

Министерство образования Российской Федерации
Алтайский государственный технический университет
Им. И.И.Ползунова

Бельдеева Л.Н.

Технологические измерения на предприятиях
химической промышленности

Учебное пособие

Часть 2

Барнаул 2002

Бельдеева Л.Н. Технологические измерения на предприятиях химической промышленности. Ч. 2 /Алт. гос. техн. ун-т им. И.И.Ползунова.- Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2002.- 76 с

В настоящем пособии к курсу "Системы управления химико-технологическими процессами" изложены основные сведения об измерениях, системах автоматического контроля технологических параметров на предприятиях химической промышленности, технике средств измерений, Государственной системе приборов. Рассмотрены вопросы сбора и обработки информации, приведены принципы действия и конструкции контрольно-измерительных приборов, широко применяемых в системах автоматического контроля и управления технологическими процессами химической промышленности.

Пособие предназначено для студентов химико-технологического факультета всех форм обучения.

Внутренний рецензент: профессор кафедры "Автомобили и тракторы" Алт ГТУ В.А. Дружинин, к.т.н.

Внешний рецензент: директор научно-производственного предприятия "Интербизнеспроект" В.В.Иванов

1. ИЗМЕРЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА И РАСХОДА МАТЕРИАЛОВ

В химических производствах имеется настоятельная необходимость точного отмеривания (дозирования) или непрерывной подачи определенной массы или определения объема жидких, газообразных, парообразных и твердых веществ, в единицу времени или за некоторый промежуток времени.

1.1 Счетчики количества жидкостей и газов

По принципу измерения все счетчики жидкостей делятся на *скоростные и объемные*.

Скоростные счетчики устроены таким образом, что жидкость, протекающая через камеру прибора, приводит во вращение вертушку или крыльчатку, угловая скорость которой пропорциональна скорости потока, а следовательно, и расходу.

На рис. 1 показана конструкция скоростного счетчика с винтовой вертушкой. Счетчик служит для измерения больших объемов воды и рассчитан на номинальные расходы от 20 до 1250 м³/час.

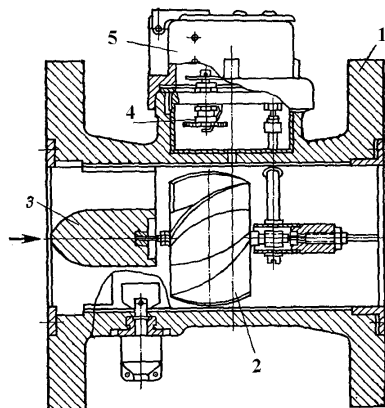


Рис. 1.1. Конструкция скоростного счетчика с винтовой вертушкой

Поток жидкости, поступая в прибор, выравнивается струевыпрямителем 3 и попадает на лопасти вертушки 2, которая выполнена в виде многозаходного винта с большим шагом лопасти. Вращение вертушки через червячную пару и передаточный механизм 4 передается счетному устройству 5.

Различные виды скоростных счетчиков отличаются конструкцией вращающейся части (винт, горизонтальная и вертикальная вертушки, крыльчатки) и вида распределения воды (одноструйные и многоструйные).

Объемные счетчики. Поступающая в прибор жидкость (или газ) измеряется отдельными, равными по объему дозами, которые затем суммируются.

Жидкостный объемный счетчик с овальными шестернями. Действие такого счетчика основано на вытеснении определенных объемов жидкости из измерительной камеры прибора овальными шестернями, находящимися в зубчатом зацеплении и вращающимися под действием разности давлений во входном и выходном патрубках прибора.

Схема такого счетчика приведена на рис. 1.2.

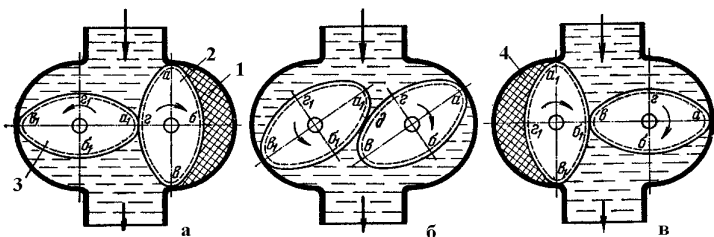


Рис. 1.2. Схема объемного жидкостного счетчика с овальными шестернями

В первом исходном положении (рис. 1.2,а) поверхность a_2 шестерни 2 находится под давлением поступающей жидкости, а равная ей поверхность b_2 — под давлением выходящей жидкости, меньшим входного. Эта разность давлений создает крутящий момент, вращающий шестерню 2 по часовой стрелке, причем жидкость из полости 1 и полости, расположенной под шестерней 3, вытесняется в выходной патрубок. Крутящий момент шестерни 3 равен нулю, так как поверхности a_1c_1 и c_1b_1 равны и находятся под одинаковым входным давлением, а равные поверхности a_1b_1 и b_1c_1 — под одинаковым выходным давлением. Следовательно, шестерня 2 — ведущая, шестерня 3 — ведомая.

В промежуточном положении (рис. 1.2,б) шестерня 2 вращается в прежнем направлении, но ее крутящий момент будет меньше, чем в положении а, из-за противодействующего момента,

созданного давлением на поверхность ∂g (∂ – точка контакта шестерен). Поверхность $\partial a_1 b_1$ шестерни 3 находится под давлением входящей, а поверхность $b_1 b_2 \partial$ – под давлением выходящей жидкости. Шестерня испытывает крутящий момент, направленный против часовой стрелки. В этом положении обе шестерни – ведущие.

Во втором исходном положении (рис. 1.2,в) шестерня 3 находится под действием наибольшего крутящего момента и является ведущей, в то время как крутящий момент шестерни 2 равен нулю, она – ведомая.

Однако суммарный крутящий момент обеих шестерен для любого положения остается постоянным.

За время полного оборота шестерен (один цикл работы счетчика) полости 1 и 4 два раза заполняются и два раза опорожняются. Объем четырех доз жидкости, вытесненной из этих полостей, и составляет измерительный объем счетчика.

Счетчики с овальными шестернями могут применяться для измерения количества почти всех жидкостей, в том числе и вязких, номинальные расходы от 1,7 до 60 м³/час.

Кроме рассмотренных, для измерения количества жидкости широко применяются объемные счетчики с цилиндрическим поршнем, принцип действия которых основан на вытеснении из измерительной камеры (цилиндра) определенных объемов жидкости цилиндрическим поршнем, который перемещается за счет разности давлений измеряемой жидкости до и после счетчика.

Для измерения количества жидкостей применяются как скоростные, так и объемные счетчики, а для измерения количеств газа – только объемные.

1.2. Расходомеры жидкостей, газов и паров

Приборы, измеряющие расход, называются расходомерами. Они могут быть снабжены приспособлением - интегратором, позволяющим суммировать мгновенные расходы. В этом случае расходомер позволяет измерять количество вещества за любой промежуток времени.

В производстве чаще всего применяются следующие виды расходомеров:

- 1) расходомеры переменного перепада давления, измеряющие расход путем дросселирования потока сужающим устройством постоянного сечения, устанавливаемым в трубопроводе;
- 2) расходомеры переменного уровня, измеряющие высоту уровня жидкости, протекающей через сосуд;
- 3) расходомеры постоянного перепада давления, измеряющие расход путем дросселирования потока сужающим устройством переменного сечения;
- 4) электромагнитные (индукционные) расходомеры.

Расходомеры переменного перепада давления

Наиболее распространенным и изученным методом измерения расхода жидкости, пара и газа является метод переменного перепада давления. Измерение расхода этим методом сводится к определению перепада давления при прохождении потока через сужающее устройство.

В измерительной технике сужающими устройствами служат нормальные диафрагмы и сопла.

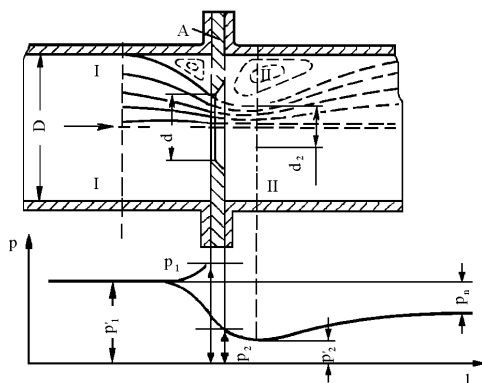


Рис 1.3. Характер потока и график распределения статического давления p по длине трубопровода I при установке диафрагмы в трубопроводе.

Диафрагма (рис. 1.3) представляет собой тонкий диск A, установленный в трубопроводе так, чтобы его отверстие диаметром d было концентрично внутренним стенкам трубопровода. Сужение потока начинается до диафрагмы, затем на некотором расстоянии за ней благодаря действию сил инерции поток сужается до минимального сечения d_2 , а далее постепенно расширяется до полного сечения трубопровода (внутренний диаметр D). Перед диафрагмой и за ней

образуются зоны с вихревым движением, причем зона вихрей за диафрагмой больше, чем перед ней.

Давление струи около стенки трубопровода несколько возрастает из-за подпора перед диафрагмой и понижается до минимума за диафрагмой в наиболее узком сечении струи II-II. Далее по мере расширения струи давление потока около стенки снова повышается, но не достигает прежнего значения. Остаточная потеря части давления p_n объясняется главным образом потерями энергии на трение и завихрения. Разность давлений $p_1 - p_2$ является перепадом, зависящим от расхода среды, протекающей через трубопровод.

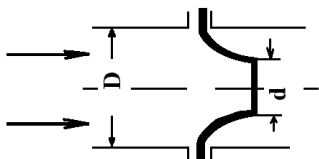


Рис. 1.4. Нормальное сопло

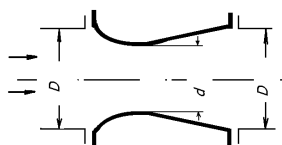


Рис. 1.5. Сопло Вентури

Нормальное сопло (рис. 1.4) представляет собой короткую воронкообразную насадку, вставленную концентрично в трубопровод. Сопло Вентури (рис. 1.5) состоит из профильной входной, цилиндрической средней и конической выходной частей. Профильная часть сопла Вентури выполняется такой же, как у нормального сопла.

Характер потока и распределение давления одинаково во всех типах сужающих устройств. Вследствие того, что струя, протекающая через сопло, почти не отрывается от его профилированной части, потери на завихрения возникают в основном за соплом, поэтому остаточная потеря давления по сравнению с диафрагмой в нем меньше.

Еще меньше потери давления в сопле Вентури, профиль которого близок к сечению потока, проходящего через сужение.

При измерении расхода по методу переменного перепада давления протекающее вещество должно целиком заполнять все сечение трубопровода и сужающего устройства; поток в трубопроводе должен быть практически установившимся, фазовое состояние вещества не должно изменяться при прохождении через сужающее устройство (т. е. жидкость не должна испаряться, пар должен оставаться перегретым и т. п.).

Расход Q ($\text{м}^3/\text{с}$) связан с перепадом давления Δp соотношением:

$$Q = bS_0 \sqrt{\Delta P * 2g / \gamma},$$

где

b – коэффициент расхода (приводится в справочниках); S_0 – сечение отверстия диафрагмы, м^2 ;

g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$;

γ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$;

Стандартная диафрагма – наиболее простое и распространенное сужающее устройство.

Диафрагму можно изготавливать из любых материалов, при выборе которых следует учитывать свойства измеряемой среды. Разъедание острой кромки диафрагмы резко изменяет коэффициент расхода, измерения становятся неточными. Поэтому для рабочей части диафрагмы необходимо выбирать материал, химически устойчивый к среде и стойкий против механического износа.

Нормальные сопла особенно удобны при измерении расхода газов и перегретого пара, а также при измерении расхода пара высокого давления в трубопроводах диаметром $D \leq 200$ мм. По сравнению с диафрагмами они менее чувствительны к коррозии, загрязнениям и обеспечивают несколько большую точность измерения.

Сопла Вентури могут применяться без индивидуальной градуировки для диаметров трубопроводов $D \geq 50$ мм.

Для измерения перепада давления на сужающем устройстве применяют дифференциальные манометры различного устройства с непосредственным показанием или записью расхода, либо с передачей измеренной величины на вторичный показывающий, суммирующий, самопишущий или регулирующий прибор.

Связь между дифманометром-расходомером и сужающим устройством осуществляется двумя соединительными трубками. Обычно применяются медные, алюминиевые, стальные и пластмассовые (из винипласта или полиэтилена) трубки. В трубках не должно быть горизонтальных участков, где могут накапливаться, воздух, газы или влага. Поэтому трубки прокладываются с уклоном.

Существенное значение имеют диаметр и длина соединительных трубок. При малых диаметрах трубки легко засоряются, в них образуются водяные пробки или воздушные пузыри. Вследствие повышенного сопротивления в трубках увеличивается время запаздывания дифманометра. Слишком большие диаметры нежелательны из-за громоздкости проводки и увеличения расхода металла, а в случае измерения расхода газа также из-за вредного

влияния объема на время запаздывания дифманометра. Рекомендуется применять трубки с внутренним диаметром 10-12 мм, но не менее 8 мм.

Длина соединительных трубок зависит от расстояния между сужающим устройством и дифманометром. С увеличением длины соединительных трубок увеличивается запаздывание в передаче импульсов, затрудняются поддержание герметичности и удаление воздуха или влаги из трубок. Поэтому всегда надо стремиться к коротким соединительным линиям, применяя в необходимых случаях дифманометры с дистанционной передачей на вторичный прибор. Длина соединительных трубок не должна превышать 50 м.

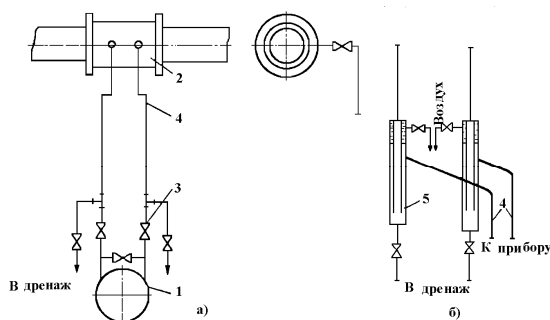


Рис. 1.6. Схема трубных соединений сужающего устройства с дифманометром при измерении расхода воды и неагрессивных жидкостей (дифманометр ниже сужающего устройства):

а – чистая жидкость; б – жидкость, содержащая взвешенные частицы; 1 – дифманометр; 2 – сужающее устройство; 3 – запорные вентили; 4 – соединительные трубки; 5 – отстойные сосуды

Для обеспечения правильных измерений при установке дифманометра необходимо учитывать свойства измеряемой среды. Например, при измерении расхода воды и неагрессивных, невязких жидкостей дифманометр рекомендуется устанавливать ниже сужающего устройства (рис. 1.6). Такой способ установки исключает возможность попадания воздуха или газа из протекающей по трубопроводу жидкости в соединительные трубки и дифманометр.

Если из измеряемой жидкости легко выпадают осадки, то перед дифманометром необходимо устанавливать отстойные сосуды.

При измерении расхода горячих жидкостей ($T > 120^\circ \text{C}$) необходимо включать в соединительные линии уравнивательные сосуды,

заполненные водой. Оба сосуда и боковые отверстия в них должны находиться на одной высоте. Уравнительные сосуды должны иметь достаточный объем, чтобы температура воды в них изменялась незначительно.

При измерении расхода агрессивных жидкостей с целью защиты дифманометра и соединительных трубок применяют мембранные устройства, разделительные сосуды и подачу защитного газа через соединительные трубки. Такие же схемы установки применяют и при измерении расхода вязких жидкостей, загрязненных сред и т. п.

При измерении расхода воздуха или неагрессивного газа дифманометр рекомендуется устанавливать выше сужающего устройства. При такой установке конденсат, образовавшийся в соединительных трубках, стекает в трубопровод.

Расходомеры переменного уровня

Принцип работы расходомеров переменного уровня основан на измерении высоты уровня жидкости в сосуде при свободном истечении ее через отверстие в боковой стенке сосуда. Эти приборы применяются в химической промышленности для измерения расхода особо активных жидкостей. Они могут также применяться для измерения расхода пульсирующих потоков и жидкостей, смешанных с газом.

Во всех случаях измерение расхода жидкости расходомерами переменного уровня производится при атмосферном давлении, что значительно ограничивает их применение.

Расходомер переменного уровня включает в себя приемную емкость (сосуд) с отверстием истечения той или иной формы и измеритель уровня жидкости. В качестве измерителей уровня могут применяться любые стандартные приборы. Приемными емкостями служат обычно цилиндрические или прямоугольные сосуды со щелевым отверстием истечения. В таких сосудах расход определяется по высоте уровня жидкости над нижней кромкой отверстия.

Расходомер, показанный на рис. 1.7, представляет собой прямоугольный корпус 2 с двумя штуцерами боковым — для ввода измеряемой жидкости и нижним — для слива жидкости в открытый приемник. Внутри корпус разделен глухой перегородкой, к которой герметично прикреплен щит с профилированной щелью. В сосуд перед сливной щелью погружена в защитном чехле пьезометрическая трубка 1, через которую непрерывно продувается воздух. Количество

подаваемого воздуха контролируется с помощью контрольного стаканчика 4, а давление воздуха поддерживается постоянным посредством редуктора 6. Для очистки воздуха служит фильтр 7.

