

Технические средства автоматизации

Датчики различных технологических параметров.

Технические особенности использования интеллектуальных датчиков:

1. Резкое уменьшение искажений измерительной информации на пути от датчика к контроллеру, т. к. вместо низковольтного аналогового сигнала по кабелю, соединяющему датчики с контроллером, идут цифровые сигналы, на которые электрические и магнитные промышленные помехи оказывают несравнимо меньшее влияние.
2. Увеличение надежности измерения за счет самодиагностики датчиков, т. к. каждый датчик сам оперативно сообщает оператору факт и тип возникающего нарушения, тем самым исключая использование для управления некачественных и/или недостоверных измерений.
3. Возможность использования принципов измерения, требующих достаточно сложной вычислительной обработки выходных сигналов сенсора, но имеющих ряд преимуществ перед традиционно используемыми принципами измерения по точности, стабильности показаний, простоте установки и обслуживания датчика в процессе его эксплуатации.
4. Возможность построения мультисенсорных датчиков, в которых преобразователь получает и перерабатывает сигналы ряда однотипных или разнотипных чувствительных элементов.

Технические особенности использования интеллектуальных датчиков:

5. Возможность проведения всей необходимой первичной переработки измерительной информации в датчике и выдачи им искомого текущего значения измеряемой величины в заданных единицах измерения.
6. Возможность передачи в систему автоматизации не только текущего значения измеряемой величины, но и добавочных сигналов о выходе его за пределы заданных норм, а также возможность передачи по сети не каждого текущего измеряемого значения, а только изменившегося по сравнению с предыдущим значения, или вышедшего за пределы заданных норм значения, или значения, требующего управляющего воздействия.
7. Наличие в датчике базы данных для хранения значений измеряемой величины за заданный длительный интервал времени.
8. Возможность дистанционно с пульта оператора в оперативном режиме выбирать диапазон измерения датчика.
9. Возможность, путем программирования работы датчика на достаточно простом технологическом языке, реализовывать в нем простые алгоритмы регулирования, программного управления, блокировок механизмов.

Технические особенности использования интеллектуальных датчиков:

10. Возможность строить достаточно простые цепи регулирования, программного управления, блокировок на самом нижнем уровне управления из трех компонентов: интеллектуальных датчиков, полевой сети и интеллектуальных исполнительных механизмов, не загружая этими вычислительными операциями контроллеры, что позволяет использовать мощность контроллеров для реализации в них достаточно сложных и совершенных алгоритмов управления.

Экономические аспекты использования интеллектуальных датчиков:

1. Следует отметить, что стоимость интеллектуальных датчиков превышает стоимость обычных датчиков, поэтому первоначальные затраты заказчиков возрастают.
2. Уменьшается стоимость их установки и обслуживания за время эксплуатации, а увеличение стабильности их работы приводит к экономии (в долгосрочном периоде) за счет более редких поверочных испытаний.
3. Снижаются потери на производстве, вызванные использованием для управления неточных и неверных показаний датчиков.
4. Экономия возникает в стоимости кабельных линий, соединяющих измерительные средства с контроллерами, т. к. к одной шине можно подсоединить от 8-ми до порядка 100 датчиков.
5. Есть экономия в стоимости контроллеров, т. к. не требуется включать в них блоки ввода.
6. При применении на взрывоопасных производствах полевых сетей Profibus PA или Foundation Fieldbus H1 возникает экономия из-за уменьшения (или исключения) барьеров искробезопасности.

Структура интеллектуальных датчиков



варианты арматуры (корпуса сенсора) под разные давления, температуры, воздействия и помехи;

варианты материалов арматуры, контактирующих с измеряемой средой, под обычную, химически агрессивную, абразивную и другие среды;

варианты исполнения сенсора под обычную, гигиеническую, взрывоопасную среды;

варианты соединения сенсора с конструкцией объекта измерения типа фланцевой, вафельной, резьбовой и т. д.

Преобразователь может быть компактно объединен с сенсором в одном конструктиве, а может исполняться в отдельном конструктиве и размещаться рядом или на небольшой дистанции от сенсора.

Сам преобразователь, как минимум, состоит из программируемого микропроцессора с оперативным и постоянным модулями памяти, аналого-цифрового преобразователя, сетевого контроллера связи с типовыми полевыми сетями.



Большинство производителей комплектуют датчики из сочетания разных вариантов сенсоров одного метода измерения с разными вариантами преобразователей, рассчитанных на работу с данной серией сенсоров.

Благодаря этому удастся наиболее точно и полно удовлетворять отдельным конкретным требованиям к приборам.

