

# Технические средства систем регулирования процессов органического синтеза

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

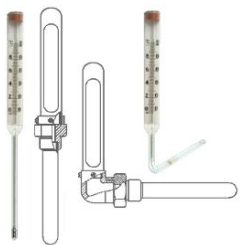


**Средство измерения**, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме **доступной для непосредственного восприятия наблюдателем**, называют **Измерительным прибором**.

**Средство измерения**, вырабатывающий сигнал в форме, удобной для передачи, преобразования, обработки и/или хранения, но **непосредственно не воспринимается наблюдателем**, называется **Измерительным преобразователем**.

**Измерительные приборы и преобразователи температуры.** Температура вещества - величина, характеризующая степень нагретости, которая определяется внутренней кинетической энергией теплового движения молекул. Измерение температуры практически возможно только методом сравнения степени нагретости двух тел. В устройствах для измерения температуры обычно используют изменение какого-либо физического свойства тела, однозначно зависящего от его температуры и легко поддающегося измерению. К числу свойств, положенных в основу работы приборов для измерения температуры, относятся объемное расширение тел, изменение давления вещества в замкнутом объеме, возникновение термоэлектродвижущей силы, изменение электрического сопротивления проводников и полупроводников, интенсивность излучения нагретых тел и др. Температуру измеряют двумя основными способами контактным и бесконтактным. **Контактный способ.** Основан на прямом контакте измерительного прибора или преобразователя с исследуемым объектом. **Бесконтактный способ.** Основан на восприятии тепловой энергии, передаваемой лучеиспусканием и воспринимаемой на расстоянии от исследуемого объекта.

**Термометры расширения** - принцип действия термометров расширения основан на принципе изменения объема жидкости (жидкостные) или линейных размеров твердых тел (деформационные) при изменении температуры.



Действие *жидкостных термометров* основано на различии коэффициентов теплового расширения термометрического вещества (ртуть, спирт, керосин, толуол и др.) и оболочки, в которой оно находится (термометрическое стекло или кварц). Такие термометры применяются для местных измерений температур в пределах от  $-90$  до  $600$  °С. Их основные достоинства—простота и высокая точность измерения. Недостатки—невозможность ремонта, отсутствие автоматической записи и передачи показаний на расстояние.

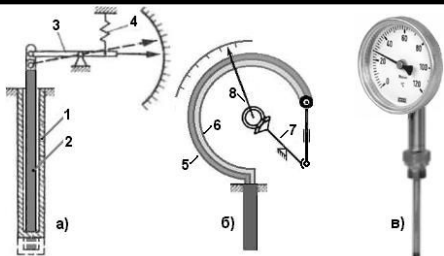


Рис.1.2. Деформационные dilatометрический (а) и биметаллический (б) термометры и их внешний вид (в).