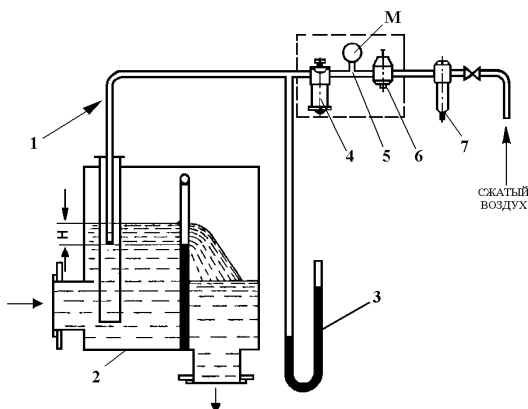


Рис. 1.7. Схема расходомера с щелевым отверстием истечения: 1 – пьезометрическая трубка; 2 – корпус; 3 – дифманометр; 4 – контрольный стаканчик; 5 – манометр; 6 – редуктор; 7 – фильтр

Давление в пьезометрической трубке однозначно связано с плотностью и высотой столба жидкости перед щелью, а следовательно, и с массовым расходом жидкости. Величина гидростатического напора в пьезометрической трубке измеряется дифманометром 3.

Расходомеры постоянного перепада давления

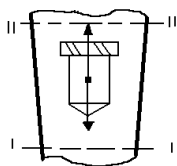


Рис. 1.8. Схема ротаметра с конусной трубкой

Наиболее распространенными приборами группы расходомеров постоянного перепада давления являются ротаметры. Шкалы ротаметров практически равномерны, ими можно измерять небольшие расходы, потери давления в них незначительны и не зависят от величины расхода.

Схема ротаметра показана на рис. 1.8. Проходящий через ротаметр снизу поток жидкости или газа поднимает поплавок до тех пор, пока расширяющаяся кольцевая щель между телом поплавка и стенками конусной трубки не достигнет величины, при которой действующие на поплавок сила тяжести, сила от давления потока на верхнюю плоскость поплавка, сила от давления потока на нижнюю поверхность поплавка и

сила трения потока о поплавок уравниваются, и он устанавливается на той или иной высоте в зависимости от величины расхода.

Ротаметры выполняются со стеклянной или металлической трубкой. Шкала в ротаметрах со стеклянной трубкой вытравлена на самой трубке, и отсчет ведется по верхней горизонтальной плоскости поплавка.

В верхней части поплавка часто делают косые прорезы, благодаря чему поплавок вращается вокруг вертикальной оси. При вращении поплавка центрируется внутри трубки, не соприкасаясь со стенками; его чувствительность повышается.

Ротаметры со стеклянной трубкой изготавливаются на давления жидкости или газа, не превышающие $0,58 \text{ Мн/м}^2$ (6 кг/см^2). При более высоких давлениях жидкости или газа и для измерения расхода пара применяют ротаметры с металлической трубкой. Эти ротаметры выполняются с электрической и пневматической дистанционной передачей.

На рис. 1.9 приведена принципиальная схема ротаметра с электрической дифференциально-трансформаторной передачей показаний на расстояние. Измерительная часть ротаметра состоит из цилиндрического металлического корпуса 1 с диафрагмой 2, в отверстии которой перемещается конусный поплавок 3, жестко насаженный на шток 4. На верхнем конце штока укреплен сердечник 5 дифференциально-трансформаторного преобразователя.

Сердечник помещается внутри разделительной трубки 6, снаружи которой находится катушка 7 преобразователя.

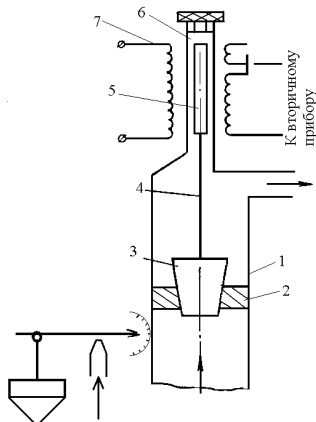


Рис. 1.9. Схема ротаметра с электрической дистанционной передачей:

1 – корпус; 2 – диафрагма; 3 – поплавок; 4 – шток; 5 – сердечник; 6 – разделительная трубка; 7 – катушка

Ротаметры могут быть бесшкальными и показывающими. Бесшкальные ротаметры работают в комплекте с показывающим или регистрирующим вторичным дифференциально-трансформаторным прибором.

Ротаметры рассчитаны на рабочее давление до $6,27 \text{ Мн/м}^2$ (64 кг/см^2). Пределы измерения (в расчете на воду) от $0,7 \cdot 10^{-5}$ до $0,44 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{сек}$.

Для измерения расхода во взрывоопасных и пожароопасных условиях применяют ротаметры с пневматической дистанционной передачей.

Расходомеры электромагнитные (индукционные)

Принцип действия электромагнитных расходомеров основан на измерении э.д.с., индуцируемой в потоке электропроводной жидкости под действием внешнего магнитного поля.

Принципиальная схема электромагнитного расходомера показана на рис. 1.10. Трубопровод 1 с перемещающейся в нем жидкостью расположен между полюсами 2 и 3 магнита перпендикулярно направлению силовых линий магнитного поля. Трубопровод изготавливается из немагнитного материала (фторопласт, эбонит и др.). В стенки трубопровода диаметрально противоположно (заподлицо с внутренним диаметром трубы) заделаны измерительные электроды.

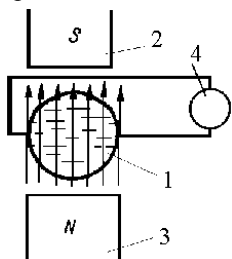


Рис. 1.10. Схема электромагнитного расходомера:

1 – трубопровод; 2 и 3 – полюсы магнита; 4 – измерительный прибор

Под действием магнитного поля ионы, находящиеся в жидкости, перемещаются и отдают свои заряды измерительным электродам, создавая в них э.д.с E , пропорциональную скорости течения жидкости. К электродам подключается измерительный прибор 4, шкала которого градуируется в единицах расхода.

В настоящее время электромагнитные расходомеры применяются лишь для жидкостей, проводимость которых не ниже 10^{-5} *сим/м*.

Существенные недостатки электромагнитных расходомеров с постоянным магнитом - возникновение на электродах э.д.с. поляризации, гальванической э.д.с. и трудности усиления малых э.д.с. постоянного тока. Эти недостатки затрудняют или делают невозможным правильное измерение э.д.с., индуцируемой магнитным полем в движущейся жидкости.

Расходомеры с постоянным магнитным полем находят применение для измерения расхода пульсирующих потоков. В настоящее время в подавляющем большинстве электромагнитных расходомеров применяется переменное магнитное поле. При переменном магнитном поле электрохимические процессы оказывают меньшее влияние на показания прибора, чем при постоянном.

Электромагнитные расходомеры имеют ряд преимуществ. Прежде всего, они практически безынерционны, что очень важно при измерении быстроменяющихся расходов и при использовании их в системах автоматического регулирования. На результат измерения не влияет присутствие в жидкости взвешенных частиц и пузырьков газа. Показания расходомера не зависят от свойств измеряемой жидкости (вязкость, плотность) и от характера потока (ламинарный, турбулентный).

При соответствующем подборе материала или применении антикоррозионных покрытий электромагнитные расходомеры можно применять для измерения расхода агрессивных жидкостей, а также жидкостей и паст, обладающих абразивными свойствами. Вследствие линейной зависимости возникающей э.д.с. от расхода шкала вторичного прибора линейна. Погрешность электромагнитных расходомеров $\pm 0,5$ —1%.

1. 3 Измерение количества твердых и сыпучих материалов

В химических производствах приходится измерять количество (массу) твердых сыпучих материалов начиная от крупнокусковых (кокс для газогенераторов, известняк для известковообжигательных печей) и кончая тонкодисперсными порошками (кальцинированная сода, красители и т. п.).

Наиболее точным способом измерения количества твердых и сыпучих тел является взвешивание.

Автоматические весы

В промышленных измерениях применяются автоматические весы периодического и непрерывного действия.

К первой группе относятся весы автоматические порционные для суммарного учета и дозирования различных составляющих смеси в периодических и непрерывных технологических процессах производства.

Автоматические порционные весы

Порционные весы автоматически отсекают определенные порции взвешиваемого материала, поступающего из питательного бункера, а после взвешивания выбрасывают взвешенную порцию в приемный бункер. Счетчик весов суммирует массу материала, прошедшего через весы.

Автоматические порционные весы для твердых сыпучих материалов обычно выполняются с опрокидывающимся ковшом или с открывающимся дном ковша. Основными достоинствами этих весов являются сравнительная простота конструкции, высокая точность взвешивания, работа весов без специального привода.

Весы для непрерывного взвешивания характерны тем, что конструктивно они неразрывно связаны с системой транспортирования материала (конвейерные весы, автоматические весовые дозаторы и т.п.).

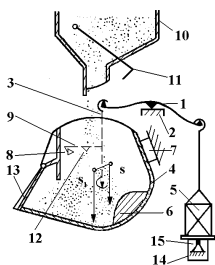


Рис. 1.11. Автоматические порционные весы с опрокидывающимся ковшом

На рис.1.11 показана принципиальная схема автоматических весов с опрокидывающимся ковшом.

К одному концу равноплечего двойного коромысла 1 (вторая часть коромысла на схеме не показана) на подвеске 3 прикреплен ковш 4, а к другому — гиредержатель 5 с гирями. При пустом ковше центр

тяжести благодаря противовесу 6 на задней стенке ковша находится с правой стороны точки подвеса; ковш стремится повернуться вокруг точки подвеса по часовой стрелке, чему препятствует упор 7. У наполненного ковша центр тяжести перемещается в положение S_1 , влево от точки подвеса. Вращению наполненного ковша препятствует призма 8, заделанная снаружи в боковую стенку ковша и упирающаяся в щеколду 9, шарнирно соединенную с подвеской 3.

Ковш наполняется через питательную воронку 10, выходное отверстие которой закрывается заслонкой 11. При наполнении ковша и достижении равновесия гиредержатель, перемещаясь вверх, закрывает с помощью рычагов (на схеме не показаны) заслонку 11. После прекращения поступления взвешиваемого материала наполненный ковш по инерции продолжает движение вниз. При опускании ковша щеколда 9 встречается с неподвижным упором 12, заделанным в станину весов, и, поднимаясь, соскакивает с призмы 8.

Освобожденный от запора ковш поворачивается против часовой стрелки; дверца 13 под действием собственного веса и давления материала, находящегося в ковше, открывается, и содержимое ковша высыпается. В нижней части гиредержателя закреплена скоба 14, которая ограничивает ход ковша благодаря неподвижному упору 15.

По мере опорожнения ковша гиредержатель с гирями опускается, а ковш поднимается. После полного освобождения от содержимого ковш в связи с перемещением центра тяжести вправо от точки подвеса, поворачиваясь по часовой стрелке, возвращается в первоначальное положение. При поворачивании ковш открывает заслонку 11, и начинается новое наполнение ковша. Основная допустимая погрешность таких весов от $\pm 0,5$ до $\pm 1\%$.

Такие весы имеют разные объемы ковша. Ударные нагрузки работающих весов с опрокидывающимся ковшом вынуждают прибегать к массивным фундаментам.

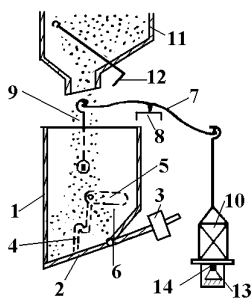


Рис. 1.12. Автоматические порционные весы с открывающимся дном

На рис. 1.12 показана принципиальная схема автоматических ковшовых весов с открывающимся

дном. Эти весы также построены по принципу равноплечих рычажных весов.

Весы с открывающимся дном отличаются от показанных на рис. 1.11 устройством ковша 1, который имеет откидное дно 2 с противовесом 3, закрывающим дно при опорожнении ковша. В закрытом положении дно ковша удерживается курком 4, находящимся в зацеплении с укрепленной на стенке ковша собачкой 5. Сила тяжести материала, поступающего в ковш, заставляет последний опускаться. С наступлением равновесия собачка 5 встречается с неподвижным упором 6, находящимся на станине весов, и поворачивается против часовой стрелки, освобождая курок, а вместе с ним и дно ковша.

Под давлением взвешиваемого материала дно открывается, и ковш опоражнивается. После опорожнения ковша дно под действием противовеса закрывается.

Весы с открывающимся дном ковша работают значительно спокойнее (в части ударных нагрузок), чем весы с опрокидывающимся ковшом.

Автоматические конвейерные весы

Автоматические конвейерные весы регистрируют суммарную массу сыпучего материала, перемещенную транспортером, и показывают мгновенную производительность. Принципиальная схема автоматических конвейерных весов (ЛТМ) показана на рис. 1.13.

Весы встраиваются в стационарный ленточный транспортер. Платформа весов несет на себе две весовые роликовые опоры и является участком транспортера.

Весы работают следующим образом. Материал, находящийся на ленте конвейера, воздействует на две весовые роликовые опоры, закрепленные на грузоприемной платформе 1. Через рычаги 2 и 4 это усилие передается на грузоприемное плечо квадранта 5, который при помощи поводка 7 шарнирно соединен с роликом 8 каретки интегратора. Ролик образует фрикционную пару с диском 9. Диск интегратора вращается через соответствующую передачу приводным роликом 3. Приводной ролик прижимается к холостой ветви ленты конвейера, которая и сообщает ему вращение. Таким образом, угловая скорость диска 9 интегратора всегда соответствует линейной скорости ленты конвейера. Каждое отклонение квадранта вследствие увеличения нагрузки на платформу 1 вызывает поворот ролика 8 в плоскости чертежа, что приводит к появлению некоторого угла между окружными скоростями диска 9 и ролика 8. При этом появляется сила,

стремящаяся переместить ролик 8 дальше от центра диска 9. Перемещение это возможно лишь вместе с кареткой 13, катящейся по неподвижному рельсу. Перемещение будет происходить до совмещения направлений окружных скоростей ролика и диска в новом положении, т.е. на другом расстоянии от центра диска.

Отклонение квадранта 5 при уменьшении полезной нагрузки вызовет обратный процесс. Следовательно, каждому положению квадранта 5, определяющему величину погонной нагрузки на ленте, соответствует определенное расстояние фрикционной точки ролика 8 от центра диска 9; тогда угловая скорость ролика пропорциональна искомой массе материала. Угловые скорости диска 9 и ролика 8 суммируются зубчатым дифференциалом 10. Результирующая скорость ведомого вала дифференциала обуславливает вращение первого диска счетчика 14, показывающего массу прошедшего материала. Тарирование весов производится измерением массы накладных грузов 6.

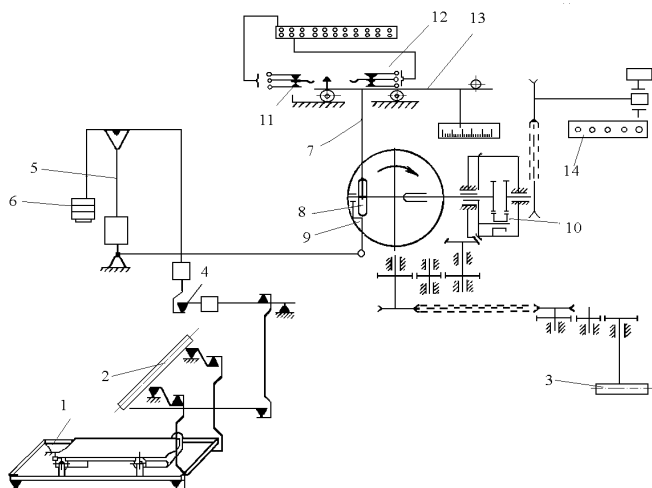


Рис.1.13. Принципиальная схема автоматических конвейерных весов

Весы снабжены указателем производительности конвейера, показывающим положение каретки 13 относительно неподвижного рельса, а следовательно, и величину производительности в каждый момент времени при неизменной скорости конвейера. Кроме того, весы

снабжаются электрическим сигнальным устройством, фиксирующим перегрузку и недогрузку ленты конвейера при его работе.

Сигнальное устройство состоит из конечного 11 и путевого 12 переключателей, срабатывающих при передвижении каретки 13 по неподвижному рельсу. Конечный переключатель включает сигнальное устройство при достижении наибольшей допустимой погонной нагрузки на ленте конвейера. Путевой переключатель включает сигнальное устройство при работе весов с погонными нагрузками ниже допустимых.

Перегрузка ленты (пределы выше максимальной погонной нагрузки) счетчиком не учитывается. Весы могут изготавливаться со вторичными приборами, обеспечивающими дистанционную передачу показаний весов.

В автоматических конвейерных весах непрерывного взвешивания происходит суммирование прошедшего через весы материала.

Допустимая погрешность весов $\pm 1\%$. Скорость ленты транспортера достигает 2,5 м/сек ; ширина ленты транспортера 400-2000 мм ; погонные нагрузки на ленту транспортера 6-500 кг/м.

1.4 Дозирование твердых и жидких материалов

В ряде технологических процессов (особенно в химических производствах) дозирование является одной из основных операций. Качество готовой продукции и рациональное расходование исходных материалов во многом зависят от дозирования.