Следует иметь в виду, что подобная, весьма технически рациональная гибкость построения датчиков, в то же время, не позволяет, в ряде случаев, дать оценку стоимости прибора без детального анализа выбранных вариантов составляющих его блоков.

Сам преобразователь в последнее время также начинает свободно комплектоваться из отдельных модулей, благодаря применению в нем стандартной открытой магистрально-модульной архитектуры.

Одним из таких стандартов для средств измерительной техники является стандарт IEEE 1155 на VXIbus (VMEbus eXtention for Instruments), который есть расширение стандарта VMEbus, применяемого в промышленной автоматике.

Модули, поддерживающие стандарт, процессорно и технологически независимы; а в одном корпусе может размещаться до 21 модуля VXIbus.

В номенклатуру модулей VXIbus входят центральные процессоры, сетевые контроллеры, разные виды памяти, генераторы импульсов и функциональные генераторы, счетчики, таймеры, измерители электрических параметров, аналоговые и цифровые входы/выходы сигналов разных уровней, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи.

Программным обеспечением преобразователя, построенного из модулей VXIbus, могут являться любые операционные открытые системы реального времени.

В настоящее время большое число фирм производят разнообразные по назначению модули VXIbus, так что комплектация из них всевозможных преобразователей принципиально не представляет трудностей.

Реализуемые интеллектуальными датчиками функции

Рассматриваемые интеллектуальные датчики являются многофункциональными приборами, для которых только традиционно сохраняется наименование «датчик», а по выполняемым функциям они все более приближаются к симбиозу датчика и контроллера.

Тенденция их развития, связанная со все расширяющимися возможностями встроенных в них микропроцессоров, заключается в передаче им от контроллеров все большего числа простейших типовых функций контроля и управления.

Кроме того, современные интеллектуальные датчики все более широко используют возможности своего микропроцессорного преобразователя для совершенствования процесса измерения: повышения точности, увеличения надежности, выбора диапазона измерения, исключения ошибочных выходных данных, расширения функций дистанционного управления работой сенсора.

Реализуемые интеллектуальными датчиками функции

Информационные функции.

Датчики хранят в своей памяти и по дистанционному запросу пользователя выдают все данные, определяющие свойства, характеристики, параметры данного конкретного прибора: его тип, заводской номер, технические показатели, возможные диапазоны измерения, установленную шкалу, заданные параметры настройки сенсора, работающую версию программного обеспечения, архив проведенных метрологических проверок, срок проведения следующей проверки датчика и т. п..

Кроме того, датчики могут иметь архив текущих измеряемых и вычисляемых ими значений величин за заданный интервал времени.

Реализуемые интеллектуальными датчиками функции

Функции конфигурирования.

Дистанционное формирование или модификация пользователем основных настроечных параметров датчика: установка нуля прибора, выбор заданного диапазона измерения, фильтрация текущих значений, выбор наименования единиц измерения, в которых датчик должен выдавать информацию и т. п. действия.

Реализуемые интеллектуальными датчиками функции

Функции форматирования.

Автоматический анализ изменений измеряемой величины и текущего состояния среды измерения: определение выходов значений измеряемой величины за заданные нормы, выдача различных сообщений об изменениях значений измеряемой величины, проверка нахождения в допустимых диапазонах параметров измеряемой среды.

Все эти функции дистанционно настраиваются пользователем.

Реализуемые интеллектуальными датчиками функции

Функции самодиагностики.

В процессе работы датчики выполняют анализ своей работы: при возникновении различных сбоев, нарушений и неисправностей фиксируют их место возникновения и причину, определяют выход погрешности прибора за паспортную норму, анализируют работу базы данных датчика, рассматривают правильность учета факторов, которые корректируют выходные показания датчика. Датчик может выдавать оператору до 30-ти различных сообщений, конкретизирующих текущие особенности его работы и резко облегчающих и ускоряющих его обслуживание (при необходимости вмешательства сотрудников КИП, в его работу).

Обычно, информация, выдаваемая датчиком об отдельных его неисправностях, подразделяется на два типа:

- некритическая информация, когда датчик требует определенного обслуживания, но измеряемые им значения могут использоваться для управления;
- критическая информация, когда выходные данные датчика неверны и либо требуется немедленное вмешательство оператора по приостановке использования его показаний, либо сам датчик переводит свой выход в постоянное безопасное для управления процессом значение и сообщает о необходимости срочного обслуживания прибора

Реализуемые интеллектуальными датчиками функции

Функции преобразования.

Датчик преобразует электрический сигнал на выходе сенсора (обычно, низковольтный аналоговый, или частотный, или импульсный сигнал) в значение заданного наименования единицы измерения; при этом он выполняет коррекцию выходного значения по сопутствующим текущим показателям состояния измеряемой среды (например, по ее температуре и/или давлению), в случае, если показания датчика зависят и от них.

