. Время измеряется в часах, минутах и секундах. В технике принято измерять расходы пара и топлива в весовых единицах в единицу времени – т/ч, кг/с и т.д., а расходы газов и жидкостей – в объемных единицах в единицу времени – м³/ч, л/с и т. д.

Приборы, измеряющие суммарный объем или вес вещества, протекающего по трубопроводу, называются счетчиками количества.

Все приборы для измерения расхода и количества могут быть подразделены на следующие группы:

- 1) тахометрические счетчики;
- 2) расходомеры обтекания;
- 3) индукционные расходомеры.

В основу измерения количества вещества в тахометрических счетчиках заложен принцип измерения скорости вертушки, лопастей, крыльчатки и т.д., подвергающихся воздействию потока измеряемой среды.

Счетчики изготавливаются в основном как приборы местного контроля без устройства передачи показаний на расстояние. Циферблат счетчика находится на корпусе прибора.

Количество протекшей через счетчик жидкости определяется путем снятия разности показаний в начале и конце определенного периода времени. Тахометрические счетчики, как правило, применяются для измерения небольших количеств протекающей жидкости или газа и устанавливаются в основном на трубопроводах до 100–160 мм в диаметре.

Тахометрические счетчики не показывают текущего значения параметра, поэтому они не получили широкого распространения в контроле теплотехнических процессов.

Расходомеры обтекания, или расходомеры постоянного перепада, в этих приборах какое-либо тело, чаще всего поплавков, воспринимает давление среды в вертикальном потоке и перемещается в зависимости от величины расхода.

Приборы для измерения расхода по методу переменного перепада давления. Приборы этого типа преобразуют импульс перепада давления протекающей среды через сужающее устройство, установленное в потоке, в показания или сигнал расхода.

Принцип действия индукционных расходомеров основан на измерении электродвижущей силы, образующейся в поперечном сечении потока при протекании его в магнитном поле.

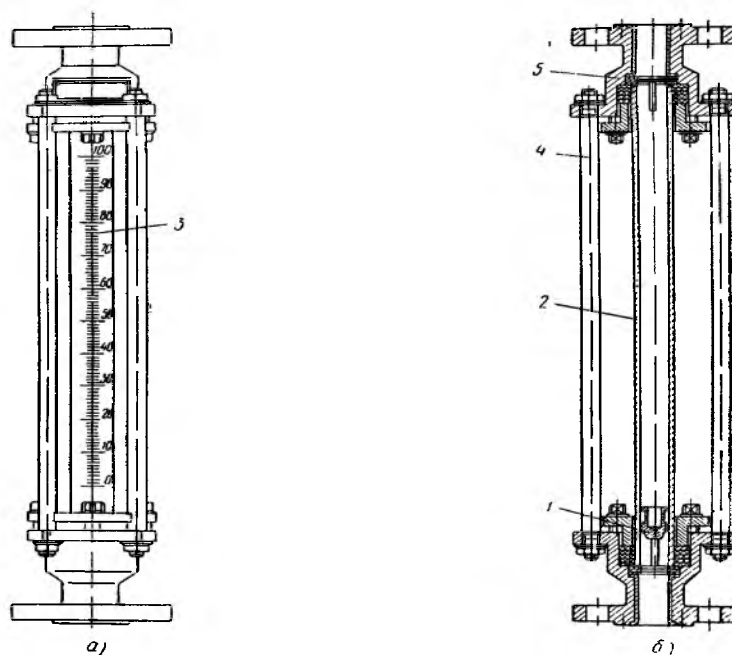
Кроме перечисленных групп существуют приборы, измеряющие расход с помощью мерных объемов, уровня жидкости при истекании ее из калиброванной щели или протекания ее через порог, с помощью смещения ультразвуковых колебаний движущимся потоком и т.д. Но наиболее распространенными приборами являются указанные в первых четырех группах.

6.3.1 Расходомеры обтекания. Расходомеры обтекания измеряют малые количества протекающей жидкости или газа и редко устанавливаются на трубопроводах диаметром более 70–100 мм.

Одним из самых распространенных расходомеров обтекания является ротаметр. На рисунке 6.6 показан ротаметр модели 3002. В

стеклянной конусной трубке 2 помещен поплавок 1, который свободно плавает в потоке вертикально проходящей жидкости или газа. Шкала 3 прибора нанесена непосредственно на стеклянной трубке. Под воздействием измеряемой жидкости или газа (направление движения снизу вверх) поплавок поднимается вверх и зазор между поплавком и стенками трубки увеличивается. Это приводит к уменьшению скорости потока, в проходном сечении и, следовательно, к уменьшению перепада давления на поплавке. Точка равновесия поплавка соответствует определенной скорости потока, т.е. определенному количеству жидкости или газа, проходящего через ротаметр. Положение верхней грани поплавка указывает по шкале величину расхода.

Показания прибора пригодны только для того вещества, по которому предварительно была произведена тарировка прибора. При изменении вещества или параметров измеряемой среды (давления, температуры, вязкости) показания прибора будут недействительны. Поэтому шкалы ротаметров выполняются безразмерными, размеченными на 100 делений.



1 – поплавок; 2 – стеклянная трубка; 3 – шкала; 4 – стойки; 5 – корпус

Рисунок 6.6 – Внешний вид (а) и разрез (б) стеклянного ротаметра РС

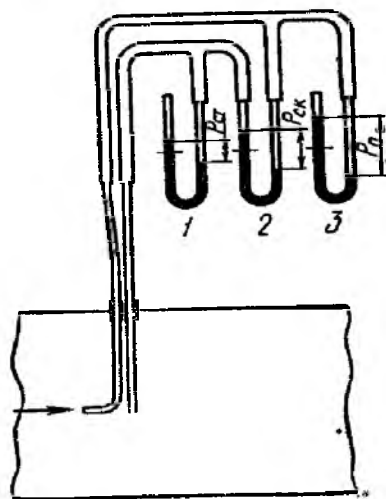
На заводе ротаметры тарируют по воде или воздуху при температуре 20 °С и давлении 760 мм рт.ст. К прибору прилагается аттестат, в котором даны таблицы и график для определения величины расхода в зависимости от показаний по условной шкале.

Корпус 5 ротаметра состоит из двух частей, соединенных между собой стойками 4, и имеет фланцы для установки в трубопроводе.

Детали ротаметров, соприкасающихся с измеряемой средой, выполняют из нержавеющей стали. В отдельных модификациях эти детали выполнены из латуни. Поплавок делается из эбонита, дюралюминия или стали. Основная допустимая погрешность показаний стеклянных ротаметров $\pm 2,5 \%$.

6.3.2 Измерение расхода методом переменного перепада давления. Наибольшее распространение получили расходомеры переменного перепада. Эти приборы наиболее универсальны и надежны. С помощью этих приборов расходы измеряются на трубопроводах диаметром от 50 до 600 и даже до 1200 мм.

На рисунке 6.7 показана установка напорных трубок с U-образными манометрами для измерения давления в трубопроводе. Одна из трубок опущена в середину потока и загнута под углом 90° навстречу потоку, вторая, опущенная на ту же глубину, не имеет загиба. Такие трубки называются пьезометрическими.



1 — манометр статического давления; 2 — манометр скоростного напора; 3 — манометр полного напора

Рисунок 6.7 — Схема установки пьезометрических трубок

Жидкость в манометрах 1 и 3 установится на разных отметках. В манометре 3 она будет испытывать не только давление, которое

оказывает жидкость или газ на стенки трубопровода, но и скоростное давление частиц среды, перемещающихся по трубопроводу. Это давление называется полным давлением среды P_n .

Так как трубка манометра 1 не загнута, то жидкость в ней будет испытывать только давление частиц среды на стенки трубопровода. Это давление называется статическим $P_{ст}$. Жидкость в трубке манометра 2 справа будет испытывать полное давление P_n , а слева – только статическое давление $P_{ст}$, и потому разность уровней в манометре 2 будет соответствовать разности давлений P_n и $P_{ст}$, которая называется скоростным давлением $P_{ск}$

$$P_{ск} = P_n - P_{ст} . \quad (6.11)$$

Скоростное давление – это такое давление, которое необходимо сообщить находящемуся в покое газу или жидкости, чтобы придать им данную скорость. Поэтому скоростное давление может характеризовать расход жидкости или газа через сечение трубопровода.

Скорость потока в месте установки расходомера определяется по формуле

$$W = \sqrt{\frac{2gP_{ск}}{\gamma}} , \quad (6.12)$$

где γ – плотность протекающего вещества, кг/м³;

W – скорость потока среды, м/с;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

$P_{ск}$ – давление, кгс/м².

Если давление будет выражено в новых единицах СИ – паскалях, то в знаменатель под корень надо ввести коэффициент 9,806.