Дозирование сыпучих и жидких материалов - это определение заданной дозы материала (по массе или объему). Применяемые для этой цели приборы и устройства называются дозаторами.

Сыпучие и жидкие материалы дозируются объемным и весовым методами. По степени автоматизации процессы дозирования могут быть ручными, полуавтоматическими и автоматическими.

Весьма важным моментом в успешной работе дозаторов является обеспечение поступления к ним дозируемого материала равномерным потоком. Механизмы, применяемые в дозаторах для передачи материала, можно разделить на две основные группы. К первой из них относятся различного типа побудители, устанавливаемые непосредственно во впускных воронках дозаторов и служащие для разрыхления материала, предотвращения образования

сводов (мешалки, вибраторы). Ко второй можно отнести специальные питающие механизмы (питатели), подающие материалы из бункеров и других хранилищ к дозатору (транспортные, лотковые, барабанные, шнековые, тарельчатые, вибрационные).

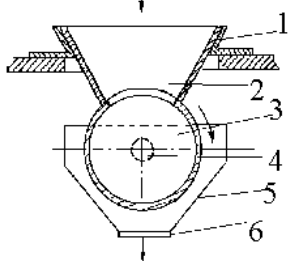


Рис. 1.14. Механический объемный дозатор

Механический объемный дозатор для сыпучих материалов (рис. 1.14) работает следующим образом. Полный цилиндр 3 вращается на оси 4. В стенке цилиндра имеется отверстие 2, через которое дозируемый материал самотеком поступает в цилиндр из впускной воронки 1. При повороте цилиндра на 180° материал из него высыпается в приемный бункер 5, откуда через выпускное отверстие 6 поступает по назначению.

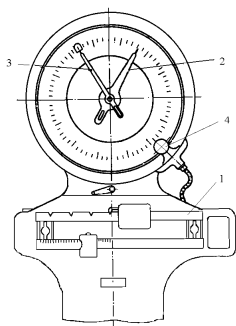


Рис. 1.15. Циферблатный указатель с фотоприставкой

На рис. 1.15 показан **циферблатный указатель с фотоприставкой**, который используется для полуавтоматического весового дозирования сыпучих материалов. Имеющаяся на весах шкала 1 служит для установки дозы передвижением гирь по шкале. При этом стрелка весов 2 показывает на циферблате заданный вес. При поступлении дозируемого материала на весы стрелка постепенно подходит к нулевому делению, поворачиваясь против часовой стрелки. При совпадении стрелки с нулем имеющийся на оси стрелки флажок 3 пересечет световой луч и вызовет срабатывание фотореле 4, которое

связано с устройствами отсекаания подачи материала и выгрузки его по назначению.

Этот же циферблатный указатель может быть использован для работы в комплекте с сельсин-датчиком. Для этого стрелка весов 2 кинематически связывается с ротором сельсин-датчика, который будет выдавать электрический сигнал, пропорциональный массе материала.

Во многих случаях в качестве узлов установок, дозирующих жидкости, широко применяются насосы. Причем они могут служить и источниками напора, и самостоятельными дозирующими агрегатами.

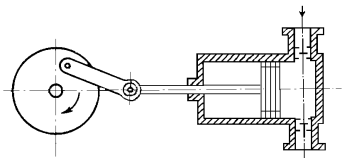


Рис. 1.16. Насос-дозатор с возвратно-поступательным движением поршня.

Насосы-дозаторы с возвратно-поступательным движением поршня (рис. 1.16) служат для дозирования различных жидкостей, в том числе химически активных и вязких. На их входных и выходных патрубках установлены клапаны. Когда привод перемещает поршень справа налево, происходит наполнение цилиндра через входной клапан, а когда поршень, дойдя до крайнего положения, начнет перемещаться слева направо, клапан на входе закроется, клапан на выходе откроется и жидкость вытеснится в приемное устройство.

В технологических процессах наиболее часто применяются **автоматические ленточные весовые дозаторы** непрерывного действия производительностью от нескольких килограммов до нескольких тысяч килограммов сыпучего материала в час. Они транспортируют сыпучий материал, непрерывно взвешивают и регулируют его подачу.

По способу регулирования подачи материала весовые ленточные дозаторы могут быть разделены на две основные группы:

1) с механической (кинематической) связью регулирующего органа, изменяющего подачу материала на ленту дозатора; в этих дозаторах роль регулятора выполняет весовой чувствительный элемент (дозаторы с регулятором прямого действия);

2) с электрической или пневматической связью с посторонним источником энергии, обеспечивающим автоматическое изменение подачи материала питателя, соответственно заданной производительности (дозаторы с регулятором непрямого действия).

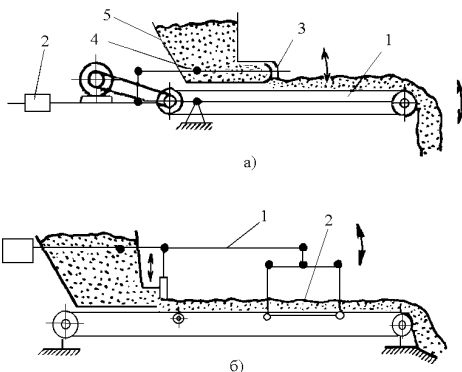


Рис. 1.17.
Принципиальная схема
автоматических весовых
дозаторов с механическим
регулированием подачи
материала.

На рис. 1.17 показаны принципиальные схемы наиболее типичных автоматических весовых дозаторов с механическим регулированием подачи материала. В этих автоматических весовых дозаторах транспортер является частью коромысла весов; находящийся на транспортере материал уравнивается грузом. У весовых дозаторов, показанных на рис. 1.17,а, на раме устанавливается ленточный транспортер 1. Ведущий барабан транспортера приводится во вращение через редуктор от электродвигателя, установленного на передвижной плите. Масса материала, находящегося на транспортной ленте, уравнивается перемещающимся грузом 2.

Предназначенный для взвешивания материал поступает из бункера в воронку 5, а оттуда непосредственно на ленту транспортера. С целью предохранения транспортера от давления материала, находящегося в бункере, под лентой транспортера устанавливается несколько опорных роликов.

На движущуюся ленту из воронки подается материал, толщина слоя которого зависит от положения затвора 3. При изменении массы материала, находящегося на транспортере, последний наклоняется вниз или вверх. Затвор 3, сидящий на рычаге, шарнирно связан с коромыслом весов. Коромысло сидит на оси вращения 4, не связанной с транспортером. Затвор 3 увеличивает или уменьшает сечение выпускного отверстия воронки 5.

Количество материала, пропущенного весовым дозатором, определяется счетчиком, который показывает число погонных метров, пройденных лентой.

На рис. 1.17, б показана принципиальная схема весового дозатора непрерывного действия другой конструкции. В этом дозаторе платформа весов укреплена на раме шарнирно. При работе, когда на контрольном участке 2 транспортера окажется излишек материала, правый конец коромысла 1 опустится, закрепленная на нем заслонка прикроет отверстие воронки питателя, подача материала будет уменьшена до наступления равновесия. Конструкция этих весовых дозаторов несколько проще, чем предыдущих, но вместе с тем настройка их грубее и точность взвешивания ниже.

В существующих весовых дозаторах с механическим регулированием подачи материала скорость транспортной ленты колеблется от 0,02 до 0,6 м/сек.

Точность описанных выше дозаторов при мелкозернистых сыпучих материалах достигает $\pm 1\%$, причем большая точность получается при малых скоростях и больших нагрузках на транспортную ленту.

К недостаткам весовых дозаторов с механическими питателями относятся их значительная инерционность и медленная работа элементов системы механического регулирования подачи материала. Эти недостатки устранены в весовых дозаторах с электрическими питателями, отличающихся незначительной инерционностью и быстротой работы схемы регулирования подачи материала.

Наибольшее распространение получили ленточные дозаторы с электромагнитными питателями. Принципиальная схема такого дозатора показана на рис. 1.18.

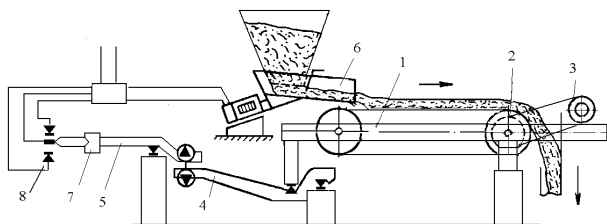


Рис. 1.18. Принципиальная схема ленточного дозатора с электромагнитным питателем

Весовой дозатор состоит из ленточного транспортера 1, качающегося на опоре 2. Транспортер приводится в движение электродвигателем 3 через редуктор, расположенный на правом конце транспортера.

Левый конец транспортера соединен с рычагом 4 весового механизма, а через него с коромыслом 5 весов. Сыпучий материал подается на транспортер электровибрационным питателем 6. Вес материала на транспортере уравнивается передвижным грузом 7.

Коромысло имеет специальное контактное устройство 8, соединенное с электровибрационным питателем 6. Материал с ленты транспортера сыпается непрерывным потоком в приемную воронку.

При уменьшении массы материала на ленте транспортера конец его поднимается, нижний контакт контактного устройства замкнется, частота колебаний вибратора возрастет, и подача материала на ленту транспортера увеличится до тех пор, пока не восстановится равновесие. При поступлении излишка материала на транспортер его конец опустится, а вибратор уменьшит подачу материала.

Вибратор совершает до 50 колебаний в секунду с амплитудой до 1мм. Изменение амплитуды колебаний достигается изменением напряжения тока, подаваемого катушке электромагнитов.

На дозаторах с электровибрационными питателями применяют также более совершенную систему регулирования подачи материала - бесконтактные устройства (индуктивные датчики, сельсины).

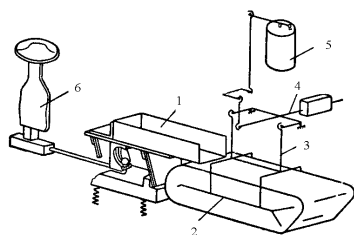


Рис. 1.19. Принципиальная схема автоматического ленточного весового дозатора с пневматическим вибрационным питателем и пневматическим регулятором.

На рис. 1.19 показана принципиальная схема автоматического ленточного весового дозатора (типа ЛДВП) с пневматическим вибрационным питателем и пневматическим регулятором. Эти весовые дозаторы применяются там, где не допускается применение электромагнитных вибраторов.

Работа дозатора основана на сравнении действительной массы дозируемого материала с заданной. Пропорционально изменению весовой нагрузки транспортера изменяется давление сжатого воздуха.

Материал из бункера попадает на лоток 1 пневматического вибрационного питателя, который равномерно подает материал на грузоприемный транспортер 2. Транспортер через подвески 3 связан с весоизмерительным механизмом.

Основным узлом питателя является пневматический вибродвигатель инерционного типа с неуравновешенной массой. Вращательное движение шарика по обойме в корпусе вибродвигателя под действием давления струи сжатого воздуха создает колебательное движение лотка питателя.

При давлении воздуха до $0,15 \text{ Мн/м}^2$ ($1,5 \text{ кг/см}^2$) частота колебаний составляет 100 -150 Гц, а при давлении до $0,98 \text{ Мн/м}^2$ (10 кг/см^2) составляет 600-800 Гц. Таким образом, производительность питателя может меняться в широких пределах при изменении давления воздуха, подводимого к вибропитателю.

Давление воздуха на входе вибродвигателя регулируется клапаном 6, на мембрану которого воздействует выходной командный сигнал регулятора.

Командный сигнал изменяется в результате рассогласования задания со значением переменной, поступающей с силоизмерительного датчика 5, воспринимающего силу тяжести материала на грузоприемном транспортере.

Погрешность автоматических весовых дозаторов составляет $\pm 0,5\%$.

Применение электронных и пневматических приборов в весовых дозаторах с электромагнитным и пневматическим вибропитателями позволяет использовать весы в качестве датчиков (воспринимающих элементов) в системах комплексной автоматизации разнообразных непрерывных технологических процессов.

Связи дозаторов с технологическими схемами производства определяются характером установок и могут быть весьма разнообразными. Схема, приведенная на рис. 1.20, иллюстрирует эти связи на примере дозирования серной кислоты в производстве суперфосфата.

Через питатель 1 фосфат из бункера поступает на весовой автоматический дозатор 2, датчик которого 3 выдает электрический (или пневматический) сигнал, пропорциональный массе.

Этот сигнал поступает на управляющее устройство, которое, в зависимости от массы фосфата, вырабатывает управляющий сигнал, воздействующий на привод насоса-дозатора 5. Насос-дозатор подает серную кислоту из бака 6 в смеситель 4. Если, например, подача фосфата увеличится, то возрастает и управляющий сигнал на привод насоса-дозатора, который увеличит подачу серной кислоты.

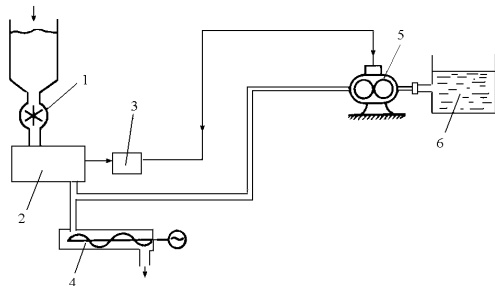


Рис. 1.20.
Дозирование серной
кислоты в
производстве
суперфосфата

2. МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СОСТАВА МАТЕРИАЛОВ

Важнейший технологический параметр химической промышленности — состав перерабатываемых материалов и готовой продукции, поэтому аналитический контроль является обязательным элементом любой системы управления химическим производством.

Задачи анализа состава материалов делятся на две группы:

- 1) определение содержания одного компонента в анализируемом веществе;
- 2) определение содержания двух и более компонентов в анализируемом веществе.

Автоматические приборы, предназначенные для определения содержания одного компонента, называются *автоматическими концентратомерами*, а предназначенные для определения содержания двух и более компонентов — *автоматическими анализаторами состава*.

Прямые методы измерения концентрации, известные под названием методов объемного анализа, получили широкое распространение в лабораторной аналитической практике. Некоторые из этих методов — титрование и метод химического поглощения — применяются в автоматических концентратомерах.

В производственной практике наибольшее распространение получили так называемые косвенные методы измерения концентрации. Они основаны на использовании однозначной функциональной зависимости между каким-либо косвенным физическим параметром анализируемого вещества, доступным непосредственному измерению, и составом этого вещества.

В качестве косвенного параметра могут быть выбраны: плотность, удельная электропроводность, показатель преломления, теплопроводность и другие физические параметры анализируемого вещества, зависящие от его состава.

Задача автоматического анализа состава, т. е. одновременного измерения содержания двух или более компонентов в анализируемом веществе, гораздо сложнее, чем задача измерения концентрации. В настоящее время для этих целей используются, в основном, косвенные методы анализа в сочетании с разделением анализируемой смеси на отдельные компоненты (хроматография и масс-спектрометрия).

Для измерения концентрации наиболее распространены косвенные методы:

- а) электрокондуктометрический;
- б) потенциометрический;
- в) абсорбционный спектральный;
- г) рефрактометрический;
- д) термокондуктометрический;
- е) термохимический;
- ж) термомагнитный;
- з) по температурной депрессии;
- и) по давлению насыщенных паров.

Для определения содержания двух и более компонентов в анализируемом веществе чаще всего используется хроматографический метод.

2.1. Электрокондуктометрический метод анализа

Электрокондуктометрический метод анализа применяется для измерения концентрации растворов электролитов по величине их удельной электропроводности. Как известно, проводимость растворов электролитов обусловлена присутствием в них заряженных частиц — ионов, образующихся вследствие диссоциации части молекул электролита при его растворении. Свойство раствора проводить

электрический ток количественно характеризуется величиной удельной электропроводности δ сим/см, которая по закону Кольрауша зависит от природы электролита и его концентрации:

$$\sigma = \alpha CF(v_k + v_a),$$

где α — степень электролитической диссоциации электролита;

C — концентрация электролита в г-экв/л;

v_k, v_a — абсолютная подвижность соответственно катионов и анионов;

F — число Фарадея ($F = 96500$ к/г-экв).

Степень электролитической диссоциации зависит от природы электролита и растворителя.

Электрокондуктометрический метод анализа относится к числу неизбирательных и пригоден в основном для измерения концентрации двухкомпонентных растворов. Кроме того, его можно применять в тех случаях, когда удельная электропроводность определяемого компонента гораздо больше, чем у не определяемых компонентов, и когда концентрация последних в процессе измерений практически не изменяется.

Концентрация технологических растворов по величине их удельной электропроводности измеряется с помощью автоматических электрокондуктометрических концентратометров следующих основных типов:

- 1) контактных с двухэлектродной измерительной ячейкой;
- 2.) контактных с четырехэлектродной измерительной ячейкой;
- 3) бесконтактных низкочастотных;
- 4) бесконтактных высокочастотных.

Наиболее распространены электрокондуктометрические концентратометры с двухэлектродной измерительной ячейкой. Определение удельной электропроводности с помощью такой ячейки производится путем измерения сопротивления R_x столба раствора, заключенного между электродами. Измерительная ячейка питается переменным напряжением, чтобы избежать загрязнения электродов продуктами электролиза.