В приборе проводятся необходимые преобразования измерительной информации: усиление сигналов сенсора, стандартизация диапазонов выходных аналоговых сигналов, линеаризация и фильтрация измеренных значений, расчет выходных значений по заданным алгоритмам, аналого-цифровое преобразование значений измеряемой величины.

Реализуемые интеллектуальными датчиками функции

Управляющие функции.

В последнее время все большее число добавочных функций, непосредственно связанных с управлением технологическим процессом, стали возлагать на интеллектуальные датчики (особенно при их использовании с полевой сетью Foundation Fieldbus).

Для реализации этих функций в память микропроцессора датчика прошивается соответствующий набор типовых программных модулей, а их инициация и параметризация проводится дистанционно оператором с помощью простейшего графического конфигуратора.

В качестве типовых программных модулей используются простейшие арифметические и логические операции, таймер, элемент чистого запаздывания, интегратор, варианты регуляторов: P, I, PI, PD, PID и т. п. функции, из которых легко набираются конкретные алгоритмы регулирования разных видов, блокировочные зависимости, алгоритмы смешивания и другие алгоритмы управления технологическими процессами.

Наблюдаемые в настоящее время тенденции развития интеллектуальных датчиков можно подразделить на ряд направлений, по каждому из которых в ведущих приборостроительных фирмах ведутся работы и появляются промышленные разработки, имеющие успешные внедрения.

Новые методы измерения.

Намечается определенная перспективная тенденция разработки таких методов измерения, которые требуют существенной вычислительной обработки, реализуемой в микропроцессорном преобразователе датчика.

Основанные на этих методах сенсоры имеют следующие важные для Заказчиков свойства:

- расположение сенсора вне измеряемой среды, что существенно сказывается на расширении сферы его применения, на увеличении стабильности показаний, на облегчении установки и обслуживания, ведет к отсутствию экономических потерь при его эксплуатации;
- исключение в сенсоре любых движущихся частей (в том числе, электромеханических блоков), - что повышает надежность его работы и упрощает его обслуживание;
- отсутствие особых требований сенсора к конструкции объекта измерения и к характеру измеряемого потока в районе измерения, что расширяет возможности использования датчиков в разных местах объектов и удешевляет их установку.

Беспроводные датчики.

Экономическая и техническая перспективность использования для широко круга промышленных объектов беспроводных датчиков бесспорна. Это касается и движущихся объектов автоматизации, и объектов, имеющих значительную распределенность в пространстве. Практически, в беспроводных интеллектуальных датчиках ко всем имеющимся у них функциям добавляют функцию телемеханической радиосвязи с другими средствами автоматики (обычно, с контроллерами, также оснащенными блоками радиосвязи).

Принципиально, широкое развитие беспроводных датчиков сегодня еще сдерживается достаточно высокой стоимостью и нестабильностью существующих систем радиосвязи.

Предпосылками развития указанных типов датчиков служат с одной стороны наблюдающееся снижение стоимости радиотехнических устройств и повышение их качества, а с другой стороны возникающая экономия затрат на проводную связь.

Беспроводные датчики.

При использовании беспроводной связи разработчиками просматриваются следующие стратегии разделения радиоканалов:

- множественный доступ во временной области (TDMA). Каждый датчик получает свой временной интервал, в течение которого он может передавать информацию;
- множественный доступ в частотной области (FDMA). Каждый датчик передает информацию на отведенной ему частоте;
- множественный доступ с кодовым разделением (CDMA). Каждый датчик имеет свой код, причем коды не коррелированы, что позволяет подавлять любые сигналы - возмущения, которые при этом воспринимаются приемником как белый шум.

Встраиваемые в оборудование миниатюрные датчики.

Очень перспективным направлением является разработка миниатюрных датчиков. Широкое распространение таких датчиков коренным образом меняет структуру нижнего уровня систем автоматизации. Оно позволяет выпускать промышленное оборудование с встроенными в него датчиками, благодаря чему сами средства автоматизации станут не внешними дополнениями технологического процесса, а его неотъемлемыми частями.

Фирмами делаются пилотные разработки датчиков объемом в несколько мм³ для измерения температуры, давления, влажности, других параметров среды.

В этот объем входит как сам сенсор, так и необходимый вычислительный ресурс для преобразования измеряемого сигнала в цифровую форму, его обработки и передачи в полевую сеть. Создание миниатюрных датчиков возможно на базе ряда современных и частично новых методов измерения и параллельно ведет к увеличению точности и качества работы приборов.