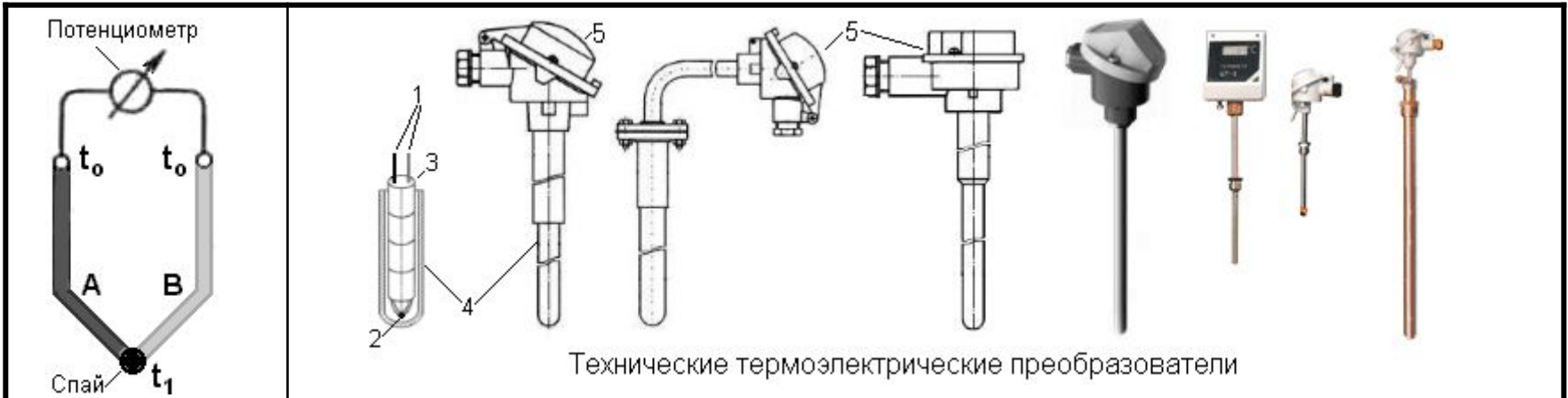
Работа *деформационных термометров* основана на различии коэффициентов линейного расширения твердых тел, из которых выполнены чувствительные элементы этих термометров. К деформационным относятся dilatометрические и биметаллические термометры. Деформационные термометры изготавливают на пределы от  $-150$  до  $+700$ °С, класс точности от 1 до 2. Их используют в тепловых реле, в устройствах сигнализации, а также в качестве измерительных преобразователей автоматических систем регулирования (АСР).



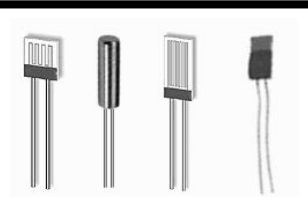
Рис.1.3. Принципиальная схема манометрического термометра

Принцип работы *манометрических термометров* основан на зависимости давления рабочего вещества (газа, жидкости или паро-жидкостной смеси), находящегося в замкнутом объеме (т.е. вещества, лишенного возможности расширяться) от температуры. Манометрические термометры обычно включают в себя термобаллон 1, капиллярную трубку 2, полую трубчатую пружину 4, один конец которой жестко закреплен в держателе 3, передаточный механизм 8 с поводком, зубчатым сектором и стрелку 6. Вся система заполняется рабочим веществом.

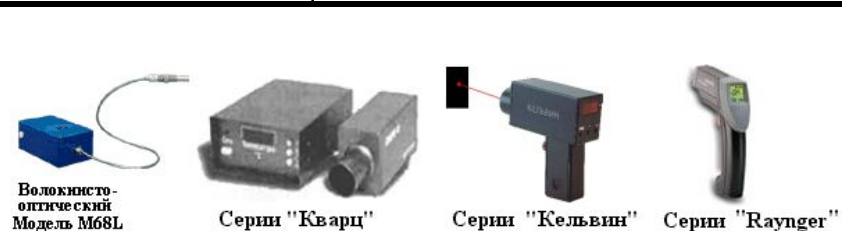
## Термоэлектрические преобразователи температуры



**Термопары.** Предназначены для измерения температуры в интервалах от  $-50$  до  $2000^{\circ}\text{C}$ . Термоэлектрические термометры состоят из термоэлектрического преобразователя – термопары и вторичного прибора. Термопара представляет собой термочувствительный элемент в виде двух спаянных друг с другом проводников из разнородных металлов или полупроводников. Принцип действия термопары основан на свойстве разнородных металлов (полупроводников) образовывать в паре (спаяе) термоэлектродвижущую силу (ТЭДС), зависящую от природы металлов, разности температуры спая и свободных концов проводников. Так, если составить замкнутую цепь из двух разнородных проводников (термоэлектродов) А и В и нагреть один ее спай до температуры  $t_1$ , то в цепи возникнет электрический ток.