Уменьшение поляризации электродов достигается снижением плотности тока на их поверхности, поэтому электроды изготавливают из материалов с развитой поверхностью (губчатая платина, графит). Для компенсации температурной погрешности измерения концентрации при использовании двухэлектродных ячеек обычно применяются

металлические термометры сопротивления, включенные последовательно с ячейкой (рис. 2.1).

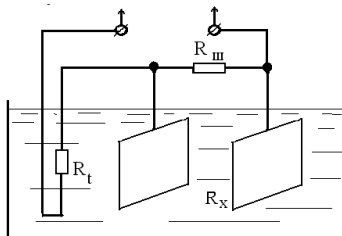


Рис. 2.1. Последовательная схема включения компенсационного термометра сопротивления и двухэлектродной измерительной ячейкой.

Принцип компенсации основан на том, что при увеличении температуры контролируемого раствора сопротивление измерительной ячейки R_x уменьшается (удельная электропроводность раствора возрастает), а сопротивление металлического термометра R_t возрастает. Компенсация достигается в том случае, когда приращения этих сопротивлений при одном и том же изменении температуры равны.

Для согласования температурных коэффициентов сопротивления раствора и металла, которые различаются почти на порядок, параллельно сопротивлению ячейки включается шунтирующее сопротивление из манганина $R_{ш}$, величина которого практически не зависит от температуры.

Измерение сопротивления ячейки R_x производится в большинстве случаев с помощью уравновешенных мостовых схем, три плеча которых образованы постоянными сопротивлениями R_1 , R_2 и R_3 , изготовленными из манганина, а в четвертое плечо включена ячейка (рис. 2.2).

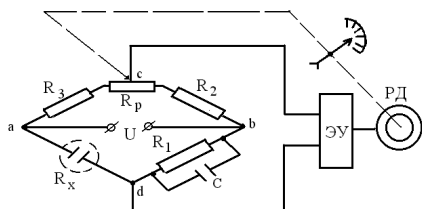


Рис. 2.2. Уравновешенная мостовая измерительная схема электрокондуктометрического концентромера с двухэлектродной измерительной ячейкой

При изменении концентрации контролируемого раствора меняется величина R_x , равновесие моста нарушается и в его диагонали cd появляется напряжение U_{cd} . Оно усиливается электронным усилителем ЭУ, выполняющим функции индикатора разбаланса моста,

и поступает на реверсивный двигатель РД. Последний через систему передач изменяет положение движка реохорда R_p до тех пор, пока мост вновь не вернется в состояние равновесия. Положение движка реохорда и связанной с ним стрелки прибора соответствует новому значению концентрации контролируемого раствора.

Раствор в измерительной ячейке обладает не только активным сопротивлением, но и некоторой емкостью, которая зависит от его диэлектрической проницаемости. Для компенсации емкостного сопротивления измерительной ячейки, которое в процессе измерений остается практически постоянным, применяется конденсатор C . Он включается в мостовую схему, в плечо, смежное с тем, в которое включается измерительная ячейка R_x .

Электрокондуктометрические концентратометры с двухэлектродной измерительной ячейкой имеют относительно низкую точность. Основной источник их погрешностей — поляризация электродов, через которые в процессе измерения протекает ток.

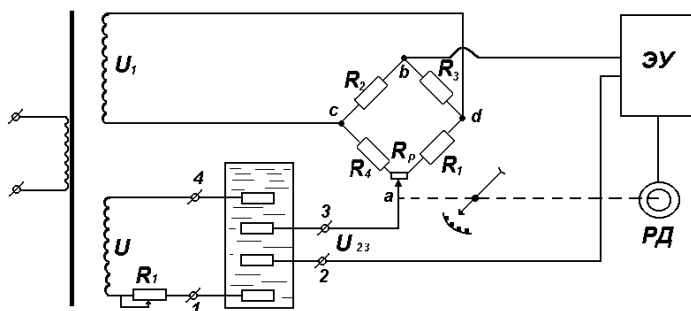


Рис. 2.3. Электрокондуктометрический концентратометр с четырехэлектродной измерительной ячейкой:

1,4 — внешние электроды; 2,3 — внутренние (потенциометрические) электроды

Этого недостатка лишены электрокондуктометрические концентратометры с четырехэлектродной измерительной ячейкой (рис. 2.3). При использовании таких ячеек ток в растворе протекает между двумя внешними электродами 1 и 4, подключенными к источнику напряжения U . Благодаря использованию большого ограничивающего сопротивления R_i сила тока в цепи ячейки остается постоянной независимо от изменения сопротивления раствора R ($R_i \gg R$). Два внутренних электрода 2 и 3 выполняют функции

потенциометрических, с их помощью измеряется падение напряжения в растворе. Таким образом, разность потенциалов между электродами 2 и 3 однозначно определяется концентрацией контролируемого раствора.

В результате такого контакта электроды подвергаются коррозии и появляются погрешности измерений. Поэтому в последние годы большое внимание уделяется развитию бесконтактных методов измерения электропроводности растворов.

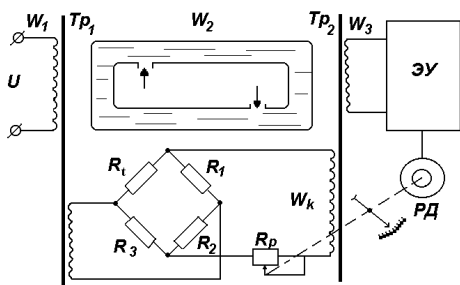


Рис. 2.4.
Принципиальная схема
низкочастотного
бесконтактного
электрокондуктометри-
ческого концентратора

Бесконтактный метод измерения электропроводности с использованием напряжения промышленной частоты называется методом низкочастотной бесконтактной электрокондуктометрии. Этот метод основан на индуктировании э.д.с. в замкнутом витке электропроводной жидкости (жидкостный виток), который является вторичной обмоткой трансформатора Tr1 (рис. 2.4).

Величина э.д.с. $E_{изм}$, наводимая во вторичной обмотке измерительного трансформатора Tr2, пропорциональна концентрации. В большинстве случаев измерение $E_{изм}$ производится компенсационным методом, для чего используется дополнительная обмотка Wk трансформатора Tr2, ампер-витки которой вычитаются из ампер-витков раствора.

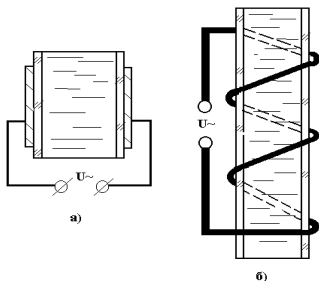


Рис. 2.5. Измерительные
ячейки
высокочастотных
бесконтактных концентраторов:
а — емкостная; б —

индуктивная

Изменение силы тока, протекающего через компенсационную обмотку, осуществляется реверсивным двигателем РД, который перемещает движок реохорда R_p . Положение движка реохорда и связанной с ним стрелки прибора пропорционально концентрации контролируемого раствора. Температурная погрешность измерений компенсируется металлическим термометром сопротивления R_t который включен в мостовую корректирующую цепь R_t - R_1 - R_2 - R_3 и находится в контролируемом растворе.

В высокочастотных бесконтактных концентраторах измерения производятся с использованием переменного напряжения высокой частоты (от нескольких МГц до сотен МГц). Измерительная ячейка такого концентратора представляет собой либо конденсатор (рис. 2.5,а), либо катушку индуктивности (рис. 2.5, б).

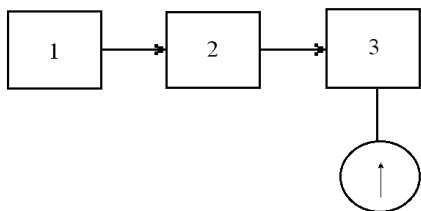


Рис. 2.6. Блок-схема автоматического высокочастотного концентратора:

1 — генератор высокой частоты; 2 — первичный преобразователь; 3 — измерительная схема

На рис. 2.6 показана блок-схема автоматического высокочастотного концентратора, который состоит из трех основных узлов:

1 - генератора высокой частоты, первичного преобразователя 2 конденсаторного или индуктивного типа и измерительной схемы 3. В большинстве конструкций приборов генератор 1 выполняет функции только источника напряжения высокой частоты, которое питает преобразователь 2. Измерительная схема 3 контролирует какой-либо параметр преобразователя, который функционально связан с концентрацией контролируемого раствора.

При использовании индуктивных первичных преобразователей измерительная схема обычно контролирует изменение потерь высокочастотной энергии, которые характеризуют изменение активной проводимости преобразователя.

Если же в концентраторе использован конденсаторный преобразователь, то контролируемым параметром может быть как активная составляющая его проводимости (при измерении

концентрации электропроводных сред), так и величина эквивалентной емкости, если контролируемая среда неэлектропроводна. В последнем случае концентратомер называется **диэлкометром**, так как измерение концентрации производится по величине диэлектрической проницаемости контролируемого раствора.

По величине диэлектрической проницаемости можно измерить концентрацию только того компонента смеси, диэлектрическая проницаемость которого значительно больше, чем у остальных компонентов. Среди жидкостей наибольшей диэлектрической проницаемостью обладает вода. Поэтому автоматические диэлкометры чаще всего используются для измерения концентрации воды в смесях с органическими жидкостями (т. е. для измерения их влажности).

2.2. Потенциометрический метод анализа

Потенциометрический метод анализа растворов электролитов основан на измерении электродных потенциалов.

При погружении металлического электрода в раствор, содержащий ионы этого металла, между раствором и электродом образуется разность потенциалов, которая в электрохимии получила название электродного потенциала. Величина электродного потенциала определяется законом Нернста:

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln a$$

где E_0 — нормальный электродный потенциал ($E_0 = E$ при $a = 1$);

R — универсальная газовая постоянная;

T — абсолютная температура раствора;

n — валентность ионов металла в растворе;

F — число Фарадея (заряд 1 г-эquiv ионов);

a — активность ионов металла в растворе, равная произведению его концентрации C на коэффициент активности f . У идеальных растворов $f = 1$ и $a = C$; у реальных растворов $f < 1$ и $a < C$, т. е. активность всегда меньше истинной концентрации ионов в растворе.

Нормальный электродный потенциал E_0 имеет постоянную величину, характерную для каждого металла. Такой потенциал приобретает электрод в одонормальном растворе своих ионов.

Практически измерить потенциал одного электрода (т.е. разность потенциалов между электродом и раствором) невозможно. Поэтому электрохимическая измерительная ячейка потенциометрического концентромера состоит из двух электродов. Потенциал одного из этих электродов, называемого измерительным, изменяется в зависимости от изменения активности контролируемого иона. Потенциал второго электрода, называемого вспомогательным, не зависит от активности контролируемых ионов и в процессе измерений остается постоянным. Э.д.с. измерительной ячейки $E_{\text{яч}}$ равна алгебраической сумме потенциалов обоих электродов

Наиболее распространенным вспомогательным электродом является каломельный (рис. 2.7). Он состоит из двух полостей, разделенных пористой перегородкой. В верхней части электрода находится металлическая ртуть, покрытая слоем малорастворимой соли Hg_2Cl_2 , которая называется каломелью. В нижней полости электрода находится раствор KCl определенной концентрации.

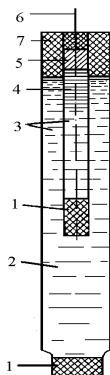


Рис. 2.7. Каломельный
вспомогательный электрод:

- 1 – полупроницаемая перегородка;
- 2 – стеклянный корпус;
- 3 – раствор KCl ;
- 4 – слой каломели;
- 5 – слой ртути;
- 6 – выходной контакт;
- 7 – пробка из изоляционного материала.

Потенциометрический метод анализа получил основное распространение для измерения активности водородных ионов, которая обобщенно характеризует кислотные или щелочные свойства водных растворов.

В современных автоматических рН-метрах в качестве измерительных преимущественно применяются стеклянные электроды.

Стеклянный электрод (рис. 2.8) представляет собой цилиндрическую трубку, к нижнему концу которой припаяна сферическая часть, называемая мембраной, которая изготавливается из специального сорта стекла и является чувствительным элементом

электрода. При соприкосновении с раствором на поверхности чувствительной мембраны возникает потенциал.

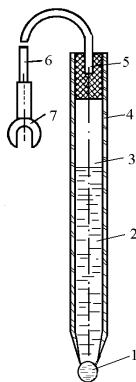


Рис. 2.8. Стеклянный электрод:

1 – чувствительная мембрана; 2 – раствор соляной кислоты; 3 – вспомогательный контактный электрод; 4 – стеклянный корпус; 5 – пробка из изоляционного материала; 6 – контактный провод; 7 – кабельный наконечник.

Для замыкания электрической цепи между наружной поверхностью электрода и измерительным прибором в полый электрод (трубку) заливается раствор кислоты и внутри трубки устанавливается контактный электрод (обычно хлорсеребряный). На внутренней поверхности чувствительной мембраны возникает потенциал $E_{\text{вн}}$, величина которого пропорциональна pH раствора, залитого внутрь электрода. Потенциал контактного электрода $E_{\text{кон}}$ зависит от природы раствора и его концентрации.

На рис. 2.9 показана принципиальная схема автоматического pH-метра. Прибор предназначен для работы в комплекте со стеклянным измерительным и каломельным вспомогательным электродами.

В pH-метре использован компенсационный метод измерения э.д.с. датчика E_x , которая уравнивается выходным напряжением $U_{\text{вых}}$ электронного усилителя ЭУ. Разность этих величин

$$E_x - U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}$$

подаётся на вход электронного усилителя ЭУ с большим коэффициентом усиления $k_{\text{ус}}$. Поскольку $k_{\text{ус}} = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$ то $E_x = U_{\text{вх}} + U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}}(1 + 1/k_{\text{ус}})$ и при достаточно большой величине $k_{\text{ус}}$ э.д.с. $E_x \approx U_{\text{вых}}$.

Следовательно, измеряемая э.д.с. практически полностью уравнивается выходным напряжением усилителя. Такой метод уравнивания называется методом статической компенсации, так

как при его использовании отпадает необходимость в применении подвижных элементов (реверсивного двигателя и реохорда).

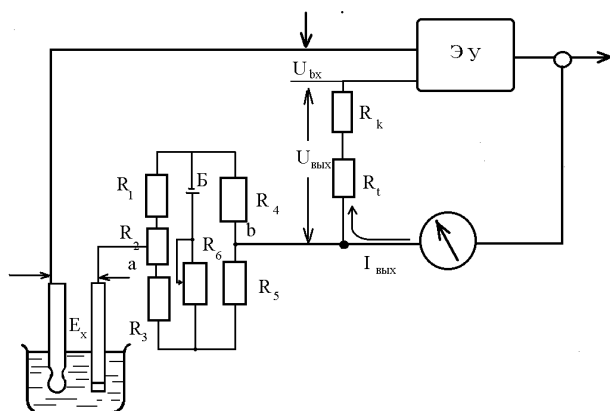


Рис. 2.9. Принципиальная схема автоматического рН-метра

Напряжение $U_{\text{вых}}$ образуется от протекания выходного тока усилителя $I_{\text{вых}}$ по калиброванному сопротивлению R_k и термометру сопротивления R_t . Последний служит для автоматической компенсации температурной погрешности измерений рН-метра

Выходной ток усилителя $I_{\text{вых}}$, пропорциональный измеряемой величине pH_x , измеряется показывающим прибором, шкала которого градуирована в единицах рН. Показания рН-метра могут передаваться на вторичный измерительный прибор — стандартный электронный потенциометр.

В цепь измерительной ячейки рН-метра последовательно с каломельным электродом включена мостовая схема на сопротивлениях $R_1 — R_5$, питаемая батареей Б. Переменное сопротивление R_6 служит для установки рабочего тока батареи. Величина разности потенциалов на вершинах моста ab устанавливается изменением положения движка переменного сопротивления R_2 . Изменение величины U_{ab} позволяет смещать начало шкалы при градуировке рН-метра.

Потенциометрический метод анализа применяется также для измерения окислительно-восстановительных потенциалов с использованием платинового электрода в качестве измерительного.

По величине окислительно-восстановительного потенциала можно контролировать ход технологического процесса, если он сопровождается окислением или восстановлением перерабатываемого вещества. Приборы для измерения окислительно-восстановительных потенциалов аналогичны рН-метрам.

2.3. Абсорбционные методы спектрального анализа

Абсорбционные методы спектрального анализа основаны на использовании свойства газов и жидкостей избирательно поглощать излучение с определенной длиной волны в зависимости от химического состава этих веществ. Согласно закону Ламберта-Бера, интенсивность J_λ монохроматического параллельного потока излучения с длиной волны λ , прошедшего через слой анализируемого вещества толщиной l и концентрацией C_x , связана с интенсивностью исходного потока излучения $J_{\lambda 0}$ следующей зависимостью:

$$J_\lambda = J_{\lambda 0} e^{-\varepsilon_\lambda l C_x}$$

где $\varepsilon_\lambda = \text{const}$ - коэффициент поглощения анализируемым веществом излучения с длиной волны λ .

Отсюда следует, что если $J_{\lambda 0} = \text{const}$ и $l = \text{const}$, то J_λ является однозначной функцией концентрации просвечиваемого вещества.

Для избирательного измерения концентрации одного компонента смеси необходимо использовать излучение с такой длиной волны, на которой определяемый компонент обладает наибольшим по отношению к другим компонентам коэффициентом поглощения.