Многосенсорные датчики.

Нет принципиальных трудностей в подключении к одному преобразователю нескольких сенсоров, измеряющих разные величины (в ряде датчиков это уже реализуется).

В тоже время некоторые методы измерения позволяют одному сенсору определять несколько измеряемых величин (так кориолисовые расходомеры одним сенсором определяют массовый расход и плотность потока).

Датчик, выдающий информацию о текущих значениях ряда измеряемых величин, во многих промышленных применениях будет и экономически и технически существенно более эффективен, чем использующаяся для этих же целей группа датчиков отдельных измеряемых величин.

Существующая ниша применения таких мульти измерителей достаточно обширна и работы по их созданию, ведущиеся в ряде приборостроительных фирм, имеют хорошие практические перспективы.

Высокоинтеллектуальные датчики.

Уровень «интеллектуальности» датчиков со временем все более повышается, датчики становятся все более многофункциональными средствами автоматизации, для которых сам термин «датчик» становится все более неполным и условным.

Перспективные разработки включают в себя:

- адаптивные датчики;
- датчики, прогнозирующие значения измеряемых величин;
- датчики, имеющие собственные хранилища измеряемой информации и производящие достаточно сложную и объемную обработку данных измерения;
- датчики с полной самодиагностикой. В частности, сообщающие не только о уже возникших сбоях и неисправностях, но и выдающие прогноз по их возможной некорректной работе и дающие рекомендации по их техобслуживанию;
- датчики, выполняющие все больший объем задач по расчету необходимых показателей контролируемого процесса, по обнаружению в нем заданных событий, по выполнению различных законов регулирования и логического управления.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Измерительное преобразование играет крайне важную роль в процессах измерения и может осуществляться многочисленными способами. Хотя *входные* сигналы измерительных преобразователей весьма разнообразны, число физических величин, применимых в качестве *выходных* сигналов, ограничено.

Преобразование основано на физических и физико-химических явлениях, определяющих зависимость между входными и выходными сигналами измерительных преобразователей.

В настоящее время применяется большое число измерительных преобразователей различных принципов действия: емкостный, пьезоэлектрический, тензорезистивный, потенциометрический, термисторный, эффекты Холла, Кориолиса и др.

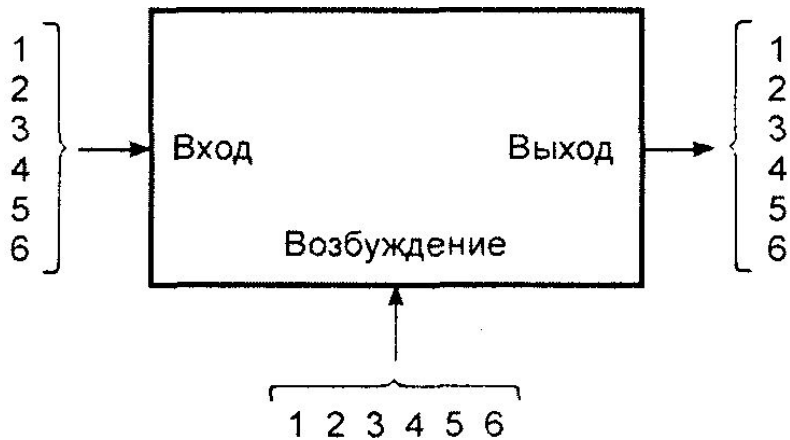


Рис. Схема к классификации измерительных преобразователей по виду преобразованной энергии

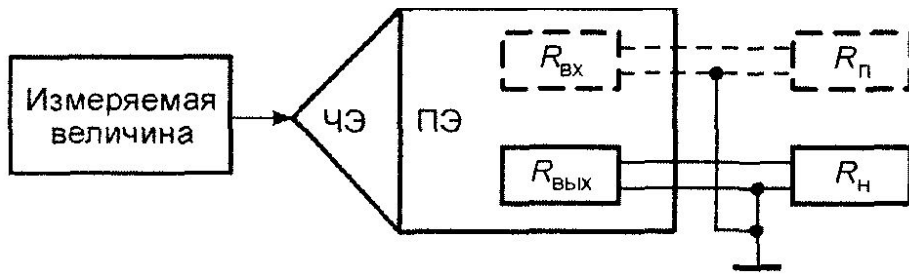
Измерительные преобразователи разделяются также по виду энергии (механическая 1, электрическая 2, магнитная 3, тепловая 4, энергия излучения 5, химическая 6). На рисунке представлены возможные комбинации входного (или измеряемого) сигнала, выходного сигнала и сигнала возбуждения для различных типов преобразователей.