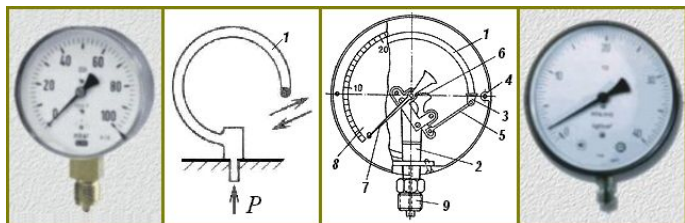


**Термометры сопротивления.** Принцип действия основан на свойстве проводников и полупроводников изменять свое электрическое сопротивление ( $R$ ) при изменении температуры ( $t$ ), при этом вид функции  $R = f(t)$  зависит от природы материала. Для изготовления чувствительных элементов серийных термосопротивлений применяются чистые металлы - платина, медь, никель, железо и др. В зависимости от типа металла верхние пределы измерения температуры составляют от  $-100$  до  $600^{\circ}\text{C}$ .

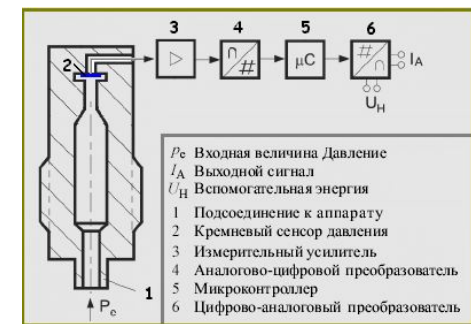


**Пирометры.** Измерение температуры основано на зависимости интенсивности излучения нагретых тел, пламени и газовых потоков от температуры (энергетической яркости объекта), которая преобразуется в электрический сигнал. При этом измерение температуры основано на **бесконтактном способе**. В промышленности органического синтеза пирометры используются главным образом для измерения температуры в процессах пиролиза и крекинга.

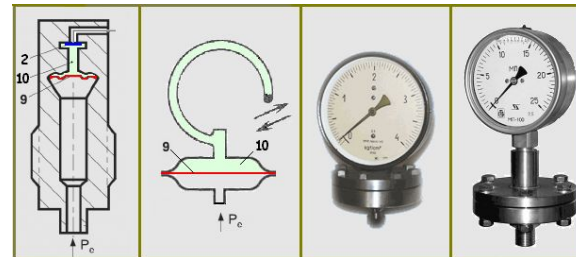
**Измерительные приборы и преобразователи давления и разрежения. Давление** – величина характеризующая отношение силы, равномерно распределенной по площади к величине этой площади. Наиболее распространенными единицами измерения давления являются паскаль (Па), техническая атмосфера (ат) и мм рт. ст. По принципу действия приборы и преобразователи давления (разрежения) делят на деформационные, жидкостные, грузопоршневые и электрические. В настоящее время на предприятиях химической промышленности наибольшее распространение получили деформационные приборы и электрические преобразователи.



Один из наиболее распространенных **деформационных приборов** - манометр (вакууметр) с трубчатой пружиной (манометр Бурдона), упругие свойства которой используются для измерения давления. Основная деталь этого манометра - согнутая по кругу полая трубка 1, имеющая в сечении форму овала или эллипса. Один конец трубки впаян в держатель 2, а второй - закрыт пробкой 3. Держатель скреплен винтами с корпусом 4 манометра и имеет внизу ниппель 9 с нарезкой для подключения манометра к рабочему объему. Свободный конец трубки соединен с деталями передаточного механизма 5, 6 и стрелкой 7. Когда манометр соединен с пространством, в котором имеется повышенное давление какой - либо жидкой или газообразной среды, последняя заполнит полость трубки и заставит ее несколько разогнуться. Это движение через передаточный механизм повернет стрелку манометра.