Всякий концентратомер, действие которого основано на использовании абсорбционных методов спектрального анализа, состоит из трех основных элементов: источника излучения, кюветы, в которой находится слой анализируемого вещества определенной толщины, и устройства, измеряющего интенсивность излучения J_λ на выходе из кюветы и преобразующего его в выходной сигнал (показание) прибора.

Наибольшее распространение получили приборы компенсационного типа с дифференциальной (двухканальной) измерительной схемой.

На рис.2.10. показана принципиальная схема такого прибора.

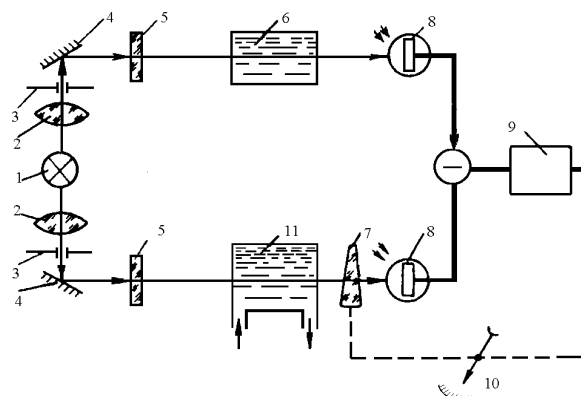


Рис. 2.10. Принципиальная схема двухканального абсорбционного спектрального компенсационного типа:

1 – источник излучения; 2 – коллиматор; 3 – диафрагма; 4 – зеркало; 5 – светофильтр; 6 – сравнительная кювета; 7 – компенсатор; 8 – фотоприемник; 9 – электронный усилитель; 10 – отсчетное устройство; 11 – рабочая кювета

От источника 1 излучение распространяется по двум аналогичным оптическим каналам - измерительному и сравнительному. В каждом из них имеется коллиматор 2, диафрагма 3, зеркало 4 и светофильтр 5. В сравнительном канале кювета 6 заполнена эталонным веществом постоянного состава и потому имеет постоянную оптическую плотность. В измерительном канале расположена рабочая кювета 11, через которую непрерывно проходит анализируемое вещество, а также компенсатор 7. На выходе из обоих каналов потоки излучения регистрируются фотоприемниками 8, включенными в дифференциальную измерительную схему. Сигнал, пропорциональный разности выходных сигналов приемников, после усиления в электронном усилителе 9 воздействует на компенсатор 7 (оптический клин) в сторону уравнивания схемы. Отсчетное устройство 10 регистрирует перемещение компенсатора, которое служит мерой концентрации определяемого компонента.

В абсорбционных спектральных концентратометрах используются главным образом излучения с длинами волн инфракрасного ($0,76 \text{ мкм} \leq \lambda$), видимого ($0,4 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 0,76$) и ультрафиолетового ($\lambda \leq 0,4 \text{ мкм}$) участков спектра.

Газоанализаторы инфракрасного поглощения в настоящее время являются наиболее распространенными абсорбционными спектральными концентромерами, в которых применяются длины волн инфракрасного диапазона. Они предназначены для измерения концентрации газов и паров веществ, молекулы которых состоят из двух и более различных атомов или ионов.

В качестве приемников-преобразователей интенсивности инфракрасного излучения чаще всего применяются оптико-акустические преобразователи, действие которых основано на свойстве газов поглощать инфракрасную радиацию.

Фотоколориметрами называются абсорбционные спектральные концентромеры, в которых используется излучение видимого диапазона спектра. В этом случае концентрация измеряется по интенсивности окраски анализируемого вещества. Фотоколориметры применяются для измерения концентрации газов и жидкостей. Обычно они работают в широкой области спектра, поэтому в качестве источников излучения в них используются лампы накаливания.

В большинстве случаев устройство фотоколориметров основано на компенсационном методе измерения. На рис.2.11 показана принципиальная схема фотоколориметра, предназначенного для измерения концентрации окрашенных растворов.

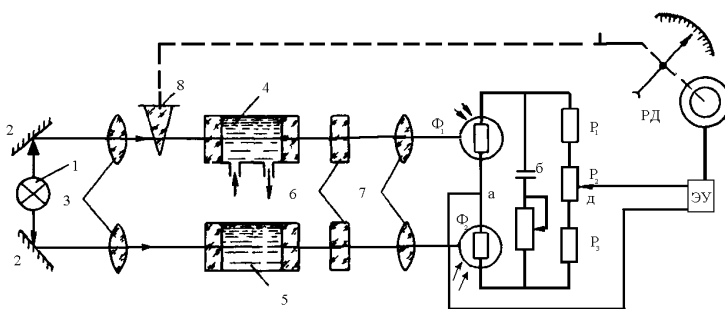


Рис. 2.11. Принципиальная схема автоматического фотоколориметрического концентромера:

1 – источник света; 2 – зеркало; 3 – конденсаторные линзы; 4 – рабочая кювета; 5 – сравнительная кювета; 6 – светофильтры; 7 – объектив; 8 – оптический клин

Свет от источника 1 распространяется двумя потоками. Отразившись от зеркал 2, они попадают в конденсаторные линзы 3, которые создают параллельные потоки, и далее проходят через рабочую 4 и сравнительную 5 кюветы. На выходе из кювет установлены светофильтры 6, которые выделяют диапазон длин волн, соответствующий максимуму поглощения контролируемого компонента. Затем потоки света фокусируются объективами 7 на светочувствительную поверхность двух фотосопротивлений Φ_1 и Φ_2 , включенных в мостовую уравновешенную схему с сопротивлениями $R_1 - R_4$ и питаемую батареей Б.

При равенстве освещенностей фотосопротивлений мост находится в равновесии, и разность потенциалов на его вершинах ab равна нулю. Если концентрация контролируемого раствора отличается от концентрации эталонного, то равенство освещенностей фотосопротивлений нарушается, мост выходит из состояния равновесия, и на входе электронного усилителя ЭУ появляется сигнал разбаланса. Усиленный сигнал приводит во вращение реверсивный двигатель РД, который через систему передач перемещает оптический клин (компенсатор) 8 в измерительном канале прибора до уравновешивания схемы. В момент компенсации стрелка отсчетного устройства показывает новое значение концентрации.

Для измерения концентрации газов обычно используют характерную цветную реакцию газа со специальным индикаторным раствором. Анализируемый газ барботирует через раствор индикатора, заполняющий измерительную кювету, окрашивая его в соответствующий цвет. Интенсивность окраски, которая зависит от концентрации газа, контролируется фотоколориметром. Сравнительная кювета заполняется чистым индикаторным раствором. Измерение производится компенсационным методом с уравновешиванием оптической измерительной схемы компенсационным клином. В качестве фотоэлектрических преобразователей используются фотоэлементы и фотосопротивления.

В некоторых случаях индикаторное вещество наносится на поверхность ленты, окраска которой изменяется при соприкосновении с анализируемым газом. Степень изменения окраски, которая зависит от концентрации газа, контролируется фотоэлектрической измерительной схемой.

Концентрацию окрашенных газов, например NO_2 , можно измерять фотоколориметром без применения индикаторов.

Газоанализаторы ультрафиолетового поглощения применяются для измерения концентрации паров ртути, хлора, бензола и других веществ, имеющих характерные линии или полосы поглощения в ультрафиолетовой части спектра.

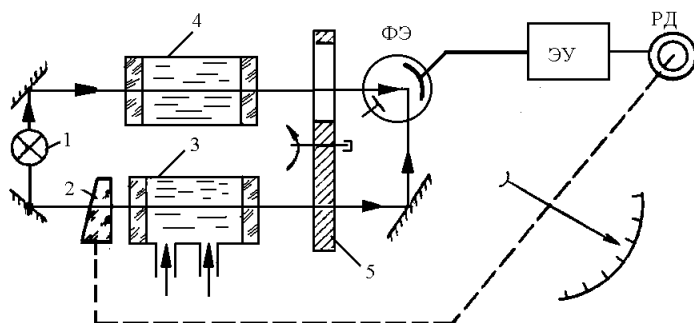


Рис 2.12. Принципиальная схема газоанализатора ультрафиолетового поглощения:

1 – ртутная лампа; 2 – компенсатор (оптический клин); 3 – рабочая кювета; 4 – сравнительная кювета; 5 – обтюратор

На рис.2.12 показана принципиальная схема газоанализатора ультрафиолетового поглощения, предназначенного для измерения концентрации паров ртути в воздухе. Источником излучения служит ртутная лампа 1, у которой около 70% энергии излучения имеет длину волны, соответствующую максимуму поглощения паров ртути. Поэтому в данном случае нет необходимости в применении светофильтров.

Концентрация измеряется компенсационным методом с уравниванием оптической измерительной схемы компенсационным оптическим клином (компенсатором) 2. Особенностью данного прибора является применения одного приемника-преобразователя интенсивности излучения в электрический сигнал. В качестве преобразователя использован фотоэлемент ФЭ, на который поочередно попадают потоки радиации с выхода измерительного и сравнительного оптического каналов; в измерительном канале находится рабочая кювета 3, а в сравнительном - кювета 4. Прерывание потоков радиации осуществляется

обтюратором 5 в противофазе, т.е. если поток измерительного канала перекрыт, то поток сравнительного канала открыт.

При равенстве интенсивности излучения на выходе каналов освещенность фотоэлемента в последовательные полупериоды остается постоянной. Электронный усилитель ЭУ чувствителен только к переменному напряжению, поэтому сигнал на его выходе равен нулю. Если же оптическая плотность рабочего канала изменяется, то равенство освещенности фотоэлемента в последовательные полупериоды нарушается. При этом на вход усилителя подается переменное напряжение, амплитуда которого пропорциональна разности интенсивностей потоков излучения в рабочем и сравнительном каналах. Усиленный сигнал приводит во вращение реверсивный двигатель РД, который через систему передач перемещает компенсационный клин и стрелку отсчетного устройства газоанализатора.

Автоматические фотонепелометры предназначены для измерения концентрации твердых взвешенных частиц в газах и жидкостях по изменению интенсивности светового потока, проходящего через слой контролируемой среды. Ослабление светового потока в этом случае объясняется рассеиванием света взвешенными частицами. В качестве источников излучения в фотонепелометрах применяются главным образом лампы накаливания, а приемниками служат фотоэлементы и фотосопротивления. Измерительные схемы фотонепелометров аналогичны схемам фотоколориметров.

2. 4. Прочие косвенные методы анализа

Рефрактометрический метод анализа основан на использовании зависимости показателя преломления анализируемого раствора от его концентрации.

В автоматических рефрактометрах применяются два основных метода измерения показателя преломления: по углу отклонения светового луча в стеклянной призме, наполненной анализируемым раствором, и метод полного внутреннего отражения.

При использовании **первого** метода обычно применяются кюветы дифференциального типа, состоящее из двух частей (рис.2.13).

Одна из них заполняется сравнительным раствором постоянной концентрации C_a , а через вторую проходит анализируемый раствор неизвестной концентрации C_x . Если $C_a = C_x$, то луч света

проходит через кювету без отклонения. Если же $C_a \neq C_x$, то угол отклонения луча φ пропорционален разности концентраций анализируемого и сравнительного растворов.

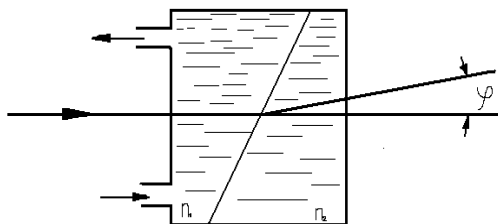


Рис. 2.13.
Кювета
дифференциального
типа: n_1 – показатель
преломления
сравнительного
раствора; n_2 –
показатель преломления
анализируемого
раствора; φ – угол
отклонения луча

Такая конструкция кюветы обеспечивает также автоматическую температурную компенсацию измерений, так как сравнительный и анализируемый раствор имеют очень близкие температурные коэффициенты изменения показателя преломления и практически одинаковую температуру.

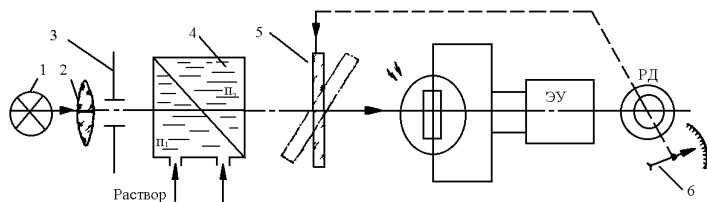


Рис. 2.14. Принципиальная схема автоматического рефрактометра с кюветой дифференциального типа:

1 – источник света; 2 – конденсаторная линза; 3 – диафрагма; 4 – кювета; 5 – компенсационная пластина; 6 – отсчетная система

На рис.2.14 приведена принципиальная схема автоматического рефрактометра, в котором использована кювета дифференциального типа. Луч света от источника 1 проходит через конденсорную линзу 2

и диафрагму 3 и попадает в кювету 4. Если концентрация контролируемого раствора равна концентрации сравнительного раствора, то луч проходит через кювету без отклонения и равномерно освещает оба фотосопротивления Φ_1 и Φ_2 .

При изменении концентрации анализируемого раствора луч света отклоняется в ту или иную сторону и равенство освещенностей фотосопротивлений нарушается. В результате на вход электронного усилителя ЭУ подается сигнал, знак и величина которого определяются отклонением концентрации контролируемого раствора от сравнительного.

Это сигнал усиливается в ЭУ и приводит во вращение реверсивный двигатель РД, который через систему передач поворачивает компенсационную пластину 5 до тех пор, пока равенство освещенностей не восстановится. При этом угол поворота пластины и связанной с ней отсчетной системы прибора 6 пропорционален изменению концентрации контролируемого раствора.

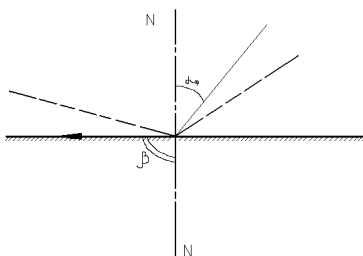


Рис. 2.15. Полное внутреннее отражение луча:

$\alpha_{\text{пр}}$ – предельный угол падения

Второй метод измерения показателя преломления основан на использовании явления полного внутреннего отражения, которое заключается в следующем (рис.2.15). При переходе луча из среды с большим показателем преломления в среду с меньшим показателем преломления можно подобрать такой предельный угол падения $\alpha_{\text{пр}}$, при котором угол преломления β будет равен 90° . В этом случае луч не попадает в оптически менее плотную среду, а проходит по границе раздела сред. При всяком другом угле падения, большем предельного, луч полностью отражается на границе раздела. Угол отражения в этом случае определяется отношением показателей преломления сред. Если у одной из них показатель преломления постоянный, то угол отражения будет зависеть только от показателя преломления второй (контролируемой) среды.

На рис.2.16 показана принципиальная схема автоматического рефрактометра, в котором используется явление полного внутреннего отражения.

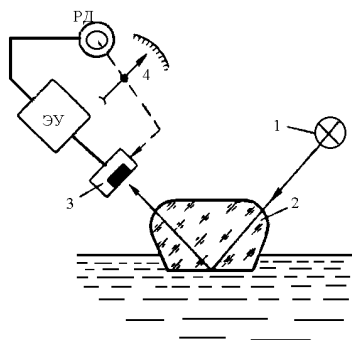


Рис. 2.16. Принципиальная схема автоматического рефрактометра, основанная на полном внутреннем отражении луча:
1 – источник света; 2 – призма; 3 – фотоэлектрический приемник; 4 – отсчетное устройство

Луч света от источника 1, попадая на очерченный по радиусу участок поверхности стеклянной призмы специальной формы 2, проходит через призму, причем угол падения луча на граничную поверхность соприкосновения призмы 2 с контролируемым раствором больше предельного, поэтому луч полностью отражается. Угол отражения контролируется фотоэлектрической следящей системой, состоящей из фотоэлектрического приемника 3, электронного усилителя ЭУ и реверсивного двигателя РД. При отклонении луча появляется выходной сигнал фотоприемника, который усиливается и приводит в действие РД. Последний перемещает фотоприемник к границе раздела света и тени. Перемещение фотоприемника, пропорциональное изменению концентрации контролируемого раствора, регистрируется отсчетным устройством 4.

Преимущество автоматических рефрактометров, в основе которых лежит метод полного внутреннего отражения, заключается в возможности контроля концентрации непрозрачных сред, например, нефтепродуктов.

Термокондуктометрический метод анализа, применяемый для измерения концентрации газов, основан на использовании различия теплопроводности отдельных компонентов газовых смесей.

Теплопроводность газовой смеси аддитивно зависит от теплопроводности отдельных компонентов:

$$\lambda_{см} = \sum_{i=1}^n c_i \lambda_i$$

где $\lambda_{см}$ — удельная теплопроводность газовой смеси из n компонентов;

c_i — относительное содержание (концентрация) i -го компонента в смеси;

λ_i — удельная теплопроводность i -го компонента. Если теплопроводность контролируемого компонента существенно отличается от теплопроводности остальных, то по теплопроводности смеси можно определить концентрацию этого компонента

Вследствие малых абсолютных значений λ_i , непосредственное измерение теплопроводности газов затруднительно. В термокондуктометрических газоанализаторах теплопроводность контролируется по изменению условий теплоотдачи нагретой током металлической нити, которые зависят от теплопроводности окружающего ее газа.