Частицы среды, соприкасающиеся со стенками трубопровода, будут иметь значительно меньшую скорость движения (из-за трения), чем частицы, перемещающиеся в середине потока. Показания прибора будут зависеть от места расположения пьезометрических трубок в потоке. Поэтому в формулу определения расхода вводят поправочный коэффициент A , который равен отношению средней скорости движения среды $W_{ср}$ к максимальной $W_{макс}$ в сечении трубопровода, перпендикулярном направлению потока

$$A = \frac{W_{ср}}{W_{макс}} . \quad (6.13)$$

Если концы пьезометрических трубок прибора будут расположены в той точке потока среды в трубопроводе, где скорость ее максимальна, то расход среды будет определяться по формуле

$$Q = AW_{\text{макс}}F = A\sqrt{\frac{2gP_{\text{ск}}}{\gamma}}F, \text{ м}^3/\text{с} \quad (6.14)$$

где F – площадь сечения трубопровода, м^2 .

В этой формуле постоянными величинами, не зависящими от скорости движения среды, являются площадь сечения трубопровода F , ускорение силы тяжести g , плотность протекающего вещества γ и коэффициент A .

Величина A зависит от формы трубопровода и характера движения среды. Если вблизи места отбора давления имеются участки, которые могут нарушить плавное течение газа или жидкости и привести к завихрениям в месте измерения давления, то коэффициент A должен быть определен экспериментальным путем.

Метод измерения расхода газа или жидкости в трубопроводе с помощью показания перепада давлений является одним из самых распространенных.

Если в трубопровод установить диск (рисунок 6.8) с проходным диаметром меньше внутреннего диаметра трубопровода, то произойдет следующее. Так как количество жидкости, проходящей по трубопроводу, не меняется, то для того чтобы сквозь суженное сечение прошло то же количество жидкости, скорость ее движения в суженном сечении должна возрасти. Увеличение скорости происходит за счет потери части давления, так как поток жидкости или газа, преодолевая сопротивление, расходует на эту работу часть энергии. Поэтому давление после диска будет меньше, чем давление перед диском. Сужение сечения трубопровода называется дросселированием, а диск с уменьшенным внутренним диаметром – диафрагмой.

Разность давлений перед диафрагмой и после нее $P_1 - P_2$, что соответствует разности уровней $h_1 - h_2$, называется перепадом давления и зависит от количества жидкости или газа, протекающего через диафрагму в единицу времени.

Манометры, измеряющие разность давлений, называются дифференциальными манометрами, или дифманометрами. Нельзя путать перепад давления, измеряемый дифманометром, со статическим давлением в трубопроводе. Давление в трубопроводе

может быть очень высоким, а перепад давления на дифманометре очень небольшим.

Присоединив U-образный манометр перед диафрагмой и после нее, можно измерить перепад давления и по нему судить о расходе.

Расход жидкости или газа в этом случае определяется по формуле

$$Q = hF \sqrt{\frac{\Delta P g}{\gamma}}, \quad (6.15)$$

где Q – расход, м³/с;

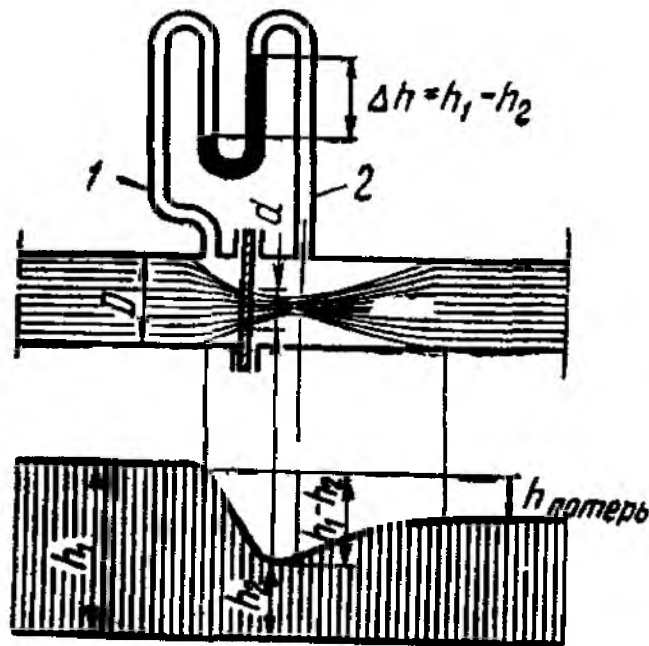
ΔP – перепад давления; кгс/м²;

γ – плотность среды, кг/м³;

h – коэффициент, зависящий от диаметров трубопровода и диафрагмы, удельного веса жидкости, заполняющей манометр, и т.д.;

F – сечение диафрагмы, м²;

g – ускорение силы тяжести, м/с².



1 – трубка для большего давления; 2 – трубка для меньшего давления

Рисунок 6.8 – Измерение расхода с помощью сужающего устройства

Если перепад давлений в этой формуле будет выражен в паскалях, то в знаменатель под корень надо ввести коэффициент 9,806.

Если все постоянные параметры (h , F , g , γ) для данной точки измерения обозначить буквой K , то

$$Q = K\sqrt{\Delta P}. \quad (6.16)$$

Из полученной формулы следует, что расход зависит от перепада давления ΔP не прямо пропорционально. Поэтому при измерении перепада давления шкала расходомера будет неравномерной.

6.4 Приборы для определения состава и измерения физико-химических свойств

В металлургии широко используются приборы для определения состава исходных и вспомогательных материалов металлов и сплавов. Приборы газового анализа, приборы газовой жидкостной хроматографии, рН–метры, манометры, концентраторы.

Различают ручные лабораторные и автоматические газоанализаторы.

Ручные и лабораторные относятся к группам химических приборов. Ручные применяются для контроля качества горения при исследовании и испытании металлургических агрегатов и теплотехнических установок, а также для поверки автоматических газоанализаторов.

Автоматические газоанализаторы используются для систематического эксплуатационного контроля качества горения.

Современные газоанализаторы позволяют измерять процентное содержание дымовых газов. Автоматические газоанализаторы подразделяют на физические и химические.

Физические более совершенны, чем химические т.к. позволяют более совершенствовать схемы автоматического регулирования горения.

6.4.1 Ручные и лабораторные газоанализаторы. Основаны на измерении сокращения объема забранной пробы, газа после удаления анализируемого компонента при этом удаление компонента осуществляется одним из двух методов:

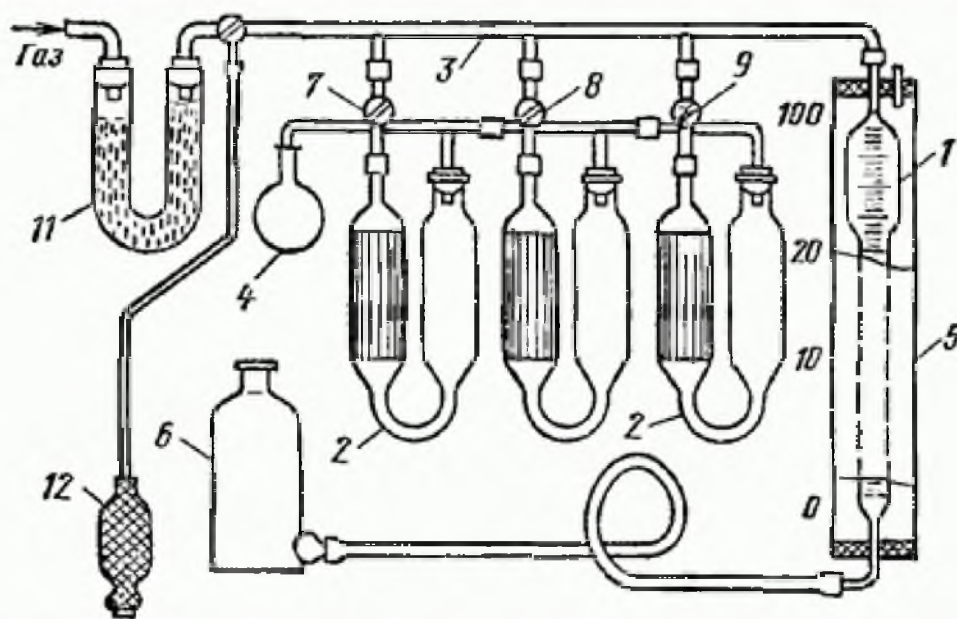
- метод избираемого поглощения (абсорбция), например, из забранной пробы газа СО поглощается едким калием;
- метод избирательного поглощения в сочетании с общим дожиганием горючих составляющих исследуемой пробы газа.

Последний метод позволяет анализировать состав газовой среды по семи компонентам (CO_2 , CO , O_2 , H_2 , N_2 , CH_4 , C_2H_2). При этом CO_2 и O_2 и тяжелые углеводороды определяются избирательным поглощением, а другие компоненты определяются дожиганием. Метод обеспечивает достаточную точность только при богатых газах. В бедных газах концентрация горючих компонентов составляет десятые доли процента, при этом точность метода недостаточна.