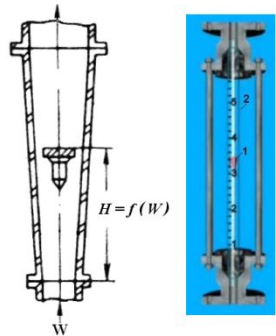
**Электрические преобразователи давления** - пьезодатчики (датчики давления). Принцип их действия основан на упругой деформации пластинки 2 из полупроводникового материала от давления среды. При деформации пластинки меняется ее сопротивление. Сама пластинка представляет собой одно из плеч моста сопротивления, к которому подводится постоянный ток. При изменении сопротивления одного из его элементов происходит разбаланс мостовой схемы и на выходе появляется сигнал, величина которого может быть измерена милливольтметром. Величина сигнала линейно зависит от давления. Следует отметить, что выдаваемый ими сигнал легко регистрировать всеми типами электронных записывающих устройств - начиная от самопишущих потенциометров (типа КСП) и кончая компьютерами.



При измерении давления агрессивных сред, для защиты манометров и датчиков, в качестве чувствительного элемента используется химически стойкая мембрана 9, встроенная во фланец или непосредственно в датчик, при этом, у манометров, пространство между мембраной и изогнутой трубкой манометра, а также эта трубка, заполняется инертной жидкостью 10 (у датчиков – пространство между мембраной 9 и пьезоэлементом 2).

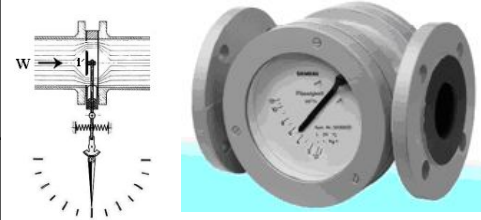
**Измерительные приборы и преобразователи расхода.** Количество вещества (жидкости, газа или пара), проходящее через сечение (канала, трубопровода) в единицу времени, называют расходом этого вещества. Различают массовый (например, кг/час) или объемный расход (например, м<sup>3</sup>/час). Приборы, определяющие расход вещества, называют расходомерами. В химической промышленности наиболее часто применяют расходомеры постоянного и переменного перепада давления, ультразвуковые и электромагнитные расходомеры.

**Расходомеры постоянного перепада давления.** Наибольшее распространение среди расходомеров постоянного давления получили ротаметры для местного измерения расхода (измерительный прибор).

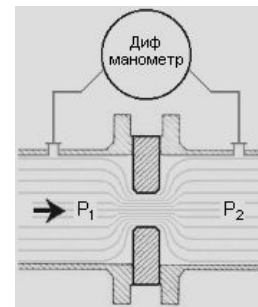


Основными элементами поплавкового ротаметра для местного измерения расхода являются расширяющаяся кверху вертикальная конусная трубка 1 с делениями и поплавок 2, находящийся в потоке измеряемого вещества внутри трубки. Принцип действия таких ротаметров основан на восприятии динамического напора потока измеряемой среды чувствительным элементом ротаметра - поплавком, помещённым в коническую трубку, по которой вверх проходит поток измеряемой среды. Каждому значению расхода среды ( $W$ ), проходящему через ротаметр, соответствует определённое положение поплавка ( $H$ ).

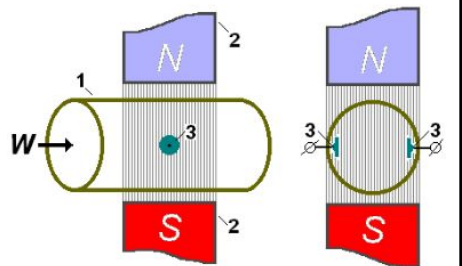
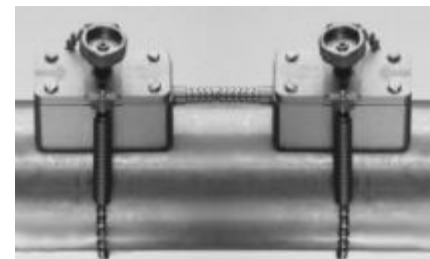
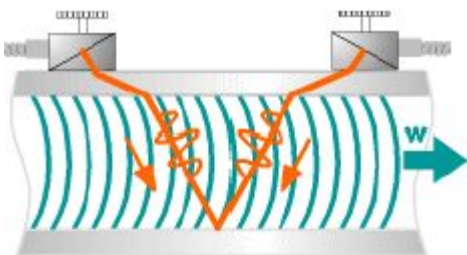
Принцип измерения другого типа ротаметра основан на измерении отклонения (поворота) заслонки 1 (в виде диска, пластины), помещенной в поток. Каждому значению расхода среды ( $W$ ), проходящему через ротаметр, соответствует определённое положение заслонки.