При конструировании первичного преобразователя газоанализатора создаются такие условия теплообмена, при которых основная теплоотдача нити происходит путем теплопередачи через окружающий ее газ к стенкам камеры преобразователя. Если теплопроводность газа увеличивается, то увеличивается и теплоотдача, вследствие чего температура нити уменьшается. Снижение температуры сопровождается уменьшением сопротивления нити. Соответственно при уменьшении теплопроводности газа, окружающего нить, ее сопротивление возрастает.

Принципиальная измерительная схема термокондуктометрического газоанализатора (рис. 2.17) представляет собой неуравновешенный мост, плечи которого образованы четырьмя одинаковыми нагретыми элементами (нитями) $R_1—R_4$. Температура нитей регулируется изменением силы тока, для чего используется сопротивление R .

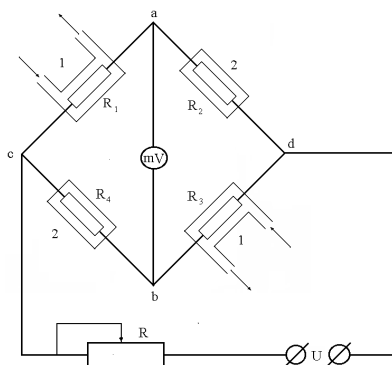


Рис. 2.17. Принципиальная измерительная схема термокондуктометрического газоанализатора:
1 — измерительные камеры; 2 — сравнительные камеры

Два элемента R_1 и R_3 помещены в измерительные камеры 1 первичного преобразователя, через которые проходит анализируемый газ. Два других элемента R_2 и R_4 находятся в изолированных камерах 2, заполненных воздухом. Все четыре камеры объединены в монолитном металлическом корпусе датчика и имеют благодаря этому одинаковую температуру. Если теплопроводность анализируемого газа отличается от теплопроводности воздуха, то условия теплоотдачи для элементов $R_1—R_3$ и $R_2—R_4$ различны, а следовательно, различны и их сопротивления. Напряжение в измерительной диагонали моста ab тем выше, чем больше разница в теплопроводности воздуха и анализируемого газа, т. е. чем больше концентрация в последнем определяемого компонента. Таким образом, шкалу милливольтметра mV , измеряющего напряжение в диагонали моста U_{ab} , можно градуировать непосредственно в единицах концентрации.

Термокондуктометрический метод анализа является неизбежным, так как теплопроводность газовой смеси зависит от теплопроводности всех ее компонентов. Поэтому для получения точных результатов измерений недопустимо присутствие в анализируемом газе компонентов, теплопроводность которых сильно отличается от теплопроводности определяемого компонента. Например, при измерении концентрации CO_2 в топочных газах предварительно выжигают содержащийся в них водород, теплопроводность которого почти в 10 раз выше, чем у CO_2 . В противном случае незначительные примеси H_2 существенно исказили бы результат измерений.

Другим источником погрешностей термокондуктометрических газоанализаторов является изменение температуры газа, так как коэффициент теплопроводности зависит от температуры, и зависимость эта у различных газов различна. Для уменьшения указанной погрешности поддерживают постоянной величину тока, нагревающего элементы $R_1—R_4$ и уравнивают температуру во всех камерах. В некоторых конструкциях газоанализаторов первичный преобразователь термостатирован.

Термокондуктометрические газоанализаторы в основном применяются для измерения концентрации H_2 , CO_2 , SO_2 , NH_3 . Погрешность измерений современных приборов этого типа не превышает 1,5 — 2,5%. Термокондуктометрические газоанализаторы широко применяются для автоматического контроля в химической промышленности.

Термохимический метод анализа применяется в основном для измерения небольших концентраций — кислорода в электролитическом водороде или водорода в электролитическом кислороде. Метод основан на измерении возникающего в результате каталитической реакции между кислородом и водородом теплового эффекта, который пропорционален концентрации определяемого компонента и контролируется по температуре в зоне реакции (рис. 2.18) термометром сопротивления R_{t1} , установленным в слое катализатора.

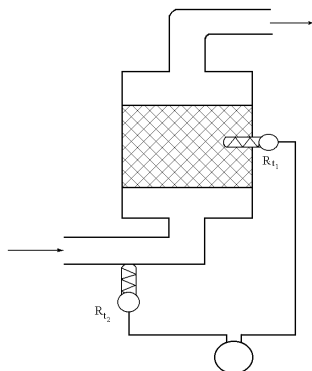


Рис. 2.18. Схема первичного преобразователя термохимического газоанализатора.

Для компенсации влияния изменений температуры анализируемого газа на результаты измерений используется второй термометр сопротивления R_{t2} , который измеряет температуру газа, поступающего в зону реакции.

Термометры включены в смежные плечи мостовой уравновешенной схемы. Сопротивление термометра R_{t1} пропорционально температуре в зоне катализатора, которая складывается из температуры исходной газовой смеси и температуры химической реакции. Сопротивление термометра R_{t2} пропорционально температуре газа, поступающего на анализ. Разность показаний термометров, пропорциональная концентрации определяемого компонента, регистрируется измерительным прибором.

Применение катализатора требует предварительной очистки анализируемого газа от веществ, которые могут вызвать его отравление (C_2 , H_2S и др.).

Термомагнитный метод анализа, применяемый для измерения концентрации кислорода в различных газовых смесях, основан на различии магнитных свойств кислорода и других газов.

Следовательно, контролировать содержание кислорода в газовой смеси можно по величине ее магнитной восприимчивости, так как последняя, в основном, будет зависеть от количества кислорода.

Непосредственно измерить магнитную восприимчивость газа чрезвычайно трудно, так как ее абсолютная величина очень мала. Поэтому для измерений в основном применяется метод термомагнитной конвекции, в котором используется способность кислорода быстро терять парамагнитные свойства при нагревании.

На рис. 2.19 показан один из наиболее распространенных вариантов первичного преобразователя термомагнитного газоанализатора. Датчик представляет собой кольцевую камеру с горизонтальной перемычкой из немагнитного материала, один из концов которой расположен между полюсами постоянного магнита. Снаружи на перемычку намотана нагревательная металлическая спираль, состоящая из двух одинаковых секций γ_1 и γ_2 нагреваемых проходящим по ним током до определенной температуры.

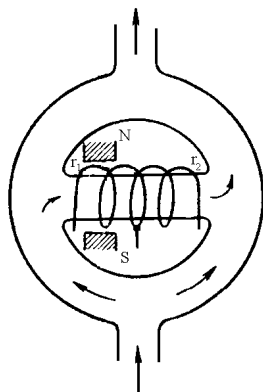


Рис. 2.19. Схема первичного преобразователя термомагнитного газоанализатора с кольцевой измерительной камерой

Анализируемый газ поступает в кольцевую камеру снизу и, разделяясь на два потока, проходит к верхнему выходному отверстию. Если в газе нет кислорода, то эти потоки одинаковы и в перемычке движения газа не происходит. При появлении в газе кислорода он втягивается магнитным полем в перемычку и попадает в зону высокой температуры, создаваемую нагревателями. При нагревании кислород утрачивает парамагнитные свойства и выталкивается из магнитного поля следующими холодными порциями газа. В результате в

перемычке возникает термомагнитная конвекция, скорость которой зависит от концентрации кислорода в анализируемом газе.

Скорость термомагнитной конвекции измеряется по степени охлаждения нагревательного элемента потоком газа в перемычке. Секция r_1 , омываемая более холодным газом, охлаждается сильнее секции r_2 . В результате охлаждения изменяется величина сопротивления секций нагревательного элемента, которые включены в схему неуравновешенного моста. Таким образом, напряжение в измерительной диагонали моста пропорционально скорости термомагнитной конвекции, т. е. пропорционально концентрации кислорода в анализируемом газе.

Точность измерения концентрации термомагнитным газоанализатором зависит от постоянства расхода газа, поступающего на анализ, и от стабильности его температуры. Поэтому оба указанных параметра стабилизируются с помощью регулятора расхода и системы термостатирования первичного преобразователя.

Метод измерения концентрации растворов по величине температурной депрессии применяется для контроля процессов выпаривания.

Температурной депрессией называется разность температур кипящего раствора и насыщенного пара при одном давлении. Функциональная зависимость величины температурной депрессии от концентрации кипящего раствора близка к линейной.

Для измерения температурной депрессии используются два термометра сопротивления, один из которых R_{t1} , контролирует температуру кипящего раствора, а второй R_{t2} температуру конденсирующего пара. При изменении давления в выпарном аппарате температура кипения раствора и температура конденсации пара изменяется приблизительно на одинаковую величину. Следовательно разность этих температур характеризует концентрацию раствора независимо от колебаний давления в выпарной установке.

Для измерения разности температур $(t_1 - t_2)$ термометры включены в смежные плечи автоматического уравновешенного моста. Чтобы можно было получить достаточную точность измерений концентрации, термометры должны быть правильно установлены:

R_{t1} устанавливается в защитном чехле в нижней части выпарного аппарата, а R_{t2} — в специальном конденсационном баке, к которому подводится соковый пар. Расход подаваемого в датчик пара должен быть таким, чтобы, проходя через слой находящегося в баке

конденсата, пар принимал температуру конденсации, соответствующую давлению в выпарном аппарате.

Метод измерения концентрации растворов по упругости насыщенных паров основан на зависимости упругости паров бинарной жидкости от соотношения ее компонентов. В автоматическом анализаторе измеряется разность ΔP между упругостью паров контролируемого и эталонного растворов.

На рис. 2.20 приведена принципиальная схема первичного преобразователя автоматического анализатора, основанного на этом методе анализа.

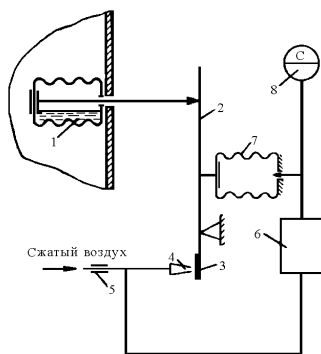


Рис. 2.20. Принципиальная схема первичного преобразователя для измерения концентрации жидкости по упругости ее насыщенных паров:

1 – сильфон; 2 – рычаг; 3 – заслонка; 4 – сопло; 5 – дроссель постоянного сечения; 6 – пневмоусилитель; 7 – сильфон обратной связи; 8 – вторичный прибор

Чувствительным элементом датчика служит сильфон 1, частично заполненный эталонным раствором. Сильфон помещается в пары контролируемой среды так, что температуры паров внутри и снаружи сильфона одинаковы. Разность упругости паров контролируемой и эталонной жидкости преобразуется сильфоном в пропорциональное усилие, для измерения которого используется специальное устройство, работающее по принципу компенсации сил. Усилие, развиваемое сильфоном, передается через рычаг 2 заслонке 3, которая изменяет свое положение относительно сопла 4.

В результате изменяется давление сжатого воздуха в линии между соплом и дросселем постоянного сечения 5. После усиления этого сигнала пневмоусилителем 6 он поступает на выход первичного преобразователя к вторичному прибору 8 и в сильфон обратной связи 7. Изменение усилия сильфона обратной связи компенсирует воздействие чувствительного элемента на рычажный механизм,

вызванное изменением состава контролируемого раствора. Таким образом, изменение состава раствора преобразуется этим датчиком в пропорциональное изменение давления сжатого воздуха.

Автоматические анализаторы этого типа применяются при контроле чистоты легкокипящего продукта, получаемого на ректификационных установках.

2.5 Хроматографический метод анализа состава газовых смесей

Хроматографический метод применяется для анализа состава сложных газовых смесей. Он основан на различной скорости сорбции отдельных компонентов анализируемой смеси специально выбранным сорбентом. Анализ по этому методу выполняется следующим образом.

Проба анализируемого вещества увлекается потоком инертного вещества-носителя и проходит через слой сорбента, заполняющего хроматографическую колонку. Скорость движения отдельных компонентов анализируемой смеси вдоль колонки зависит от интенсивности процессов сорбции: наибольшую скорость движения имеют компоненты, которые сорбируются слабее других и наоборот. Если условия для проведения анализа выбраны правильно, то за время движения через слой сорбента проба успеет полностью разделиться на отдельные компоненты, которые будут выделяться на выходе хроматографической колонки в определенной последовательности.

Всякий автоматический хроматограф состоит из трех основных функциональных блоков: дозатора пробы, хроматографической колонки и детектора, который служит для регистрации выделяющихся из колонки компонентов анализируемой смеси и определения их концентраций

Кроме того, в конструкцию прибора входит ряд вспомогательных систем: пробоприготовительная, система подачи вещества-носителя и др. По виду применяемого сорбента различают адсорбционную и распределительную (абсорбционную) хроматографию

При адсорбционной хроматографии используются твердые сорбенты, в качестве которых применяются вещества с развитой пористой поверхностью (активированный уголь, силикагель, окись алюминия, специальные сорта глин и т. д.). При распределительной хроматографии сорбентом служит слой жидкости, нанесенный на поверхность инертной твердой насадки. В качестве жидких сорбентов

применяются вазелиновое масло, дибутилфталат, нитробензол и другие вещества.

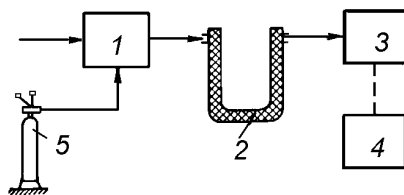


Рис. 2.21. Блок – схема автоматического газового хроматографа:

1 – дозатор; 2 – хроматографическая колонка; 3 – детектор; 4 - вторичный прибор; 5 - баллон

На рис. 2.21 показана принципиальная схема автоматического хроматографа, который работает следующим образом. Из пробоотборной системы прибора (на схеме не показана) анализируемая смесь поступает в дозатор 1, который периодически отбирает пробы и подает их на анализ.

Поток вещества-носителя (газа-носителя), поступающего из баллона 5, переносит пробу из дозатора в хроматографическую колонку 2, где происходит разделение анализируемой смеси. Измерение количества отдельных компонентов, выделяющихся из колонки, осуществляется детектором 3 и регистрируется вторичным прибором 4 в виде хроматограмм.

По принципу действия детекторы, используемые в хроматографах, разделяются на два типа: дифференциальные и интегральные.

Дифференциальные детекторы измеряют концентрацию компонента, выходящего из колонки в данный момент, в потоке вещества-носителя. Наиболее распространенными типами дифференциальных детекторов для газа являются термокондуктометрический и термохимический (они аналогичны термокондуктометрическому и термохимическому газоанализаторам). На рис. 2.22 показана типичная хроматограмма, т. е. зависимость выходного сигнала хроматографа от времени t , полученная с помощью дифференциального термокондуктометрического детектора. Отдельные пики на графике соответствуют выделению различных

компонентов смеси, а промежутки между ними соответствуют выходу из колонки чистого вещества-носителя.

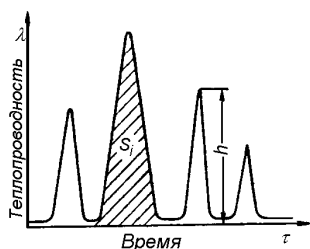


Рис. 2.22. Дифференциальная хроматограмма

Интегральные детекторы измеряют общее количество всех компонентов, выделившихся из колонки к данному моменту времени. Наиболее распространенный интегральный детектор для газов — поглотительный. Принцип действия такого детектора заключается в поглощении газа-носителя из газовой смеси на выходе колонки и измерении объема чистых выделяющихся компонентов анализируемой смеси. Обычно газом-носителем в этом случае служит CO_2 , который поглощается раствором КОН. В случае применения интегрального детектора хроматограмма имеет вид ступенчатой кривой (рис. 2.23). Высота каждой ступени H_i пропорциональна количеству соответствующего компонента в пробе.

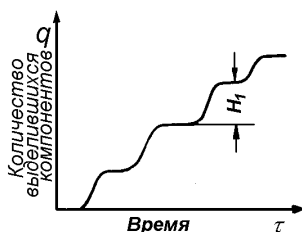


Рис. 2.23. Интегральная хроматограмма

При использовании автоматического хроматографа в качестве датчика систем автоматического регулирования проводится автоматическая расшифровка хроматограмм.

3. ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВА

Во многих случаях для обеспечения правильного хода технологического процесса в химическом производстве необходимо определять какой-либо физический или физико-химический параметр, характеризующий свойство или качество исходного материала, полупродукта или готового продукта.

3.1. Плотномеры для жидкостей

Плотность характеризует качество и однородность вещества. Приборы для автоматического измерения плотности — плотномеры — составляют весьма важный элемент в комплексной автоматизации ряда процессов в химической промышленности. Так, например, контроль и управление работой выпарных установок, абсорберов, дистилляционных и ректификационных аппаратов и т. п. требуют непрерывного измерения плотности. Иногда плотность производственных жидкостей измеряют, чтобы определить концентрацию растворенного вещества.

Наибольшее применение для измерения плотности жидкостей получили плотномеры весовые, поплавковые, гидростатические и радиоизотопные.

В весовых плотномерах плотность определяется непрерывно по изменению массы постоянного объема контролируемой жидкости.