Лабораторный газовый анализатор состоит из следующих основных частей:

- измерительной бюретки;
- трех поглотительных сосудов;
- распределительной гребенки.

На открытые концы поглотительных сосудов обычно надевают резиновые мешочки, для предохранения реактива от соприкосновения с воздухом.



1 – бюретка; 2 – поглотительные сосуды; 3 – распределительная гребёнка; 4 – резиновый мешок; 5 – стеклянный цилиндр; 6 – уравнивательная склянка; 7, 8, 9, – стеклянные краны; 11 – фильтр; 12 – резиновая груша

Рисунок 6.9 – Схема газового анализатора

Для уменьшения влияния температуры окружающей среды бюретку помещают в стеклянный цилиндр, наполненный водой.

Работа на ручном газовом анализаторе состоит в следующем: с помощью резиновой груши продувают газоподводную линию и распирающую гребенку. Перед взятием пробы для анализатора уровень жидкого реактива должен быть доведен до контрольных отметок, уровень воды в бюретке следует довести до отметки 100. При заборе газа перекачивающаяся фляга медленно опускается и в бюретке создается разрежение.

Химические газоанализаторы – определяют объем газа, засасывающийся в сосуд (волюметр) для первичного измерения пробы газа, затем точно измеренный объем газа (100 см^3) пропускается через поглотительный сосуд с раствором KOH , который полностью поглощает CO . Непоглощенный остаток поступает в газоизмерительное устройство, и измеряется уменьшение объема, соответствующее поглощению газа.

Механические газоанализаторы – основаны на принципе сопоставления удельных весов воздуха и газовой смеси. Они менее точны, но отличаются непрерывностью и малым запаздыванием показаний.

Существенным недостатком механических газоанализаторов является невозможность анализа на CO .

Дымовые газы содержат CO_2 , CO , O_2 , N_2 , CH_4 . Присадка H_2 , приводит к уменьшению содержания CO_2 , т.к. удельный вес H_2 очень мал.

SO_2 – приводит к резкому увеличению содержания CO_2 , т.к. удельный вес очень велик. Поэтому перед прибором следует устанавливать фильтр для поглощения сернистого газа. Следует учитывать также, что на работу механических газоанализаторов влияет изменение атмосферного давления, относительной влажности и температуры среды, окружающей его.

Газ поступает через один штуцер, воздух через другой, а отсасывается через два других штуцера. Вверху замкнутого контура над перегородкой установлено крыло, связанной со шкалой проградуированной в единицах процентного содержания CO_2 . На оси крыла имеется пружина, которая закручивается тем сильнее, чем больше давление воздуха на крыло. Крыло – заслонка под действием разности давления столбов воздуха и газа будет отклоняться на некоторый угол, пропорционально содержанию в газах CO_2 . Незначительное отклонение стрелки в момент продувки воздухом устраняется корректором.

Электрические газоанализаторы – основаны на принципе измерения теплопроводности газовой смеси. Величина

теплопроводности газа значительно зависит от температуры. При температуре 325 °С и выше анализ газа по суммирующей теплопроводности невозможен. Для уменьшения влияния водяных паров, дымовые газы необходимо осушать перед поступлением их в прибор.

Наиболее простой электрической схемой является неуравновешенный мост. Плечи моста сделаны из тонкой платиновой проволоки (0,04 мм) и помещены в камеру, через которые протекают анализируемая газовая смесь. Другие плечи моста находятся в камерах заполненных воздухом. Платиновые плечи моста нагреваются до определенной температуры, проходящим по ним током постоянной величины, подводимой от источника питания к вершинам моста. Регулируемое сопротивление выполнено в виде реостата.

Магнитные газоанализаторы – основаны на различие магнитных свойств газов, при этом оценивается магнитная восприимчивость газа, которая однозначно определяется содержанием в газах O_2 .

Газоанализаторы на O_2 используют явления термомагнитной индукции. Конвекция воздушного потока происходит около нагретого тела, помещенного в неравномерное магнитное поле, окруженное парамагнитным газом. Частицы газа, около тела нагреваясь, теряют свои магнитные свойства и выталкиваются из магнитного поля более холодными частицами с образованием конвективного движения газа. Оно вызывает охлаждение нагретого тела.

При протекании через датчик без кислородного газа поток горизонтальной трубки отсутствует, анализирующего газа возникает поток, направленный вправо от магнита. В результате одна обмотка охлаждается, а другая нагревается, что приводит к нарушению равновесия измерительного моста.

Отбор проб газа необходимо осуществлять там, где процесс сгорания полностью закончен, газы должны двигаться сплошным потоком, не иметь обратных течений, завихрений и мертвых зон.

Лучшим местом для отбора газа является прямой вертикальный участок газохода, с нисходящим потоком газа. Мест установки должно быть максимально удалено от местных сопротивлений и мест, где возможен подсос воздуха.

Газозаборное устройство обычно состоит из газозаборной трубки, керамического фильтра, с защитным козырьком для очистки газов от механических примесей, крестовины с одноходовыми кранами и конденсационного сосуда.

Для удаления сернистого газа нужен фильтр с обезжиренной железной стружкой.

6.4.2 Приборы для подготовки проб твердых веществ для химического анализа. Крестовая ударная мельница осуществляет измельчение по принципу ударов отражения или срезания. Подлежащий измельчению материал попадает из воронки в измельчительную камеру, где захватывается ударным крестом и измельчается зубчатой вставкой.

Измельченный материал находится в камере пока, не достигнет соответствующей величины и пройдет вместе с воздухом через сито.

Ультроцентробежные мельницы предназначены мягких средне крупных материалов (боксит, гипс, известняк, сухая глина) Размер загруженного материала до 10 мм. Достигается измельчение, 02–3 мм. Детали мельницы выполнены из нержавеющей стали (А18НТ). Частота вращения 20000 об/мин.

Применяют для измельчения проб щековые дробилки, роторные ударные мельницы, лабораторные режущие мельницы, скоростные микромельницы, скоростные роторные мельницы, вибрационные дисковые мельницы.

Планетарные шаровые мельницы обеспечивают сверхтонкое измельчение до 1 микрона. Измельчению подвергается уголь, кокс, стекло, керамика, горные породы и минералы.

Центробежные шаровые мельницы, скоростные планетарные мельницы, также обеспечивают сухое или мокрое измельчение до 1 микрона. Особенно пригодна для подготовки проб рентгеновского и спектрального анализов, химических исследований. На мельнице измельчают золы, бокситы, руды, каменные породы, стекло, песок, шлак, уголь, кокс и т.д.

Вибрационные шаровые мельницы применяются для измельчения негигроскопичных веществ, проб для рентгеновских и флуоресцентных анализов, $CaBr$ окатышей, для инфракрасной спектроскопии.

Мельница ступка. Электромагнитная микромельница ступка приводится в вертикальное колебательное движение, расположенным под нею электромагнита. В ступке находится один крупный шарик диаметром 50–70 мм, которому через измельченный материал передаются колебания. Движение шарика сначала приводит к измельчению материала от 5 до 1 мм, затем ударное движение шарика переходит в истирающее колебательное. Мелкие частицы при этом поднимаются по стенке ступки вверх, а крупные подвергаются более интенсивному измельчению. Загружают до 10 грамм материала.

Для разделения проб используют следующие приборы:

- лабораторный делитель проб;
- электромагнитное прободелительное устройство;
- делитель проб с ротационной трубкой;
- делитель проб желобковый.

Для просеивания проб используют различные вибросита и виброгрохоты.

6.4.3 Оптические приборы. Фотоколориметры – позволяют определять концентрацию окрашенных соединений в растворах.

Метод основан на изменении интенсивности света, прошедшего через окрашенный раствор.

Спектрометры – позволяют изменить спектральные коэффициенты при пропускании твердых и жидких веществ. Этот метод анализа основан на измерении длины волны, которая соответствует максимальному поглощению данного окрашенного соединения.

Рефрактометры – основаны на измерении показателя преломления жидкого анализируемого вещества или его раствора.

Поляриметры – основаны на изменении вращения плоско линейно поляризационного света оптически активными веществами. Угол вращения зависит от природы вещества, толщины слоя, температуры и длины световой волны.

Угол вращения прямо пропорционален толщине слоя и концентрации раствора.

Пламенные фотометры – основаны на измерении излучения элементов в высокотемпературном пламени. Пламя горелки окрашивается в характерный для данного элемента цвет.

Атомно абсорбционные спектрометры. Анализ веществ (состав и концентрация) составляющих химических элементов определяется по характерным линиям спектропоглощения. Свободные атомы в возбужденном состоянии в зоне низкотемпературного пламени обладают способностью избирательно поглощать свет.