**Расходомеры переменного перепада давления.** Наибольшее распространение из расходомеров переменного перепада давления получили расходомеры (преобразователи) с сужающим устройством, работа которых основана на зависимости перепада давления, образующего на сужающем устройстве от расхода. Метод основан на том, что поток протекающего в трубопроводе вещества неразрывен, и в месте установки сужающего устройства скорость его увеличивается. При этом происходит частичный переход потенциальной энергии давления в кинетическую энергию скорости, вследствие чего статическое давление перед местом сужения будет больше, чем за суженным сечением ( $P_1 > P_2$ ). Разность давлений до и после сужающего устройства (перепад давления,  $\Delta P$ ) является функцией расхода протекающего вещества, ( $P = f(W)$ ). Расходомер состоит сужающего устройства и дифманометра, соединенного с местами измерения давления (т.е. до и после сужающего устройства). В качестве дифманометров чаще всего используют дифманометры с электрическим и пневматическим выходными сигналами.



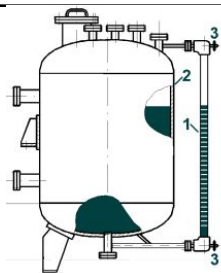
**Ультразвуковые расходомеры.** Принцип измерения расхода основан на зависимости скорости звука в среде от направления ее движения (звуковой сигнал в направлении потока распространяется быстрее, чем против потока). Обычно прибор состоит из двух накладных датчиков и вторичного преобразователя (блока электроники). Датчики крепятся на внешней поверхности трубы, и подключаются с помощью специального кабеля к блоку электроники. Являясь одновременно и излучателем и приемником, датчики последовательно отправляют и принимают ультразвуковой сигнал. Сравнивая время прохождения сигнала по направлению и против направления течения потока, вторичный преобразователь производит автоматическое вычисление объемного и массового расхода потока. Ультразвуковые расходомеры позволяют измерять скорость жидкости или газа без нарушения целостности трубы и остановки рабочего режима трубопровода.



**Электромагнитные расходомеры.** Предназначены для измерения расхода электропроводных жидкостей. Принцип измерения расхода основан на законе электромагнитной индукции, согласно которому в электропроводящей жидкости, движущейся по трубопроводу и пересекающей внешнее магнитное поле, индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости движения жидкости. Расходомер состоит из первичного преобразователя расхода и измерительного устройства и/или передающего преобразователя. Первичный преобразователь (датчик) представляет собой изготовленный из немагнитного материала (например, стали 12Х18Н10Т) участок трубы 1, расположенный между полюсами электромагнита 2, причем магнитное поле направлено перпендикулярно к потоку жидкости. Труба внутри покрыта изоляционным материалом. Измеряемая жидкость при протекании по трубе 1 пересекает силовые линии магнитного поля. При этом в жидкости, как в движущемся проводнике, индуцируется ЭДС, пропорциональная средней скорости потока, а следовательно, и объемному расходу жидкости. Индуцируемая ЭДС снимается двумя электродами 3, введенными диаметрально в поперечном сечении трубопровода, усиливается и/или измеряется вторичным прибором.