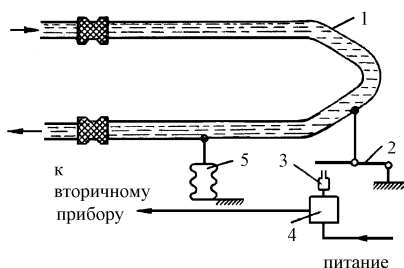


Рис. 3.1. Схема весового плотномера с пневматическим преобразователем:
1 — петлеобразная трубка; 2 — заслонка; 3 — сопло; 4 — пневматический усилитель; 5 — сильфон

На рис. 3.1 приведена принципиальная схема весового плотномера с пневматическим преобразователем. Исследуемая жидкость непрерывно протекает по петлеобразной трубке 1, имеющей гибкие резиновые патрубки или металлические сильфоны. Петлеобразная трубка соединена с заслонкой 2 пневмопреобразователя типа «сопло-заслонка».

При увеличении плотности жидкости вес петлеобразной трубки увеличивается, она опускается, зазор между соплом 3 и заслонкой 2 уменьшается, давление воздуха в преобразователе увеличивается. Пневматический унифицированный сигнал через усилитель 4 передается на сильфон 5. Давление воздуха в сильфоне, изменяющееся пропорционально изменению плотности жидкости, измеряется вторичным прибором, шкала которого градуирована в единицах плотности. Прибор измеряет плотность при фактической температуре жидкости, заполняющей в данный момент петлеобразную трубку.

Достоинства этих плотномеров — постоянное сечение трубки, по которой протекает жидкость, и достаточно большая скорость движения жидкости, что исключает осаждение на стенках петлеобразной трубки взвешенных твердых частиц.

Промышленность выпускает весовые плотномеры (ДУВ и ПЖК) на пределы измерения от 0,5 до 2,5 г/см³.

Поплавковые плотномеры изготавливаются двух типов — с плавающим поплавком и с полностью погруженным поплавком.

В приборах первого типа мерой плотности жидкости служит глубина погружения поплавка определенной формы и постоянного веса (ареометры постоянного веса).

В плотномерах второго типа глубина погружения поплавка остается постоянной и изменяется действующая на него выталкивающая сила, пропорциональная плотности жидкости (ареометры постоянного объема).

На рис. 3.2 показана принципиальная схема плотномера с плавающим поплавком. Плотномер состоит из измерительного сосуда 1, в котором плавает металлический поплавок 2. Жидкость в прибор поступает через патрубок 3 и выходит из прибора через патрубок 4. Скорость потока устанавливается при помощи дросселя постоянного сечения 5. Отражательные пластины 6 предохраняют поплавок от завихрений. Изменение плотности жидкости вызывает перемещение поплавка и связанного с ним сердечника 7, который перемещается в

катушках дифференциально-трансформаторного преобразователя. Вторичный прибор (показывающий или регистрирующий) градуируется в единицах плотности. Температурная компенсация может быть произведена с помощью термометра сопротивления, включенного в измерительную схему вторичного прибора.

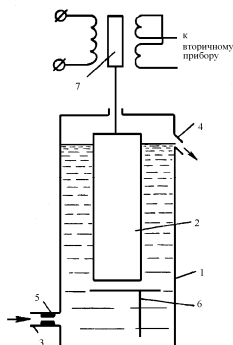


Рис.3.2. Схема плотномера с плавающим поплавком:

1 – измерительный сосуд; 2 – поплавок; 3 и 4 – патрубки; 5 – дроссель; 6 – отражательные пластины; 7 – сердечник

Плотномер может быть изготовлен из коррозионностойких материалов и применен для измерения плотности агрессивных жидкостей.

На рис. 3.3 показана принципиальная схема плотномера с полностью погруженным поплавком, в котором применен пневматический преобразователь. Жидкость из трубопровода поступает через кольцевой распределитель в измерительную камеру 1 и по отводному патрубку обратно в трубопровод. Такое направление движения жидкости устраняет действие потока на поплавок 2. Поплавок насажен на конце коромысла 3, которое проходит через уплотнительный сильфон 4. Коромысло уравнивается противовесом 5. При увеличении плотности жидкости поплавок под действием увеличивающейся выталкивающей силы поднимается и равновесие системы нарушается.

Восстановление равновесия производится при помощи пневматического преобразователя.

При поднятии поплавка заслонка 6 опускается, давление воздуха на выходе из сопла 7 и в мембранной коробке 9 повышается, толкатель 12 мембраны через рычаг 10 и ролик 11 перемещает правый конец коромысла вверх, и заслонка отводится от сопла.

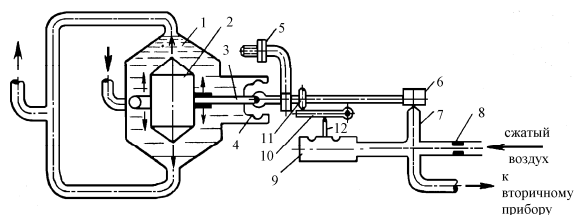


Рис. 3.3. Схема плотномера с полностью погруженным поплавком и пневматическим преобразователем:

1 — измерительная камера; 2 — поплавок; 3 — коромысло; 4 — уплотнительный сильфон; 5 — противовес; 6 — заслонка; 7 — сопло; 8 — дроссель; 9 — мембранная коробка; 10 — рычаг; 11 — ролик; 12 — толкатель мембраны

Плотность жидкости определяется по давлению воздуха на мембрану, пропорциональному действующей на поплавок выталкивающей силе. Шкала вторичного прибора градуирована в единицах плотности. Нижний предел измерений регулируется перемещением противовеса 5; верхний предел и диапазон измерений можно менять изменением размеров поплавка и мембраны. Расход воздуха устанавливается с помощью дросселя постоянного сечения 8.

Принцип действия **гидростатических плотномеров** основан на том, что давление P в жидкости на некоторой глубине H от поверхности равно весу столба жидкости высотой H (при площади основания 1 см^2):

$$P = H\rho g$$

где ρ — плотность жидкости;

g — ускорение силы тяжести.

Таким образом, давление столба жидкости постоянной высоты H является мерой плотности жидкости.

В плотномерах этого типа давление столба жидкости обычно измеряется косвенно, путем непрерывного продувания через жидкость инертного газа (воздуха), давление которого пропорционально давлению столба жидкости (пьезометрические плотномеры). Такой метод измерения давления столба жидкости позволяет легко осуществить передачу показаний на расстояние. Характер продуваемого инертного газа выбирается, в зависимости от свойств жидкости, плотность которой измеряется. Расход продуваемого

инертного газа должен быть небольшим и постоянным, так как колебание расхода может вызвать дополнительную погрешность измерения.

Обычно измеряют разность давлений двух столбов жидкости разной высоты (дифференциальный метод). Это дает возможность исключить влияние на точность измерения колебаний уровня исследуемой жидкости и автоматически осуществить температурную компенсацию.

В пьезометрическом дифференциальном двухжидкостном плотнотоме с непрерывной продувкой инертного газа (рис. 3.4) исследуемая жидкость непрерывно протекает через сосуд 1, в котором поддерживается постоянный уровень. Сосуд 2 постоянного уровня заполнен эталонной (сравнительной) жидкостью с известной плотностью.

Инертный газ по трубке 3 проходит через слой исследуемой жидкости постоянной высоты и далее выходит из прибора. Тот же инертный газ по трубке 4 проходит через слой постоянной высоты эталонной жидкости, затем по дополнительной трубке 5 газ проходит через небольшой слой исследуемой жидкости и далее уходит из прибора. Прохождение газа из дополнительной трубки через небольшой слой исследуемой жидкости обеспечивает независимость показаний плотнотоме от колебания уровня жидкости в сосуде 1.

При известных глубинах погружения пьезометрических трубок и известной плотности эталонной жидкости ρ_0 показание дифференциального манометра 6 является мерой плотности ρ исследуемой жидкости.

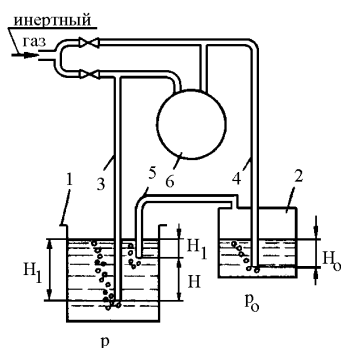


Рис. 3.4. Схема пьезометрического дифференциального плотнотоме с непрерывной продувкой газа:

- 1 — сосуд для исследуемой жидкости;
- 2 — сосуд с эталонной жидкостью;
- 3—5 — трубки; 6 — дифманометр

Эталонная жидкость подбирается с плотностью, равной наименьшей плотности исследуемой жидкости.

В существующих приборах сосуд 2 с эталонной жидкостью находится в сосуде 1 (в исследуемой жидкости). При одинаковых температурных коэффициентах эталонной и исследуемой жидкости и равенстве их температур автоматически обеспечивается температурная компенсация.

Основное преимущество **радиоизотопных плотномеров** — бесконтактность измерения. Это облегчает измерение плотности агрессивных или весьма вязких жидкостей, а также жидкостей, находящихся при высоких температурах и давлениях. В этих плотномерах используется преимущественно γ -излучение.

Измерение плотности основано на определении изменений в интенсивности прямого пучка γ -лучей после прохождения их через измеряемую среду.

На рис. 3.5 приведена принципиальная блок-схема радиоизотопного плотномера компенсационного типа.

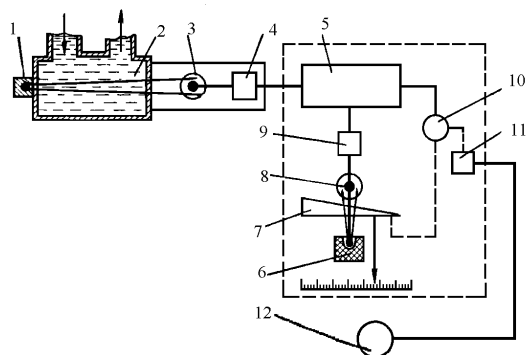


Рис. 3.5. Блок-схема радиоизотопного плотномера компенсационного типа:

1 и 6 — источники излучения; 2 — объект измерения; 3 и 8 — приемники излучения; 4 и 9 — формирующие блоки; 5 — электронный преобразователь; 7 — компенсационный клин; 10 — реверсивный двигатель; 11 — дифференциально-трансформаторный преобразователь; 12 — вторичный прибор.

В технологическом трубопроводе установлен источник радиоактивного излучения 1 (Co^{60} , Cs^{136}) и приемник излучения 3.

γ -лучи от источника проходят через стенки объекта измерения, слой жидкости и попадают в приемник излучения. Электрический сигнал приемника, являющийся функцией измеряемой плотности, формируется блоком 4 и далее передается на вход электронного преобразователя 5, куда поступает также сигнал от дополнительного устройства. Последнее включает в себя радиоактивный источник излучения 6, металлический компенсационный клин 7, приемник излучения 8 и формирующий блок 9. Источник и приемник излучения дополнительного устройства такие же, как 1 и 3.

Разность сигналов усиливается в электронном преобразователе и подается на реверсивный электродвигатель 10, который связан с компенсационным металлическим клином 7 и плунжером дифференциально-трансформаторного преобразователя 11. В зависимости от величины и знака сигнала в электронном преобразователе реверсивный двигатель перемещает металлический клин до тех пор, пока разность сигналов станет равной нулю. Величина перемещения клина, с которым связана стрелка показывающего прибора, пропорциональна изменению плотности жидкости.

Плотномер включает в себя еще показывающий прибор (электронный блок) и вторичный дифференциально-трансформаторный прибор 12.

3.2 Вискозиметры

Для многих продуктов вязкость представляет собой величину, определяющую качество и состав (искусственное волокно, синтетические смолы, растворы каучука, краски, смазочные масла и др.).

Вязкостью называется свойство жидкостей и газов, характеризующее их сопротивляемость скольжению или сдвигу.

Для измерения вязкости жидкостей применяются вискозиметры, работа которых основывается на следующих методах: истечения; падающего тела; крутящего момента; вибрационном (измерение скорости затухания упругих колебаний пластины в вязкой жидкости).

При любом методе измерения вязкости нужно иметь в виду, что вязкость в значительной степени зависит от температуры и, как правило, с увеличением температуры падает. Поэтому температуру,

при которой определяется вязкость вещества, необходимо всегда точно знать и поддерживать постоянной во время измерений.

Вязкоизметры истечения (капиллярные вязкоизметры)

Подобляющее большинство капиллярных вязкоизметров — лабораторные приборы.

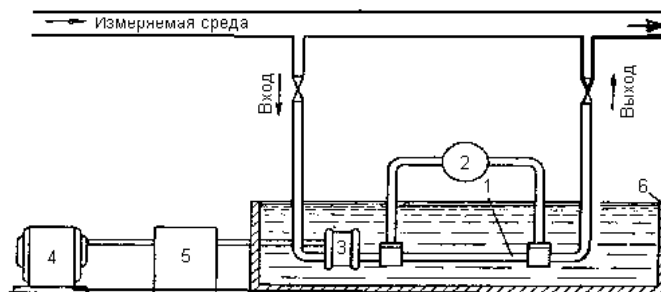


Рис. 3.6. Принципиальная схема автоматического капиллярного вязкоизметра: 1-капиллярная трубка; 2-дифманометр; 3-шестеренный насос; 4-синхронный двигатель; 5 — редуктор; 6 — масляный термостат

На рис. 3.6 показана принципиальная схема автоматического капиллярного вязкоизметра. Вязкость определяется по перепаду давления на концах капиллярной трубки 1, через которую прокачивается контролируемая жидкость. Перепад давления замеряется чувствительным дифманометром 2, шкала которого градуирована в единицах динамической вязкости. Диаметр и длина капиллярной трубки выбираются в зависимости от желаемых пределов измерения вязкости. Строго постоянное количество жидкости подается шестеренным насосом 3, который приводится во вращение синхронным двигателем 4 с редуктором 5. Вязкоизметр установлен в масляном термостате 6, имеющем постоянную температуру.

Погрешность капиллярных вязкоизметров составляет $\pm 2\%$ от верхнего предела шкалы и определяется в основном точностью поддержания температуры измеряемой среды и расхода.

Вискозиметры с падающим телом

На рис. 3.7 показана принципиальная схема автоматического вискозиметра дискретного действия. Автоматический подъем шарика 1 в исходное положение производится восходящим потоком исследуемой жидкости, создаваемым шестеренным насосом 2. Одновременно с подъемом шарика шестеренный насос отбирает пробу жидкости из резервуара 3 в мерную трубу 4. Шарик, находясь в нерабочем положении у нижней ограничивающей сетки 5, при включении насоса поднимается и останавливается у верхней ограничивающей сетки 6. В момент касания шарика с сеткой 6 насос автоматически отключается, и шарик падает в неподвижной среде.

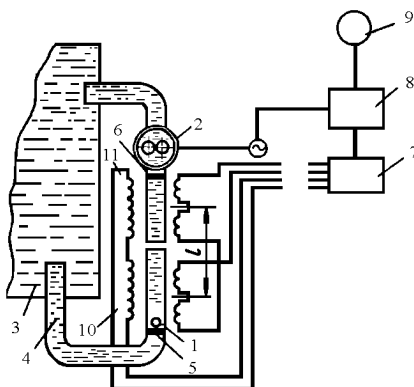


Рис 3.7. Принципиальная схема автоматического вискозиметра дискретного действия с падающим шариком

1 – шарик; 2 – шестеренчатый насос; 3 – резервуар; 4 – мерная трубка; 5 и 6 – ограничивающие сетки; 7 – электронный усилитель; 8 – релейный блок; 9 – вторичный прибор; 10 и 11 – катушки.

Измерение вязкости сводится к отсчету времени, в течение которого шарик проходит фиксированный участок пути. На мерную трубу 4, выполненную из немагнитного материала, надеты катушки 10 и 11, первичные и вторичные обмотки которых соединены по дифференциально-трансформаторной схеме. При прохождении шарика

через катушки на выходе измерительной схемы возникает сигнал разбаланса, который усиливается электронным усилителем 7.

Автоматическое включение шестеренного насоса и автоматический отсчет времени падения шарика производят релейным блоком 8 и вторичным прибором 9. Вторичный прибор может быть автоматическим с дифференциально-трансформаторной схемой или им может служить электрический секундомер.

Пределы измерения вискозиметра можно менять в широком диапазоне установкой различных расстояний между катушками и подбором размера шарика. Вискозиметр позволяет производить измерения не только в емкостях, но и в трубопроводах.

Вискозиметры с падающим шариком в конструктивном отношении совершенствуются по линии повышения точности измерения благодаря применению электромагнитных, оптических и радиоизотопных методов фиксации времени движения шарика в испытываемой жидкости.

Вискозиметры, основанные на измерении крутящего момента (ротационные)

При вращении тела в вязкой жидкости возникает противодействующий момент, обусловленный вязкостным сопротивлением.

Крутящий момент измеряется различными способами, например:

1) Определение силы тока, потребляемой электродвигателем привода вращающегося тела.

Обычно используются однофазные синхронные двигатели или двигатели постоянного тока с автоматическим регулированием числа оборотов. Ток, потребляемый приводом электродвигателя, изменяется в зависимости от вязкости жидкости, причем для различных вращающихся тел эта зависимость различна (при постоянной скорости вращения двигателя). В качестве измерительного (вторичного) прибора используется обычно автоматический потенциометр.