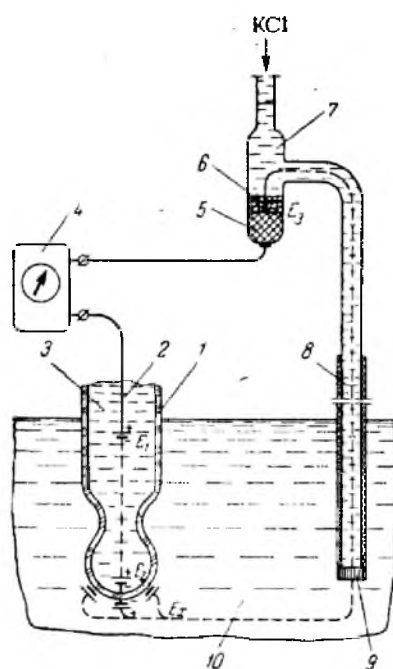
Приборы эмисионной спектроскопии исследуемую пробу испаряют или сжигают, затем подвергают воздействию высокой температуры или электрического разряда для перевода атома в возбужденное состояние, затем регистрируют спектр.

6.4.4 рН-метры, иономеры, ионизаторы. Для электрометрического определения рН применяют приборы со стеклянными электродами.

Определение pH со стеклянным электродом основано на измерении ЭДС элемента обратимого относительно ионов H^+ . Потенциал поверхности стекла зависит от pH раствора – это свойство стекла используется в стеклянных электродах – индикаторов pH.

pH метры позволяют определять также окислительно-восстановительные потенциалы.

На передней панели прибора имеется шкала, градуированная в рН и в мВ. Переключатели пределов измерения ручки потенциометров для настройки по буферным растворам. рН измеряется в широком диапазоне от 1 до 14.



1 – стеклянный электрод; 2 – хлор-серебряный контактный электрод; 3 – раствор соляной кислоты; 4 – потенциометр; 5 – ртуть; 6 – каломель; 7 – каломельный электрод; 8 – раствор хлористого калия; 9 – пористая перегородка; 10 – исследуемый раствор

Рисунок 6.10 – Схема работы рН-метра со стеклянным и каломельным насыщенным электродами

Иономеры – предназначены для определения активности одно или двух валентных анионов и катионов, водных растворов, а также величины окислительно восстановительных потенциалов ($K^+, NH_4^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Br^-, NO_3^-$) pX от -1 до $+19$.

Иономер состоит из преобразователя и поставки, на которой крепятся электроды и устанавливаются сосуды с исследуемыми растворами. Принципиальная схема включает: измерительную схему, три блока – преобразователь усилитель и блок стабилизации. К прибору полагается магнитная мешалка. Температура раствора $0-100^\circ C$.

Анализаторы – предназначены для определения K^+, Na^+, Cl^- , при одновременном присутствии данных элементов в растворах. Можно проводить до 60 определений в час. Для комплексных проб в растворах прибор имеет 200 пробирок по 2 мл.

7 Основные элементы измерительных и автоматических устройств

7.1 Классификация датчиков, основные требования к ним

Автоматизация различных технологических процессов, эффективное управление различными агрегатами, машинами, механизмами требуют многочисленных измерений разнообразных физических величин.

Датчики (в литературе часто называемые также измерительными преобразователями), или по-другому, сенсоры являются элементами многих систем автоматики - с их помощью получают информацию о параметрах контролируемой системы или устройства.

Датчик – это элемент измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства, преобразующий контролируемую величину (температуру, давление, частоту, силу света, электрическое напряжение, ток и т.д.) в сигнал, удобный для измерения, передачи, хранения, обработки, регистрации, а иногда и для воздействия им на управляемые процессы. Или проще, датчик – это устройство, преобразующее входное воздействие любой физической величины в сигнал, удобный для дальнейшего использования.

Используемые датчики весьма разнообразны и могут быть классифицированы по различным признакам:

В зависимости от вида входной (измеряемой) величины различают: датчики механических перемещений (линейных и угловых), пневматические, электрические, расходомеры, датчики скорости, ускорения, усилия, температуры, давления и др.

В настоящее время существует приблизительно следующее распределение доли измерений различных физических величин в промышленности: температура – 50 %, расход (массовый и объемный) – 15 %, давление – 10 %, уровень – 5 %, количество (масса, объем) – 5 %, время – 4 %, электрические и магнитные величины – менее 4%.

По виду выходной величины, в которую преобразуется входная величина, различают неэлектрические и электрические: датчики постоянного тока (ЭДС или напряжения), датчики амплитуды переменного тока (ЭДС или напряжения), датчики частоты переменного тока (ЭДС или напряжения), датчики сопротивления (активного, индуктивного или емкостного) и др.

Большинство датчиков являются электрическими. Это обусловлено следующими достоинствами электрических измерений:

- электрические величины удобно передавать на расстояние, причем передача осуществляется с высокой скоростью;
- электрические величины универсальны в том смысле, что любые другие величины могут быть преобразованы в электрические и наоборот;
- они точно преобразуются в цифровой код и позволяют достигнуть высокой точности, чувствительности и быстродействия средств измерений.

По принципу действия датчики можно разделить на два класса: генераторные и параметрические (датчики-модуляторы). Генераторные датчики осуществляют непосредственное преобразование входной величины в электрический сигнал.

Параметрические датчики входную величину преобразуют в изменение какого-либо электрического параметра (R , L или C) датчика.

По принципу действия датчики также можно разделить на омические, реостатные, фотоэлектрические (оптико-электронные), индуктивные, емкостные и другие.

Различают три класса датчиков:

- аналоговые датчики, т. е. датчики, вырабатывающие аналоговый сигнал, пропорционально изменению входной величины;
- цифровые датчики, генерирующие последовательность импульсов или двоичное слово;
- бинарные (двоичные) датчики, которые вырабатывают сигнал только двух уровней: "включено/выключено" (иначе говоря, 0 или 1); получили широкое распространение благодаря своей простоте.

Требования, предъявляемые к датчикам:

- однозначная зависимость выходной величины от входной;
- стабильность характеристик во времени;
- высокая чувствительность;
- малые размеры и масса;
- отсутствие обратного воздействия на контролируемый процесс и на контролируемый параметр;
- работа при различных условиях эксплуатации;
- различные варианты монтажа.

Контактные датчики – это простейший вид резисторных датчиков, которые преобразуют перемещение первичного элемента в скачкообразное изменение сопротивления электрической цепи. С помощью контактных датчиков измеряют и контролируют усилия, перемещения, температуру, размеры объектов, контролируют их форму и т. д. К контактным датчикам относятся путевые и концевые

выключатели, контактные термометры и так называемые электродные датчики, используемые в основном для измерения предельных уровней электропроводных жидкостей.

Контактные датчики могут работать как на постоянном, так и на переменном токе. В зависимости от пределов измерения контактные датчики могут быть одно предельными и многопредельными. Последние используют для измерения величин, изменяющихся в значительных пределах, при этом части резистора R , включенного в электрическую цепь, последовательно закорачиваются.

Недостаток контактных датчиков – сложность осуществления непрерывного контроля и ограниченный срок службы контактной системы. Но благодаря предельной простоте этих датчиков их широко применяют в системах автоматики.

Реостатные датчики представляют собой резистор с изменяющимся активным сопротивлением. Входной величиной датчика является перемещение контакта, а выходной – изменение его сопротивления. Подвижный контакт механически связан с объектом, перемещение (угловое или линейное) которого необходимо преобразовать.

Наибольшее распространение получила потенциометрическая схема включения реостатного датчика, в которой реостат включают по схеме делителя напряжения. Напомним, что делителем напряжения называют электротехническое устройство для деления постоянного или переменного напряжения на части; делитель напряжения позволяет снимать (использовать) только часть имеющегося напряжения посредством элементов электрической цепи, состоящей из резисторов, конденсаторов или катушек индуктивности. Переменный резистор, включаемый по схеме делителя напряжения, называют потенциометром.

Обычно реостатные датчики применяют в механических измерительных приборах для преобразования их показаний в электрические величины (ток или напряжение), например, в поплавковых измерителях уровня жидкостей, различных манометрах и т. п.

Тензорезисторы (тензометрические датчики) служат для измерения механических напряжений, небольших деформаций, вибрации. Действие тензорезисторов основано на тензоэффекте, заключающемся в изменении активного сопротивления проводниковых и полупроводниковых материалов под воздействием приложенных к ним усилий.

Термометрические датчики (терморезисторы) – сопротивление зависит от температуры. Терморезисторы в качестве датчиков используют двумя способами.

В первом случае температура терморезистора определяется окружающей средой. Ток, проходящий через терморезистор, настолько мал, что не вызывает нагрева терморезистора, при этом условии терморезистор используется как датчик температуры и часто называется «термометром сопротивления».