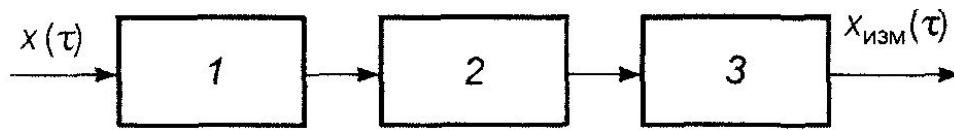
Рис. Классификация первичных измерительных преобразователей (датчиков) по виду измеряемой величины

Измерительные преобразователи — основные элементы, определяющие качество и стоимость информационно-измерительных и, следовательно, управляющих систем. Можно привести следующие ориентировочные данные:

1. измерительные преобразователи (датчики) — 40 % общей стоимости;
2. устройства обработки данных — 20 % общей стоимости;
3. устройства регистрации, отображения — 40 % общей стоимости.



а



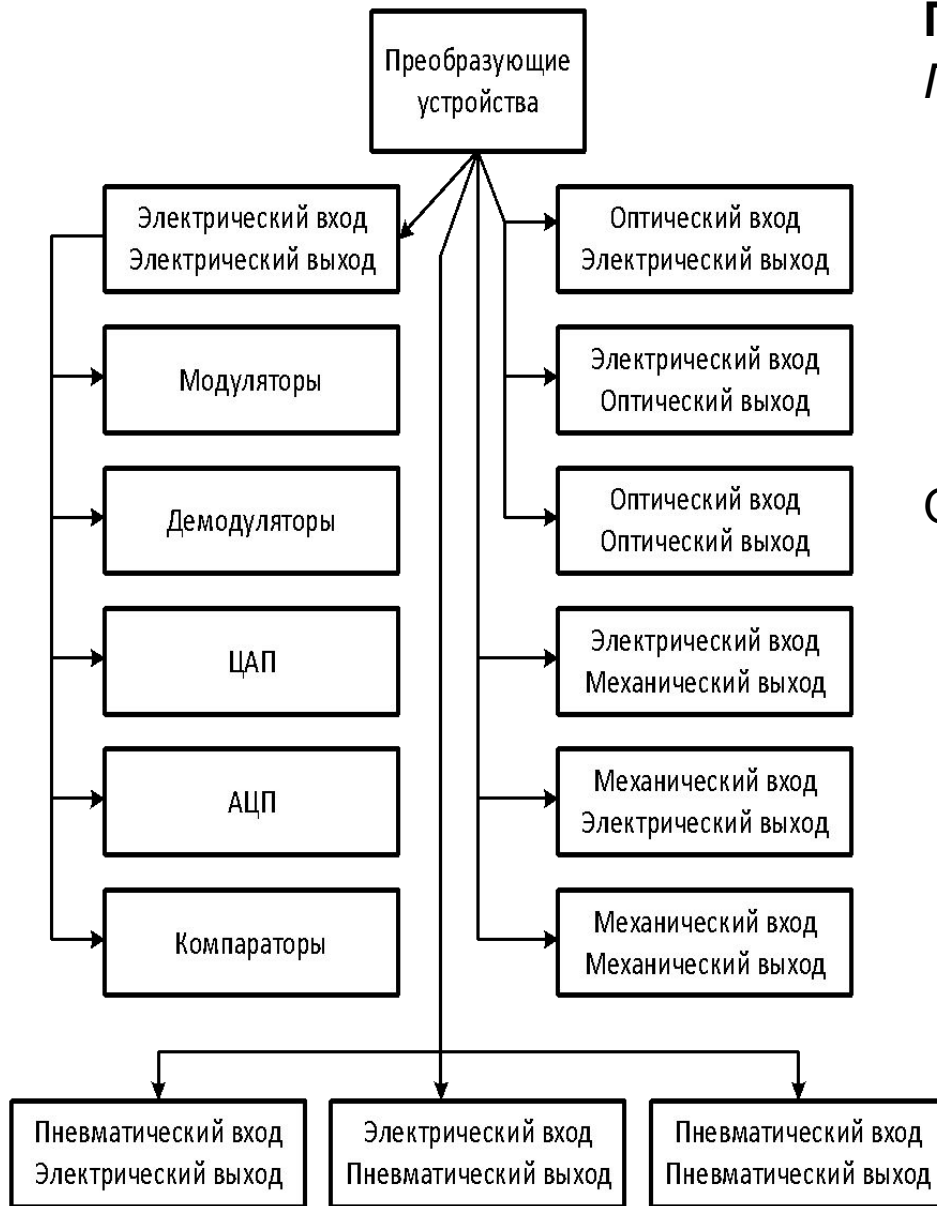
б

Рис. Схема первичного измерительного преобразователя (а): ЧЭ — чувствительный элемент, ПЭ — преобразующий элемент;

упрощенная схема измерительной системы (б): 1 — первичный измерительный преобразователь; 2 — согласующее устройство; 3 — выходное устройство (индикатор)

В таком представлении измерительный преобразователь можно рассматривать как совокупность чувствительного элемента (ЧЭ) и преобразующего элемента (ПЭ).