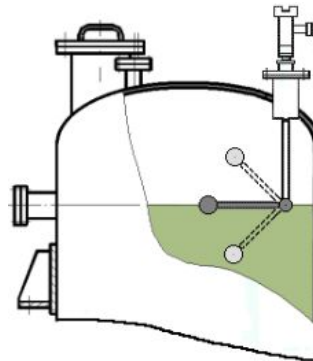
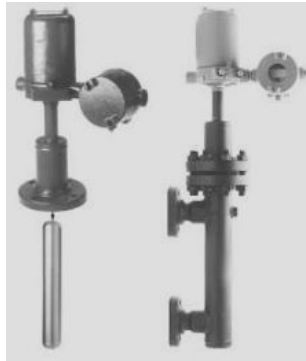
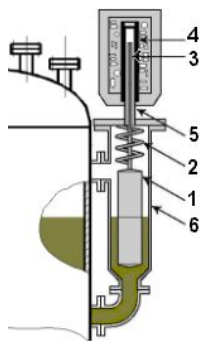


**Измерительные приборы и преобразователи уровня.** Уровнем называют высоту заполнения технологического аппарата рабочей средой — жидкостью или сыпучим телом. Уровень рабочей среды является технологическим параметром, информация о котором необходима для контроля и управления режимов работы технологического аппарата, а в ряде случаев для управления производственным процессом. Уровень измеряют в единицах длины. В настоящее время измерение уровня во многих отраслях промышленности осуществляют различными по принципу действия уровнемерами, из которых наибольшее распространение получили буйковые, поплавковые, электрические и в последнее время ультразвуковые уровнемеры. Широко применяются также и визуальные средства измерений уровня.

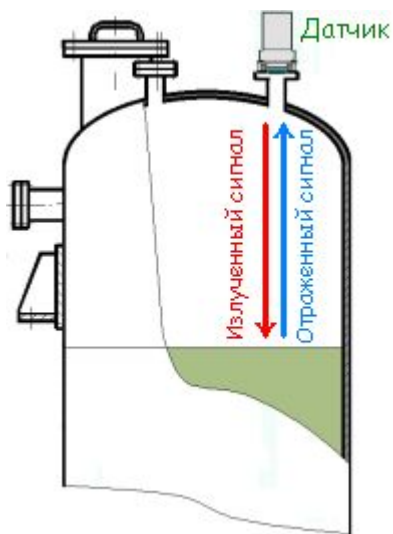


**Указательные (уровнемерные) стекла.** Являются простейшими, широко распространенными в производственной практике, визуальными средствами измерения уровня жидкости. Их действие основано на принципе сообщающихся сосудов и прямого визуального наблюдения. Указательное стекло соединяют с сосудом 2 нижним концом (для открытых сосудов) или обоими концами (для сосудов с избыточным давлением или разрежением). Наблюдая за положением уровня жидкости в стеклянной трубке 1, можно судить об изменении уровня в сосуде 2. Указательные стекла снабжают вентилями или кранами 3 для отключения их от сосуда и продувки системы.

**Буйковые и поплавковые уровнемеры.** Работают на основе явления возникновения выталкивающей силы плавающего на поверхности жидкости или частично погруженного в жидкость тела (поплавок, буйка). Чувствительным элементом в буйковых уровнемерах является цилиндрический буюк, изготовленный из материала с плотностью, большей плотности жидкости. Буюк находится в вертикальном положении и частично погружен в жидкость. При изменении уровня жидкости в аппарате масса буйка в жидкости изменяется пропорционально изменению уровня. Преобразование веса буйка в сигнал измерительной информации осуществляется с помощью унифицированных преобразователей «сила — давление» и «сила — ток». Так, изменение уровня жидкости в сосуде 6, в которую погружен буюк 1, находящийся под действием корректирующей пружины 2, вызывает вертикальное перемещение сердечника 3 внутри линейно-регулируемого дифференциального трансформатора 4. Изолирующая трубка 5 служит в качестве неподвижной преграды, отделяющей ЛРДТ от контролируемой среды. При изменении положения сердечника вместе с уровнем жидкости, во вторичной обмотке ЛРДТ возникает ЭДС. Эти сигналы обрабатываются электроникой и используются для управления током 4-20 мА в выходной токовой петле. В отличие от буйкового уровнемера, принцип работы поплавкового уровнемера основан на следящем действии поплавка, находящегося на поверхности жидкости и перемещающегося вместе с уровнем жидкости.