Во втором случае температура терморезистора определяется степенью нагрева постоянным по величине током и условиями охлаждения. В этом случае установившаяся температура определяется условиями теплоотдачи поверхности терморезистора (скоростью движения окружающей среды – газа или жидкости – относительно терморезистора, ее плотностью, вязкостью и температурой), поэтому терморезистор может быть использован как датчик скорости потока, теплопроводности окружающей среды, плотности газов и т. п. В датчиках такого рода происходит как бы двухступенчатое преобразование: измеряемая величина сначала преобразуется в изменение температуры терморезистора, которое затем преобразуется в изменение сопротивления.

Терморезисторы изготавливают как из чистых металлов, так и из полупроводников. Материал, из которого изготавливаются такие датчики, должен обладать высоким температурным коэффициентом сопротивления, по возможности линейной зависимостью сопротивления от температуры, хорошей воспроизводимостью свойств и инертностью к воздействиям окружающей среды. В наибольшей степени всем указанным свойствам удовлетворяет платина; в чуть меньшей – медь и никель.

По сравнению с металлическими терморезисторами более высокой чувствительностью обладают полупроводниковые терморезисторы (термисторы).

Индуктивные датчики служат для бесконтактного получения информации о перемещениях рабочих органов машин, механизмов, роботов и т.п. и преобразования этой информации в электрический сигнал.

Принцип действия индуктивного датчика основан на изменении индуктивности обмотки на магнитопроводе в зависимости от положения отдельных элементов магнитопровода (якоря, сердечника и др.). В таких датчиках линейное или угловое перемещение X (входная величина) преобразуется в изменение индуктивности (L)

датчика. Применяются для измерения угловых и линейных перемещений, деформаций, контроля размеров и т.д.

В простейшем случае индуктивный датчик представляет собой катушку индуктивности с магнитопроводом, подвижный элемент которого (якорь) перемещается под действием измеряемой величины.

Индуктивный датчик распознает и соответственно реагирует на все токопроводящие предметы. Индуктивный датчик является бесконтактным, не требует механического воздействия, работает бесконтактно за счет изменения электромагнитного поля.

Преимущества:

- нет механического износа, отсутствуют отказы, связанные с состоянием контактов;
- отсутствует дребезг контактов и ложные срабатывания;
- высокая частота переключений до 3000 Hz;
- устойчив к механическим воздействиям.

Недостатки: сравнительно малая чувствительность, зависимость индуктивного сопротивления от частоты питающего напряжения, значительное обратное воздействие датчика на измеряемую величину (за счет притяжения якоря к сердечнику).

7.2 Исполнительные механизмы

Исполнительные механизмы и устройства (ИМ, ИУ) промышленных систем автоматики входят в четвертую функциональную группу изделий ГСП в соответствии с ГОСТ 12997-84 – группу устройств использования командной информации в целях воздействия на процесс и для связи с оператором. Термины «исполнительное устройство» и «исполнительный механизм» иногда употребляются как синонимы. В дальнейшем будем преимущественно использовать термин «исполнительное устройство», понимая под этим силовое устройство, назначение которого состоит в изменении регулирующего воздействия на объект управления в соответствии с сигналом (командной информацией), подаваемым на его вход от командного устройства (регулятора, ручного дистанционного задатчика, УВМ).

К основным блокам исполнительного устройства относятся исполнительные механизмы (ИМ) и регулирующие органы (РО), которые конструктивно могут быть объединены в едином изделии или собираются из индивидуально выпускаемых блоков. В некоторых случаях исполнительное устройство может состоять из одного блока, выполняющего функции исполнительного механизма. Под исполнительным механизмом в общем случае подразумевают блок

исполнительного устройства, преобразующий входной управляющий сигнал от регулирующего устройства в сигнал, который через соответствующую связь осуществляет воздействие на регулирующий орган или непосредственно на объект регулирования. Регулирующим органом называют блок исполнительного устройства, с помощью которого производится регулирующее воздействие на объект регулирования.

Одной из основных характеристик исполнительного устройства является величина перестановочного усилия (момента), передаваемого выходным органом исполнительного механизма на регулирующий орган. Эта величина обычно указывается в паспорте и является основной при энергетическом расчете и выборе исполнительного устройства.

По виду энергии, создающей перестановочное усилие, исполнительные механизмы подразделяются на пневматические, гидравлические и электрические. Существуют исполнительные механизмы, в которых используются одновременно два вида энергии: электропневматические, электрогидравлические и пневмогидравлические. Наиболее распространенными из них являются электрогидравлические исполнительные механизмы. Вид энергии управляющего сигнала может отличаться от вида энергии, создающей перестановочное усилие.

В пневматических исполнительных механизмах перестановочное усилие создается за счет действия давления сжатого воздуха на мембрану, поршень или сильфон. В соответствии с этим пневматические подразделяются на мембранные, поршневые и сильфонные. Давление сжатого воздуха в пневматических исполнительных механизмах обычно не превышает 103 кПа.

В гидравлических исполнительных механизмах перестановочное усилие создается за счет действия давления жидкости на мембрану, поршень или лопасть. В соответствии с этим различают мембранные, поршневые и лопастные гидравлические исполнительные механизмы. Давление жидкости в них обычно находится в пределах (2,5–20) 103 кПа. Отдельный подкласс гидравлических исполнительных устройств составляют исполнительные устройства с гидромуфтами.

Пневматические и гидравлические мембранные и поршневые исполнительные механизмы подразделяются на пружинные и беспружинные. В пружинных исполнительных механизмах перестановочное усилие в одном направлении создается давлением в

рабочей полости исполнительного механизма, а в обратном направлении – силой упругости сжатой пружины.

В беспружинных исполнительных механизмах перестановочное усилие в обоих направлениях создается перепадом давления на рабочем органе механизма.

Электрические исполнительные механизмы по принципу действия подразделяются на электродвигательные и электромагнитные; по характеру движения выходного элемента – на прямоходные с поступательным движением выходного элемента, поворотные с вращательным движением до 360° (однооборотные) и с вращательным движением на угол более 360° (многооборотные).

7.3 Регулирующие органы

Различают дозирующие и дроссельные регулирующие органы. К дозирующим относятся такие устройства, которые изменяют расход вещества за счёт изменения производительности агрегатов (дозаторы, питатели, насосы, компрессоры, плужковые сбрасыватели и др.). Дроссельный регулирующий орган представляет собой переменное гидравлическое сопротивление, изменяющее расход вещества за счёт изменения своего проходного сечения; к ним относятся регулирующие клапаны, поворотные заслонки, шиберы и краны.

Регулирующий орган характеризуется многими параметрами, основными из которых являются пропускная способность и условная пропускная способность, условное и рабочее давление, перепад давления на регулирующем органе и условный проход.

Пропускной способностью $K_{и}$ называется расход жидкости с плотностью 1000 кг/м^3 , пропускаемой регулирующим органом при перепаде давления на нём 10^5 Па . – размерность – ($\text{м}^3/\text{ч}$).

Условной пропускной способностью $K_{у}$ называется номинальное значение пропускной способности регулирующего органа при максимальном (условном) ходе затвора, выраженное ($\text{м}^3/\text{ч}$). Она зависит от типа регулирующего органа и размера его условного прохода $DУ$.

Условное давление P_y – это наибольшее допустимое давление среды на регулирующем органе при нормальной температуре. Прочность металлов с повышением температуры понижается. Поэтому для арматуры и соединительных частей предусматривается также максимальное рабочее давление.

Максимальное рабочее давление – это наибольшее установленное давление среды на регулирующем органе при фактической

температуре. Разрешается превышение фактического рабочего давления на 5 % сверх установленного для заданной температуры.

Перепад давления на регулирующем органе определяет усилия, на которые рассчитывают исполнительный механизм, а также износ дроссельных поверхностей. Для многих видов исполнительных устройств, в которых затвор не разгружен от статического и динамического воздействий среды, предельно допустимый перепад давления устанавливают в зависимости от мощности исполнительного механизма.

Условным проходом $ДУ$ в регулирующем органе называется номинальный диаметр прохода в присоединительных патрубках. Стандартные размеры условных проходов не распространяются на размеры проходов внутри корпуса.

Кроме приведённых параметров регулирующих органов, имеются и другие, которые учитывают при их выборе в зависимости от конкретных условий применения. Это – диапазон регулирования, конструктивная характеристика, рабочая характеристика, перестановочное усилие.

Диапазоном регулирования называется изменение расхода вещества или энергии при перемещении регулирующего органа из одного крайнего положения в другое. Для обеспечения управления процессом необходимо, чтобы диапазон регулирующего органа превышал те изменения расхода вещества или энергии, которые могут быть при переходе от минимальной нагрузке агрегата к максимальной. Например, если металлургическая печь имеет расход топлива, изменяющийся от 80 до 150 т/ч, то регулирующий топливоподачу орган должен иметь возможность изменять подачу топлива более 150 и менее 80 т/ч. В противном случае при нагрузке печи 150 т/ч нельзя будет при необходимости обеспечивать подъём температуры в печи, а при нагрузке 80 т/ч её понижение.