2) Определение угла поворота упругой подвески или уравновешивающей пружины.

В этих приборах момент вязкостного сопротивления уравновешивается упругим моментом подвески или пружины, угол поворота которых пропорционален моменту. Иногда для передачи

движения применяется магнитная муфта, смещение которой является мерой вязкости. Приводом вращающегося тела служит синхронный двигатель.

В ротационных вискозиметрах с двумя коаксиальными цилиндрами пространство между ними заполняется исследуемой жидкостью. При вращении одного из цилиндров с постоянной угловой скоростью жидкость стремится сообщить вращение второму цилиндру. Для сохранения второго цилиндра в покое к нему должен быть приложен момент, равный и противоположный по знаку моменту, передаваемому жидкостью.

Существует ряд способов измерения крутящего момента.

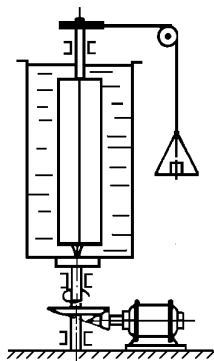


Рис. 3.8. Схема вискозиметра с коаксиальными цилиндрами

В приборе, показанном на рис. 3.8, наружный цилиндр, заполненный исследуемой жидкостью, равномерно вращается. Внутренний цилиндр удерживается грузом на весовой платформе. Вращающий момент равен произведению силы тяжести уравнивающего груза на радиус шкива, к которому прикреплена поддерживающая весовую платформу нить.

Могут быть использованы и другие методы измерения момента на оси ведомого цилиндра (по силе тока, питающего двигатель, приводящий во вращение цилиндр; по углу сдвига между полюсами статора и ротора синхронного двигателя, вращающего цилиндр; по углу закручивания гибкой нити или пружины и т. п.).

Постоянные величины ротационных вискозиметров определяются либо аналитически, либо экспериментально по эталонным жидкостям. Характерная особенность ротационных вискозиметров — весьма широкий диапазон измерений от $0,01$ до 1000 $\text{н} \cdot \text{сек}/\text{м}^2$.

Вибрационные вискозиметры

Вибрационные вискозиметры позволяют оценивать вязкость по изменению амплитуды колебаний пластины. Это изменение

амплитуды фиксируется и по ее величине судят об изменении вязкости.

Чаще всего используются колебания ультразвуковой частоты 23—28 кГц (ультразвуковые вискозиметры).

Пластина 1 из магнитострикционного материала закреплена в торце гильзы 3. Нижняя половина пластины помещена в жидкость, вязкость которой измеряется. В гильзе имеется возбуждающая катушка 2, питаемая от генератора импульсов 4. На катушку подается импульс тока длительностью около 20 мксек, в результате чего в пластине возникают продольные колебания (магнитоупругая деформация), затем возбуждение снимается и пластина совершает затухающие колебания. Частота колебаний определяется геометрией пластины, а амплитуда затухания — вязкостью жидкости.

На рис. 3.9 показана блок-схема ультразвукового вискозиметра, измеряющего интенсивность затухания ультразвуковых колебаний.

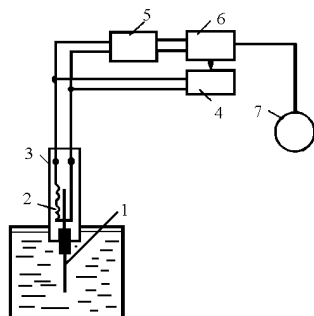


Рис. 3.9. Блок-схема ультразвукового вискозиметра, измеряющего интенсивность затухания ультразвуковых колебаний:

1 — пластина; 2 — возбуждающая катушка; 3 — гильза; 4 — генератор импульсов; 5 — усилитель; 6 — детектор с триггером на выходе; 7 — измерительный прибор

В момент подачи импульса, возбуждающего катушку, одновременно осуществляется его усиление и детектирование. В результате триггер запирает генератор.

При колебании пластины благодаря обратному магнитострикционному эффекту в катушке наводится некоторая э.д.с., имеющая частоту колебаний пластины. Эта э.д.с. обеспечивает

запирание генератора импульсов до момента окончания затухания колебаний пластины (уменьшение амплитуды до 0,002 первоначальной величины), после чего генератор импульсов снова возбуждается. Таким образом, мерой интенсивности затухания является величина интервалов времени между последовательным возбуждением генератора импульсов. Чем больше вязкость жидкости, тем меньше интервалы между импульсами.

Измерительный прибор, градуированный в единицах вязкости, измеряет среднюю величину интервала импульсов. Погрешность прибора порядка $\pm 1\%$.

Ультразвуковые вискозиметры могут быть использованы для непрерывного контроля различных жидкостей в технологических потоках. Диапазон измерения этих вискозиметров от 0,0001 до $100 \text{ н} \cdot \text{сек}/\text{м}^2$.

3.3. Влагомеры для газов и твердых тел

Для автоматического определения влажности газов чаще всего используются психрометрический метод и метод точки росы.

Для определения влажности твердых тел обычно применяют косвенные методы, позволяющие определять влажность путем измерения функционально связанной с ней физической величины. Из косвенных методов для автоматического непрерывного измерения влажности наибольшее распространение получили кондуктометрический метод и метод диэлектрической проницаемости.

Психрометрический метод

Психрометр имеет два одинаковых термометра, из которых у одного, называемого мокрым, тепловоспринимающая часть все время остается влажной, соприкасаясь с гигроскопическим телом, всасывающим воду из сосуда.

При испарении влаги с увлажненной поверхности мокрого термометра температура его понижается. В результате создается разность температур мокрого (t_{θ}) и сухого (t_c) термометров, называемая психрометрической разностью ($t_c - t_{\theta}$).

Относительная влажность ϕ в зависимости от психрометрической разности выражается уравнением

$$\varphi = \frac{p_e - A \cdot (t_c - t_e)}{p_c},$$

где p_e — упругость паров, насыщающих испытуемую среду при температуре t_e , влажного термометра;

p_c — упругость паров, насыщающих испытуемую среду при температуре t_c сухого термометра;

A — психрометрический коэффициент, зависящий от конструкции психрометра, скорости обдувания влажного термометра газом и давления газа.

Коэффициент A определяется по психрометрическим таблицам, составленным для определенных конструкций психрометров. Наибольшее влияние на величину A оказывает скорость обдувания влажного термометра газом. С возрастанием скорости газового потока коэффициент A быстро убывает и при скоростях больше 2,5—3 м/сек практически остается постоянным. В преобразователях промышленных психрометров предусматриваются устройства, обеспечивающие постоянную скорость газового потока не ниже 3—4 м/сек.

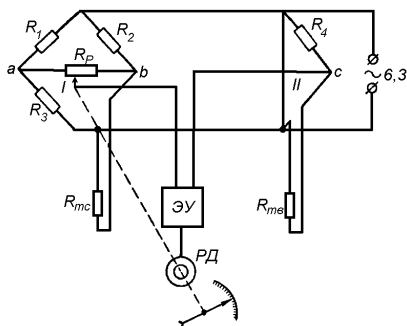


Рис. 3.10. Схема электрического психрометра

В преобразователях электрических психрометров для определения температур обычно применяются металлические термометры

сопротивления. На рис. 3.10 показана принципиальная схема электрического психрометра. Измерительная часть прибора состоит из двух мостов / и //. Оба моста питаются переменным током от обмотки силового трансформатора электронного усилителя ЭУ и имеют два общих плеча R_1 и R_3 , плечо R_2 (мост /) и R_4 (мост //). Сухой термометр сопротивления R_{mc} включен в плечо моста /, мокрый R_{me} — в плечо моста //.

Разность потенциалов на вершинах a и b диагонали моста / пропорциональна температуре сухого термометра сопротивления, а

разность потенциалов на вершинах a и c — температуре мокрого термометра сопротивления.

Падение напряжения между точками b и c диагонали двойного моста пропорционально разности температур сухого и мокрого термометров сопротивления. Равновесие измерительной схемы устанавливается автоматически изменением положения движка реохорда R_p , приводимого в движение реверсивным двигателем $РД$. Одновременно двигатель переставляет стрелку прибора.

Преимущества психометрического метода - вполне удовлетворительная точность при положительных температурах и незначительная инерционность. Недостатки - зависимость результатов измерения от скорости движения газов и колебаний атмосферного давления, а также понижение чувствительности и рост погрешности измерений с понижением температуры.

Метод точки росы

При этом методе испытуемый газ охлаждают до наступления насыщения, т. е. до точки росы. Методом точки росы можно измерять влажность газа при любых давлениях.

При неизменном давлении точка росы не зависит от температуры исследуемого газа. Для определения момента наступления точки росы обычно используют охлаждаемое металлическое зеркало, температуру которого в момент выпадения конденсата на нем фиксируют как точку росы. Рабочая поверхность зеркала должна быть обезжирена. При наличии в исследуемом газе пыли, масел, тяжелых углеводородов и других загрязнений, необходимо предусматривать автоматическую очистку поверхности зеркала перед каждым измерением.

В автоматических приборах появление точки росы на зеркальной поверхности определяется по ослаблению светового потока, отраженного от зеркала и воспринимаемого приемником.

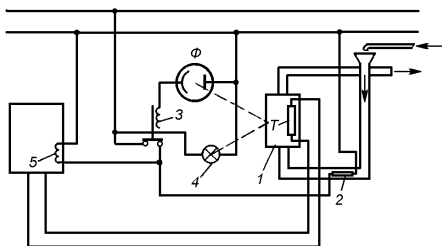


Рис. 3.11 – Схема автоматического гигрометра по точке росы: 1 – полый цилиндр; 2 – электрический нагреватель; 3 и 5 – реле; 4 – лампа накаливания

На рис. 3.11 показана принципиальная схема автоматического гигрометра по точке росы с использованием зеркала и фотоэлемента. Зеркалом является отполированная торцовая поверхность полого цилиндра 1 из нержавеющей стали, помещенного в среде газа, влажность которого измеряется. Внутренняя полость цилиндра охлаждается непрерывно протекающей жидкостью. Температура охлаждающей жидкости регулируется электрическим нагревателем 2, управляемым электромагнитным реле 3, по обмотке которого протекает фототок фотоэлемента Φ . Фотоэлемент освещается отраженным от зеркальной поверхности цилиндра световым потоком лампы накаливания 4.

Температура поверхности цилиндра (точка росы) измеряется термометром сопротивления T . Вторичным прибором служит записывающий логометр или милливольтметр с падающей дужкой. Реле 5, управляющее работой падающей дужки, управляется другим электромагнитным реле 3. Работа обоих реле синхронизирована таким образом, что стрелка вторичного прибора прижимается падающей дужкой в те моменты времени, когда на стенках цилиндра (зеркале) появляется туман, т. е. когда стенки цилиндра (зеркала) охлаждаются до точки росы.

При этом вследствие осаждения на поверхности зеркала тумана световой поток, падающий на фотоэлемент, уменьшается и благодаря уменьшению фототока, срабатывает реле 3, замыкая цепь электронагревателя 2. Охлаждающая жидкость принимает температуру выше точки росы, туман на зеркале исчезает, фототок возрастает, и реле 3 снова включает электронагреватель. Таким образом, температура зеркальной поверхности цилиндра все время колеблется около точки росы.

Для определения влажности твердых материалов применяют кондуктометрический метод и метод диэлектрической проницаемости.

Кондуктометрический метод, основан на зависимости электрических свойств материалов от их влагосодержания.

Преобразователи кондуктометрических влагомеров представляют собой два электрода, конструктивно выполненных в виде плоских пластин, цилиндрических трубок, роликов и т. п.

Из измерительных схем наибольшее распространение получили мостовые схемы.

Метод диэлектрической проницаемости

Большинство капиллярно-пористых тел имеют диэлектрическую проницаемость $\varepsilon=1\div 6$ (у воды $\varepsilon = 81$). Присутствие влаги в твердом материале значительно влияет на величину диэлектрической проницаемости.

Определение величины диэлектрической проницаемости обычно сводится к измерению емкости конденсатора. Преобразователи емкостных влагомеров выполняются в виде двух плоских пластин или двух концентрических цилиндров, пространство между которыми заполняется исследуемым материалом.

Для большинства материалов абсолютная величина емкости составляет несколько пикофард. Для измерения такой небольшой емкости с достаточной точностью обычно применяют высокочастотные резонансные измерительные схемы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. ИЗМЕРЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА И РАСХОДА МАТЕРИАЛОВ
 - 1.1. Счетчики количества жидкостей и газов
 - 1.2. Расходомеры переменного перепада давления
 - 1.3. Расходомеры переменного уровня
 - 1.4. Расходомеры постоянного перепада давления
 - 1.5. Расходомеры электромагнитные (индукционные)
 - 1.6. Измерение количества твердых и сыпучих материалов
 - 1.7. Автоматические порционные весы
 - 1.8. Автоматические конвейерные весы
 - 1.9. Дозирование твердых и жидких материалов. Механический объемный дозатор. Циферблатный указатель с фотоприставкой. Насосы-дозаторы
 - 1.10. Принципиальная схема автоматических весовых дозаторов с механическим регулированием подачи материала.
 - 1.11. Принципиальная схема ленточного дозатора с электромагнитным питателем
 - 1.12. Принципиальная схема автоматического ленточного весового дозатора с пневматическим вибрационным питателем и пневматическим регулятором.

2. МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СОСТАВА МАТЕРИАЛОВ
 - 2.1. Задачи анализа состава материалов
 - 2.2. Электрокондуктометрический метод анализа
 - 2.3. Бесконтактные электрокондуктометры
 - 2.4. Потенциометрический метод анализа
 - 2.5. Принципиальная схема двухканального абсорбционного спектрального компенсационного типа
 - 2.6. Газоанализаторы инфракрасного поглощения
 - 2.7. Фотоколориметры
 - 2.8. Газоанализаторы ультрафиолетового поглощения
 - 2.9. Рефрактометры
 - 2.10. Термокондуктометрические анализаторы
 - 2.11. Термохимический метод анализа
 - 2.12. Термомагнитные анализаторы
 - 2.13. Метод измерения концентрации растворов по величине температурной депрессии
 - 2.14. Метод измерения концентрации растворов по упругости насыщенных паров
 - 2.15. Хроматографы. Принцип действия, конструкции.. Детекторы.
3. ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВА
 - 3.1. Весовые плотномеры для жидкостей
 - 3.2. Поплавковые плотномеры
 - 3.3. Гидростатические плотномеры
 - 3.4. Радиоизотопные плотномеры
 - 3.5. Вискозиметры истечения (капиллярные вискозиметры)
 - 3.6. Вискозиметры с падающим телом
 - 3.7. Вискозиметры, основанные на измерении крутящего момента (ротационные)
 - 3.8. Схема вискозиметра с коаксиальными цилиндрами
 - 3.9. Вибрационные вискозиметры
 - 3.10. Психрометры
 - 3.11. Гигрометры
 - 3.12. Определение влажности твердых материалов

ЛИТЕРАТУРА

1. Казаков А.В., Кулаков М.В., Мелюшев Ю.К. Основы автоматики и автоматизации химических производств. М.: Химия. 1970. —230 С.
1. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств. М.: Химия, 1984. —256 С.
2. Мелюшев Ю.К. Основы автоматизации химических производств. М.: Химия, 1973, 368 с.
3. Мурин Г.А. Теплотехнические измерения: Учебник для техникумов.- 5-е изд., перераб. и доп.- М.: Энергия, 1979. – 424 с.
4. Петров И.К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности. — М.: Агропромиздат, 1985 —344 с.
5. Фарзани Н.Г., Илясов Л.В., Азим-Заде А.Ю. Технологические измерения и приборы: Учеб. для студ. вузов по спец. "Автоматизация технологических процессов и производств".- М.: Высш. шк., 1989.- 456с.
6. Харт Х. Введение в измерительную технику: Пер. с нем.- М.: Мир, 1999, 391 с.
7. Шавров А.В., Коломиец А.П. Автоматика.- М.: Колос, 1999. – 264 с.
8. Шкатов Е.Ф. Технологические измерения и КИП на предприятиях химической промышленности. —М: Химия, 1986 — 320 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ИЗМЕРЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА И РАСХОДА МАТЕРИАЛОВ	3
1.1 Счетчики количества жидкостей и газов	3
1.2. РАСХОДОМЕРЫ ЖИДКОСТЕЙ, ГАЗОВ И ПАРОВ	5
1. 3 ИЗМЕРЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ТВЕРДЫХ И СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ	14
1.4 ДОЗИРОВАНИЕ ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ МАТЕРИАЛОВ	19
2. МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СОСТАВА МАТЕРИАЛОВ	26
2.1. ЭЛЕКТРОКОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА	27
2.2. ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА.....	33
2.3. АБСОРБЦИОННЫЕ МЕТОДЫ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА.....	37
2. 4. ПРОЧИЕ КОСВЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА	42
2.5 ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА СОСТАВА ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ	52
3. ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВА.....	55
3.1. Плотномеры для жидкостей	55
3.2 Вискозиметры.....	61
3.3. Влагомеры для газов и твердых тел	67
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	71
ЛИТЕРАТУРА.....	73
СОДЕРЖАНИЕ.....	74