**Уровнемеры акустические.** Уровнемеры акустические (датчики уровня) предназначены для *бесконтактного* автоматического дистанционного измерения уровня жидких сред, в том числе вязких, налипающих, неоднородных, выпадающих в осадок и взрывоопасных, а также сыпучих и кусковых материалов. Принцип действия акустического уровнемера основан на локации уровня звуковыми импульсами, проходящими через газовую среду, находящуюся над контролируемой жидкостью, и явлении отражения этих импульсов от границы раздела газ — контролируемая среда. Мерой уровня является время распространения звуковых колебаний от источника излучения до контролируемой границы раздела сред и обратно до приемника. Уровнемер состоит из акустического преобразователя (АП) и передающего измерительного преобразователя (ППИ-3). Акустический преобразователь предназначен для преобразования подводимых к нему электрических импульсов в акустические и преобразования отраженных импульсов от поверхности контролируемого материала обратно в электрические. Основой АП является пьезокерамический диск, работающий в режиме электроакустического источника колебаний. ППИ-3 предназначен для измерения преобразования времени запаздывания отраженного импульса относительно посланного зондирующего в выходной унифицированный сигнал постоянного тока. Преимуществом акустических уровнемеров является независимость их показаний от физико-химических свойств и состава рабочей среды. Это позволяет использовать их для измерения уровня неоднородных кристаллизирующихся и выпадающих в осадок жидкостей. К недостаткам следует отнести влияние на показания уровнемеров температуры, давления и состава газа. Благодаря своей бесконтактности и отсутствию движущихся частей акустические уровнемеры являются гораздо более надежным устройством, чем уровнемеры, работа которых основана на контактном принципе.





**Измерительные приборы и преобразователи для измерения состава (качества) веществ.** Обычно для определения состава используют косвенные методы анализа, основанные на использовании известных взаимосвязей между искомыми параметрами (например, концентрации вещества) и каким-либо физико-химическим свойством (теплопроводность, магнитная восприимчивость, pH- среды, способность поглощать лучи различного спектра, способность участвовать в химических превращениях и т.д.).

#### Приборы и преобразователи для контроля состава газообразных веществ

№	Газоанализаторы	Назначение и принцип действия
1	Термомагнитные	Основан на использовании явления, обусловленного ярко выраженными магнитными свойствами кислорода по сравнению с такими свойствами других газов.
2	Термокондуктометрические	Основан на измерении теплопроводности газовой смеси, зависящей от концентрации определяемого газа.
3	Электрохимические	Основан на электрохимической реакции одного из компонентов газовой смеси с электролитом, вызывающей образование тока в электролите. При этом величина тока пропорциональна концентрации этого компонента в газовой смеси.
4	Термохимические	Основан на измерении теплового эффекта каталитической реакции кислорода с другими газами. Количество выделившегося тепла пропорционально количеству анализируемого газа.
5	Оптические (абсорбционные)	Основан на различной способности (в зависимости от состава) поглощать лучи в инфракрасной, ультрафиолетовой и в видимой области спектра.

#### Приборы и преобразователи для контроля состава жидких веществ

№	Анализаторы	Принцип действия
1	Кондуктометрические	Основан на зависимости удельной электропроводности жидкости (растворов электролитов) от концентрации измеряемого вещества.
2	Потенциометрические	Основан на зависимости разности потенциалов, возникающих на границе раствора и электрода, погруженного в это электролит, от концентрации определяемого вещества.
3	Титрометрические	Основан на химическом взаимодействии вещества (концентрацию которого необходимо определить) со специальным веществом (титрующим веществом). Контроль за ходом реакции титрования осуществляют с помощью различных методов (кондуктометрическим, потенциометрическим, амперометрическим, фотометрическим).
4	Хроматографы	Действие этих приборов основано на различной способности веществ адсорбироваться неподвижной твердой фазой или растворяться в неподвижной жидкой фазе. Предназначены для полного анализа смесей.