Конструктивная характеристика выражает зависимость относительной величины проходимого сечения F/F_{max} от величины относительного перемещения регулирующего органа h/h_{max} :

$$\frac{F}{F_{max}} = \varphi_1 \left(\frac{h}{h_{max}} \right). \quad (7.1)$$

Конструктивная характеристика регулирующих органов определяется только их размерами и геометрической формой.

Расходная характеристика выражает зависимость величины относительного расхода вещества (или энергии) Q/Q_{max} от относительного перемещения регулирующего органа h/h_{max} :

$$\frac{Q}{Q_{max}} = \varphi_2 \left(\frac{h}{h_{max}} \right). \quad (7.2)$$

Расход вещества определяется не только конструктивной характеристикой регулирующего органа, он также зависит от свойств вещества (вязкости, плотности и т.п.) и от условий, в которых работает регулирующий орган (перепада давления на нём общего напора в системе, сопротивления всей системы и т.п.). При постоянном перепаде давления на регулирующем органе расходная характеристика соответствует конструктивной и часто называется идеальной.

В заводских условиях перепад давления на регулирующем органе обычно не постоянен, поэтому расходная характеристика отличается от конструктивной и называется рабочей или фактической.

Конструктивные характеристики позволяют сравнивать различные типы регулирующих органов независимо от мест их установки. Рабочие характеристики, устанавливающие зависимость расхода вещества от положения регулирующего органа, служат для оценки работы этого органа в конкретных заводских условиях.

Различные типы регулирующих органов имеют разнообразные характеристики, определяемые математическим видом функциональной зависимости φ_1 и φ_2 . Встречаются регулирующие органы имеющие линейные, параболические и логарифмические характеристики, выражающиеся соответственно уравнениями прямой, параболы и экспоненты.

Для систем регулирования, звенья которых имеют линейные характеристики, желательно, чтобы характеристика регулирующего органа была линейной, то есть чтобы регулируемый расход вещества или энергии изменялся пропорционально перемещению регулирующего органа.

Для систем регулирования, имеющих звенья с нелинейными характеристиками, бывает желательно иметь нелинейную характеристику регулирующего органа, причём такую, которая компенсировала бы нелинейность остальных звеньев и обеспечивала, тем самым, постоянство оптимальных параметров настройки регулятора на различных режимах.

Во всех случаях регулирования предпочитают применять регулирующие органы с плавной характеристикой, то есть не имеющих резких изменений крутизны.

Особенно неблагоприятно сказывается на качестве регулирования неоднозначность характеристики, когда при одном и

том же положении регулирующего органа могут быть различные расходы вещества или энергии.

При выборе типа регулирующего органа следует учитывать также величину перестановочного усилия, необходимого для перемещения регулирующего органа, и мощность, потребляемую системой регулирования.

Очевидно, что наиболее рационально ориентироваться на регулирующие органы с минимальными величинами перестановочного усилия и потребляемой мощности. Конструкция регулирующего органа должна обеспечивать удобное соединение его с исполнительным механизмом и удовлетворять требованиям максимальной надёжности. Выбор материалов, из которых изготовлен регулирующий орган, определяется давлением и температурой, при которых он будет работать, а также коррозионными и абразивными свойствами регулируемого вещества.

При проектировании АСР, кроме выбора типа регулирующего органа, производят расчёт его характеристик: поверочный – для уже выбранного органа и конструктивный – для выбора размеров и конструкции органа.

Регулирующие клапаны и краны служат для изменения расхода жидкости, пара или газа, протекающих по трубопроводам, и являются распространённым видом регулирующих органов. Их изготавливают из чугуна, обычной или легированной стали и сплавов цветных металлов.

На рисунке 7.1 приведена схема односедельного клапана.

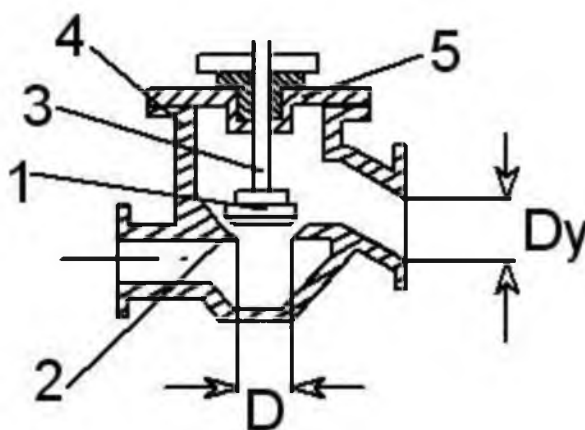


Рисунок 7.1 – Тарельчатый клапан

Расход вещества регулируют изменением проходного сечения между тарелкой (плунжером) 1 клапана и его седлом 2. Поверхность,

по которой соприкасаются плунжер и седло в положении полного закрытия, называется опорной поверхностью. Шток 3 плунжера выведен из корпуса 4 через сальник 5 и перемещается исполнительным механизмом регулятора.

Внутренний диаметр D_u сечения в месте присоединения корпуса клапана к трубопроводу стандартизирован и называется условным проходом клапана. Обычно величину условного прохода клапана выбирают равной внутреннему диаметру трубопровода, на котором он должен быть установлен. Односедельные клапаны применяют только для трубопроводов небольшого диаметра, так как они испытывают выталкивающее усилие от перепада давления вещества, возрастающее с увеличением площади клапана. Для закрытия односедельных клапанов исполнительный механизм должен иметь повышенную мощность. Этот недостаток отсутствует в устройствах с двухседельным клапаном, у которых усилия от перепада давления вещества действуют на две тарелки и взаимно уравниваются.

Регулировочный кран для мазута и других вязких жидкостей имеет, например, такую конструкцию. Корпус крана состоит из двух половин, между которыми зажата стальная диафрагма. В этой диафрагме имеется отверстие, которое перекрывается профилированным диском, прижимающимся к плоскости диафрагмы и поворачивающимся совместно с рукояткой крана. Величина перекрытия проходного отверстия в диафрагме зависит от угла поворота рукоятки.

Конструктивные и расходные характеристики клапанов определяются формой и размерами плунжера и седла. На металлургических заводах применяют тарельчатые, конические и цилиндрические (золотниковые клапаны).

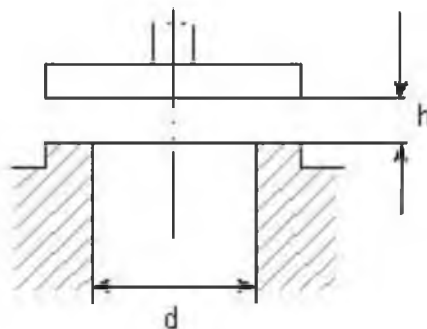


Рисунок 7.2 – Тарельчатый клапан с плоской опорной поверхностью

Он имеет проходное сечение F , представляющее собой цилиндрическую поверхность диаметром D и высотой h .

$$F = \pi D h . \quad (7.3)$$

Полное открытие клапана соответствует такому положению тарелки, когда проходное сечение становится равным проходному сечению седла.

$$F_{max} = \frac{\pi D^2}{4} . \quad (7.4)$$

Следовательно, конструктивная характеристика такого клапана будет линейна:

$$f = \frac{F}{F_{max}} = \frac{4h}{D} . \quad (7.5)$$

Максимальный ход плунжера определяется из условия $f = 1$

$$h_{max} = \frac{1}{4} D . \quad (7.6)$$

Подъём плунжера выше h_{max} уже не приводит к заметному увеличению расхода вещества, так как основное дросселирование потока при этих условиях происходит в сечении седла.

Тарельчатый клапан с плоской опорной поверхностью редко применяются для регулирования, так как при больших скоростях протекания вещества через клапан кромки тарелки быстро истираются, что приводит к изменению характеристики клапана.

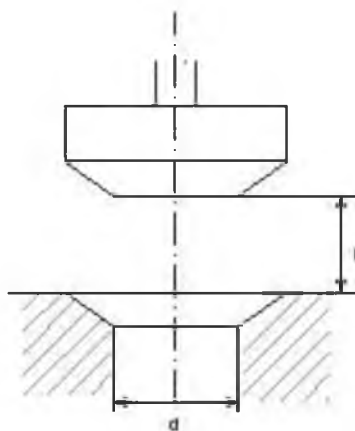


Рисунок 7.3 – Конический тарельчатый клапан

Используется для регулирования больших расходов. Проходным его сечением является кольцевой зазор между внутренней кромкой плунжера и опорной поверхностью седла.

Конструктивная характеристика клапана при угле конуса $\delta = 90$ градусов нелинейная и имеет выражение:

$$f = 1,42 \left[\frac{2h}{D} + \left(\frac{h}{D} \right)^2 \right]. \quad (7.7)$$

Максимальный ход плунжера при $f = 1$, $h_{\max} = 0,306D$.

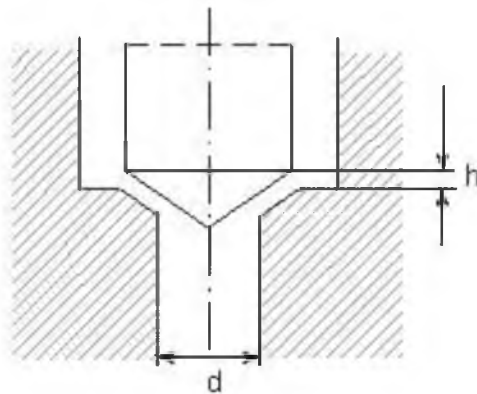


Рисунок 7.4 – Игольчатый клапан

Их применяют для более тонкой регулировки при сравнительно малых расходах вещества. Проходным сечением клапана служит коническое отверстие между внутренней кромкой седла и конической поверхностью плунжера.

Конструктивная характеристика игольчатого клапана при $\delta = 30$ градусов нелинейная и имеет выражение

$$f = 0,52 \left[\frac{h}{D} - 0,13 \left(\frac{h}{D} \right)^2 \right]. \quad (7.8)$$

Максимальный ход плунжера при $f = 1$, $h_{\max} = 3,78D$.

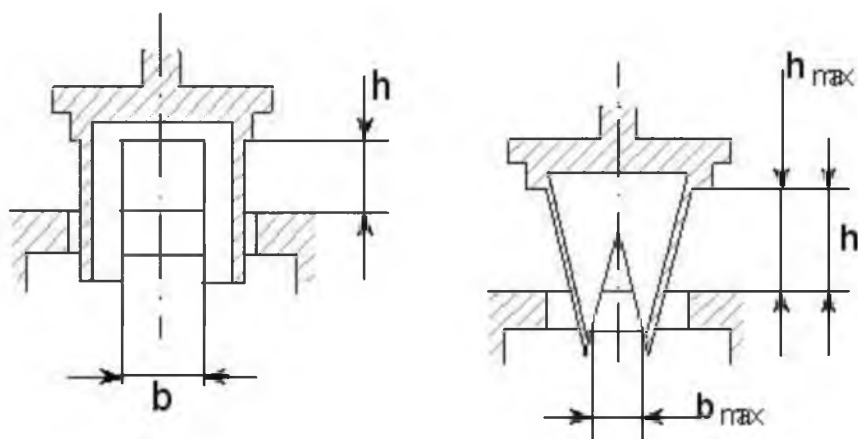


Рисунок 7.5 – Золотниковые клапаны

Представляют собой полые цилиндры с прорезанными в их боковых стенках окнами различной формы – прямоугольной, треугольной, комбинированной. Величина проходного сечения определяется суммарной площадью той части окон, которая выступает над кромкой седла.

Для золотниковых клапанов с прямоугольными окнами конструктивная характеристика линейна:

$$f = 1,27 \left(\frac{n \cdot b \cdot h}{D_1^2} \right), \quad (7.9)$$

где b – ширина окна;

n – число окон;

D_1 – внутренний диаметр цилиндра.

Более употребителен золотниковый клапан с треугольными окнами, имеющий параболическую конструктивную характеристику:

$$f = 0,68n \frac{b_{\max} \cdot h^2}{h_{\max} \cdot D_1^2}, \quad (7.9)$$

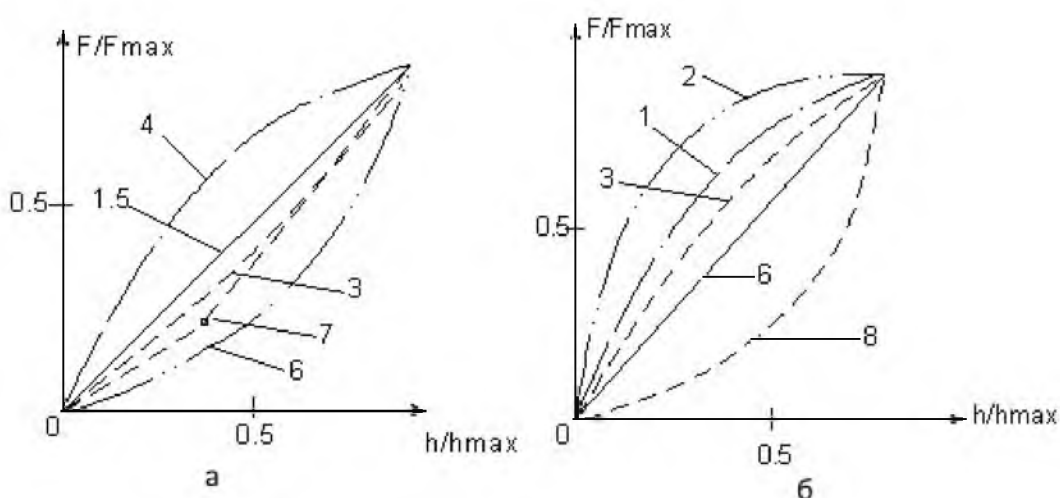
где b_{\max} – ширина основания выступающей части окна при полном подъёме клапана $h = h_{\max}$.

Для золотниковых клапанов с комбинированными окнами, составленными из треугольника и прямоугольника, конструктивная

характеристика состоит из двух частей: параболической для треугольной части окон и линейной для прямоугольной, описываемых соответствующими уравнениями, приведёнными выше.

Кроме рассмотренных типов клапанов, в практике регулирования применяют также клапаны со специальными профилями, конструктивные характеристики которых выражаются более сложными и заранее заданными уравнениями.

Конструктивные и рабочие характеристики описанных клапанов и кранов приведены на рисунке. Рассмотрение этих характеристик позволяет сделать ряд важных выводов.



а – конструктивные характеристики; б – рабочие характеристики; 1 – плоский тарельчатый клапан при большом относительном сопротивлении; 2 – то же, при малом относительном сопротивлении; 3 – конический тарельчатый клапан при $\delta = 90$ градусов и большом относительном сопротивлении; 4 – игольчатый клапан, $\delta = 30$ градусов; 5 – золотниковый клапан с прямоугольными окнами; 6 – золотниковый клапан с треугольными окнами; 7 – золотниковый клапан с комбинированными окнами; 8 – регулировочный кран с диафрагмой переменного сечения

Рисунок 7.6 – Характеристики клапанов и кранов

Линейные конструктивные характеристики имеют только два типа клапанов – плоский тарельчатый и золотниковый клапан с прямоугольными окнами. Рабочие характеристики этих клапанов не линейны и имеют тем большую кривизну, чем меньше сопротивление клапана по отношению к общему сопротивлению системы. Золотниковый клапан с комбинированными окнами (7) до точки

имеет параболическую характеристику, а после неё линейную. Точка соответствует переходу треугольного сечения окон в прямоугольное.

Регулировочный кран для мазута имеет логарифмическую идеальную характеристику (8).

Единственный тип клапана, имеющий линейную рабочую характеристику – золотниковый клапан с треугольными окнами.

Для всех типов клапанов кривизна рабочих характеристик уменьшается при увеличении относительно их сопротивления.

В шиберах затвор, выполненный в виде полотна 1, перемещается перпендикулярно потоку Q . Шиберы широко применяют для регулирования расхода воздуха и газов при небольших статических давлениях (до 10 кПа). Их устанавливают на трубопроводах, коробах и каналах любой формы сечения, но чаще всего их применяют на трубопроводах и каналах прямоугольного 2 и круглого 3 сечений. Шиберы, устанавливаемые в прямоугольных каналах, имеют обычно линейную конструктивную характеристику, а на трубопроводах круглого сечения – нелинейную.

Шиберы изготовляют из различных материалов в зависимости от условий работы. Для работы на инертных газах с температурой до 300°C шиберы изготавливают из листовой стали, с температурой выше 300°C – из чугуна. Для регулирования расходов агрессивных газов применяют шиберы из легированных сталей со специальным покрытием.

При расчёте шиберов кроме пропускной характеристики определяют также усилие F , необходимое для перемещения дроссельного органа. Наибольшее усилие для перемещения шибера требуется в положении минимального открытия:

$$F = K \cdot \Delta P \cdot S + G, \quad (7.10)$$

где ΔP – перепад давления на шиберы;

S – площадь подвижной части шиберы, на которую действует перепад давления;

G – масса подвижной части;

K – коэффициент трения.

Мощность привода выбирают с большим запасом, так как коэффициент трения значительно возрастает из-за загрязнения опорной поверхности в процессе эксплуатации.

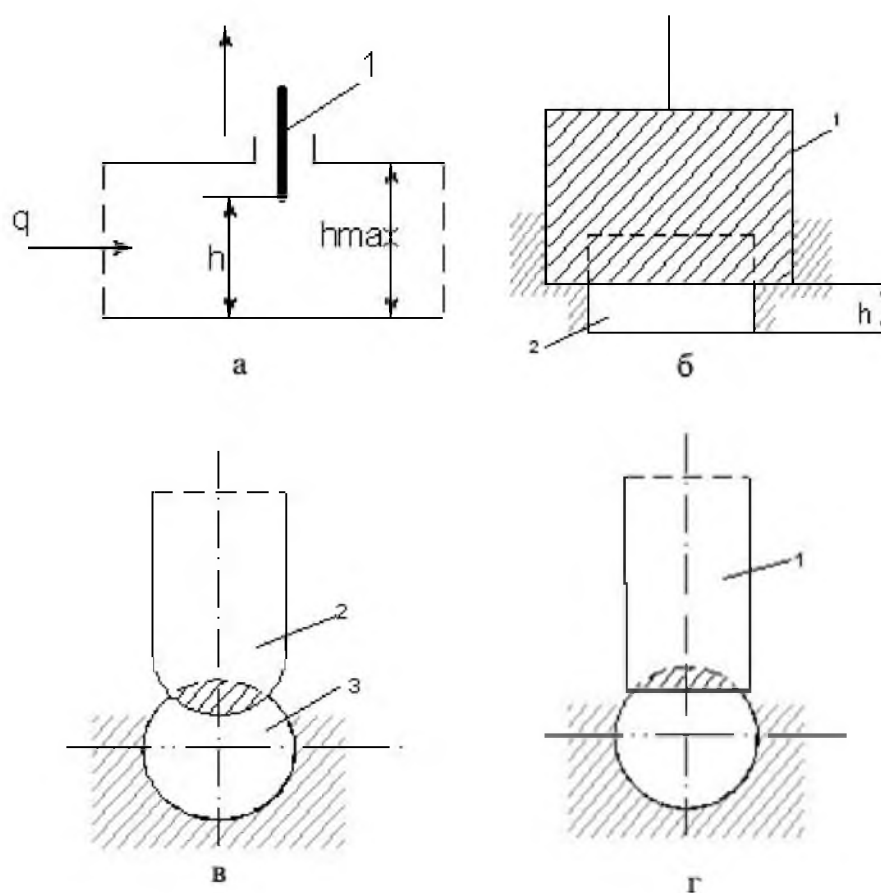


Рисунок 7.7 – Шиберы

Поворотные заслонки могут применяться на трубопроводах как круглого, так и прямоугольного сечения для регулирования расходов воздуха и газов при небольших статических давлениях. В некоторых случаях заслонки применяют для регулирования расходов жидкости и пара. Изменение проходного сечения заслонки осуществляется путём её вращения вокруг оси, расположенной перпендикулярно направленной потока.

Поворотные заслонки имеют ряд преимуществ перед шиберами и другими типами регулирующих органов. Так, в поворотных заслонках затвор в значительной мере разгружен, так как силы, создаваемые давлением среды на обе его половины, частично уравниваются. Поэтому для поворота затвора нужен исполнительный механизм относительно небольшой мощности. Кроме того, поворотные заслонки выгодно отличаются от других регулирующих органов простотой конструкции, небольшими габаритами и массой.

По конструкции поворотные заслонки могут быть с одним затвором (однолопастные) или несколькими (многолопастные),

безупорными и упорными. В безупорных заслонках затвор имеет форму окружности, причём его диаметр несколько меньше диаметра прохода в корпусе, поэтому проход полностью не закрывается. Безупорные заслонки являются только регулирующими.

В упорных заслонках затвор имеет эллиптическую форму и закрывает проход с меньшими зазорами.

Конструктивная характеристика идеальных (абсолютно тонкой и плотной) поворотной заслонки нелинейна и имеет выражение:

$$f = 1 - \cos \varphi, \quad (7.11)$$

где φ – угол открытия заслонки.

На реальную конструктивную характеристику поворотной заслонки влияет кольцевой зазор и частичное дросселирование потока осью (ступицей–диаметром d_c) заслонки. Вследствие этого максимальное проходное сечение реальная заслонка имеет при значении $\varphi < 90$ градусов.

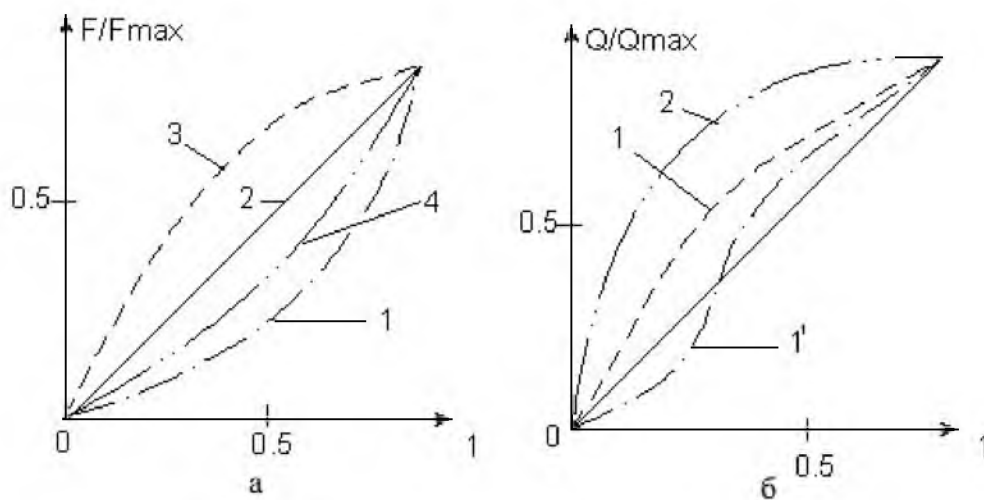
Конструктивная характеристика шиберов с прямоугольным торцом линейна и выражается уравнением:

$$f = h/H, \quad (7.12)$$

где h – высота проходного сечения под шибером;
 H – максимальный вертикальный ход шибера.

Все характеристики нелинейные за исключением конструктивной характеристики прямоугольной задвижки, для которой, однако, рабочая характеристика неблагоприятна. Для улучшения рабочей характеристики задвижки применяют закругление или косой срез её торца.

Также, как и для клапанов, при увеличении относительного сопротивления поворотных заслонок их рабочие характеристики уменьшают свою кривизну и приближаются к линейным. По этой причине желательно выбирать сечения трубопроводов и заслонок такими, чтобы для полного пропуска вещества оказалось достаточным открытие заслонки не более чем на 60 – 70 %.



а – конструктивные характеристики; б – рабочие характеристики;
 1 – поворотная однолопастная заслонка при малом относительном сопротивлении; 1' – то же, при большом относительном сопротивлении; 2 – задвижка прямоугольная; 3 – задвижка полукруглая; 4 – задвижка прямоугольная со скосом

Рисунок 7.8 – Характеристики шиберов и заслонок

Литература

- 1 Беленький А. М. Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы: учебник для техникумов / А. М. Беленький, В. Ф. Бердышев, О. М. Блинов, В. А. Морозов. – М. : Metallurgy, 1981. – 264 с.
- 2 Богдан К. С. Средства и системы автоматизации литейного производства / К. С. Богдан, В. Н. Горбенко, В. М. Денисенко, Ю. П. Каширин. – М. : Машиностроение, 1981. – 272 с.
- 3 Глишков Г. М. Теоретические основы автоматического управления металлургическими процессами: учебное пособие для вузов / Г. М. Глишков, М. Д. Климовицкий. – М. : Metallurgy, 1985. – 304 с.
- 4 Глишков Г. М. Проектирование систем контроля и автоматического регулирования металлургических процессов: учебное пособие для вузов / Г. М. Глишков, В. А. Маковский, С. Л. Лотман, М. Р. Шапировский. – М. : Metallurgy, 1986. – 352 с.
- 5 Диомидовский Д. А. Контроль и автоматизация процессов в цветной металлургии. Часть 2: Автоматизация металлургических процессов. – М. : Metallurgy, 1967. – 403 с.
- 6 Кукуй Д. М. Автоматизация литейного производства: учебное пособие / Д. М. Кукуй, В. Ф. Одинокко. – Минск: Новое знание, 2008. – 240 с.
- 7 Новиков В. П. Автоматизация литейного производства. Часть 1: Управление литейными процессами: учебное пособие. – М. : МГИУ, 2008. – 292 с.

Содержание

	Введение	3
1	Особенности металлургических процессов как объектов автоматического управления и регулирования	5
2	Основы автоматического регулирования	11
3	Основные понятия и определения о схемах автоматизации, методы построения схем автоматизации	15
4	Общие сведения о системах измерения и контрольно-измерительных приборах, методы, технические средства и системы для измерения температур	21
5	Методы и приборы для измерения давления и разрежения	35
6	Методы и приборы для измерения уровня и расхода, влажности, состава и качества веществ	44
7	Основные элементы измерительных и автоматических устройств	68
	Литература	87