Чувствительный элемент воспринимает измеряемую величину и преобразует ее в другую физическую величину. Далее промежуточный измерительный преобразователь (**преобразующий элемент**) преобразует физическую величину в электрический сигнал, который отражает значение измеряемой величины.



Промежуточные преобразователи

Промежуточным измерительным преобразователем (или сокращенно промежуточным преобразователем) называют элемент, занимающий в измерительной цепи место после первичного измерительного преобразователя.

Основное назначение промежуточного преобразователя — преобразование выходного сигнала первичного измерительного преобразователя в форму, удобную для последующего преобразования в сигнал измерительной информации для дистанционной передачи. Наряду с преобразованием измерительной информации часто возникает необходимость усиления сигнала, например, его мощности, преобразования выходного сопротивления и пр.

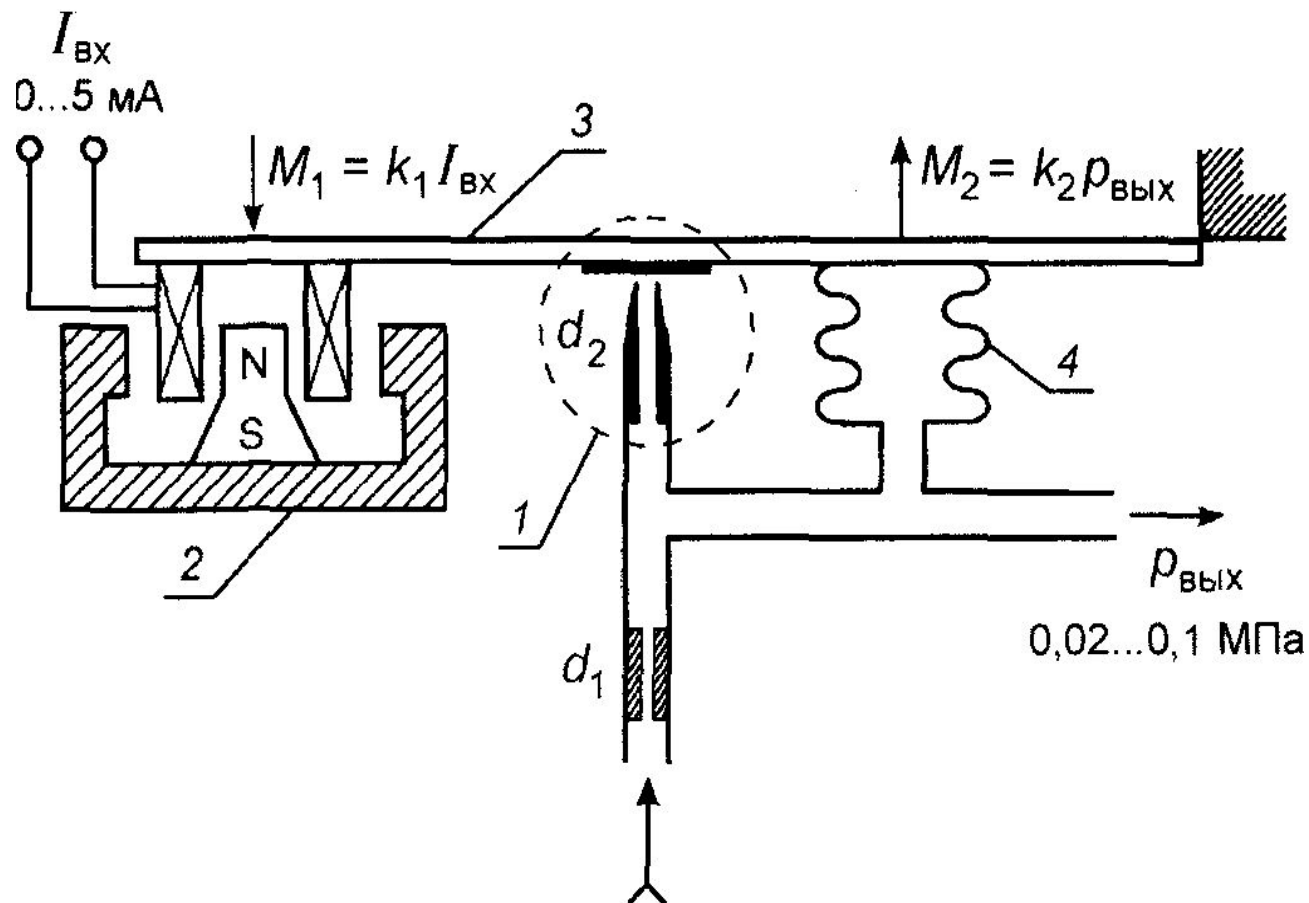


Рис. Упрощенная схема электро-пневмопреобразователя:

- 1 – преобразователь типа сопло–заслонка (переменный дроссель);
 2 – постоянный магнит; 3 – рычаг с рамкой; 4 – сильфон
 отрицательной обратной связи

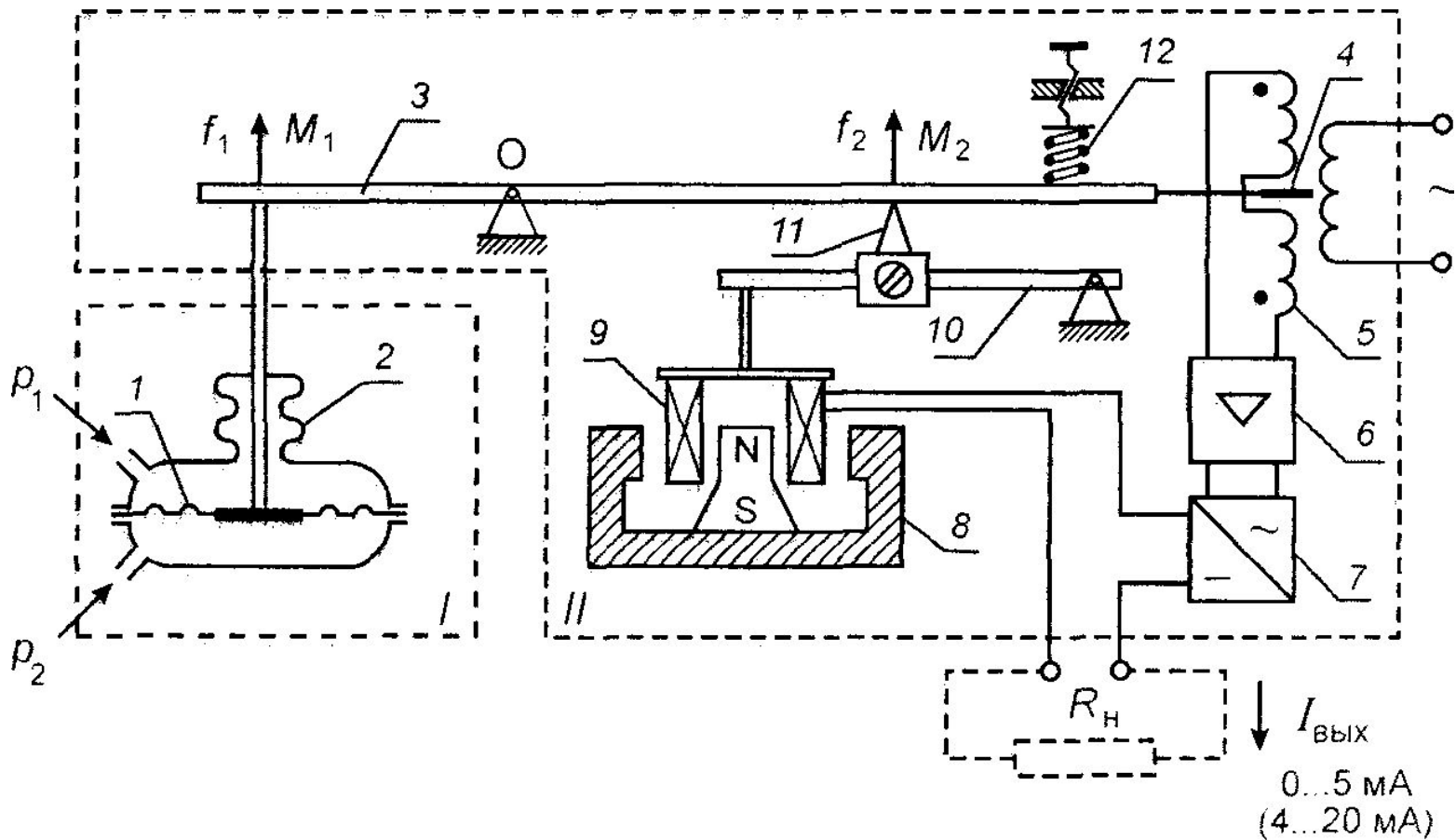


Рис. Схема токового унифицированного измерительного преобразователя с силовой компенсацией:

I – мембранный дифманометр; *II* – унифицированный токовый электросиловой преобразователь; 1 – вялая мембрана дифманометра; 2 – уплотняющий сильфон; 3 – основной рычаг; 4 – флажок индикатора; 5 – индикатор рассогласования дифференциально-трансформаторного типа; 6 – усилитель; 7 – выпрямитель; 8 – постоянный магнит; 9 – катушка; 10 – вспомогательный рычаг; 11 – подвижная опора; 12 – пружина для установки начального значения выходного сигнала

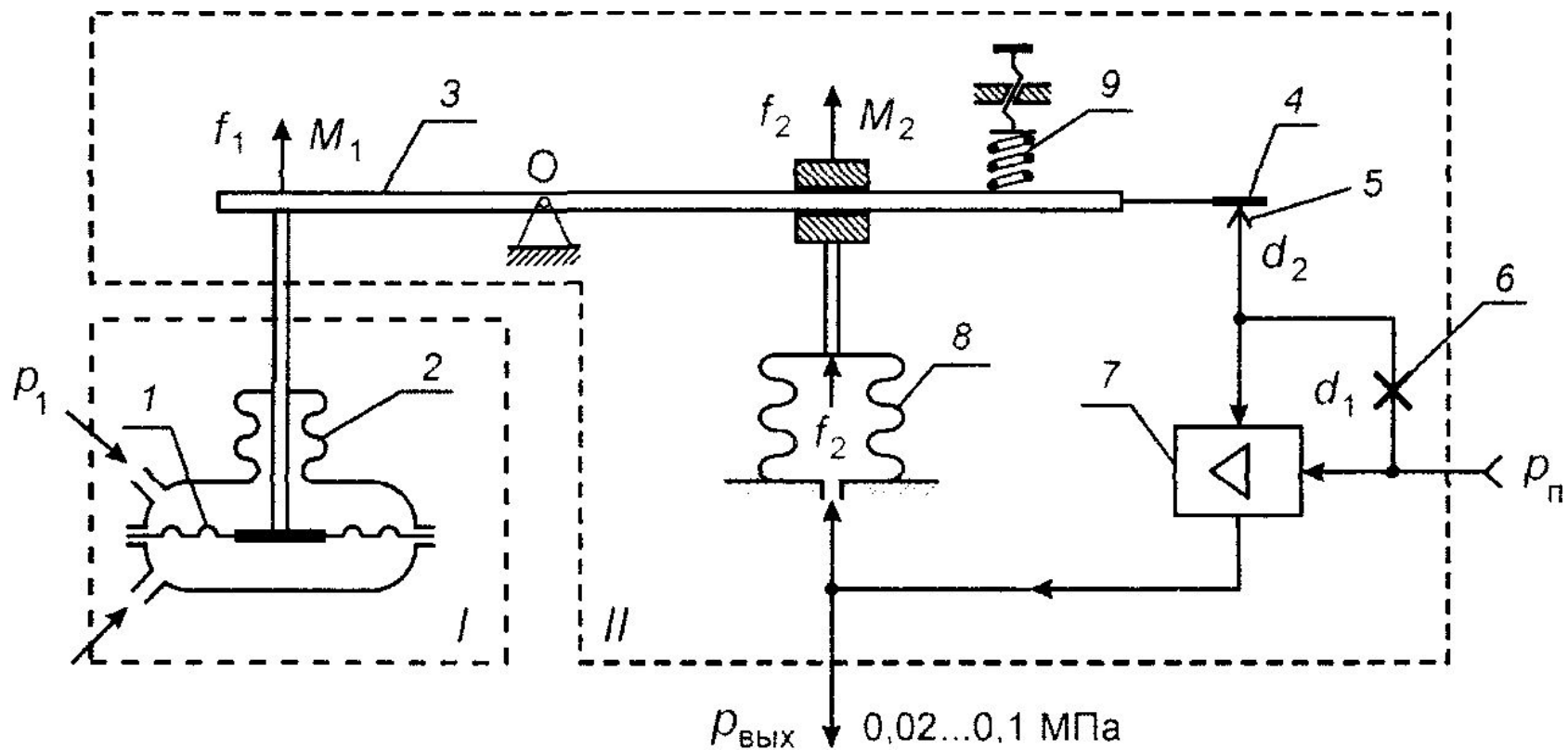


Рис. Схема пневматического унифицированного измерительного преобразователя с силовой компенсацией:

I – мембранный дифманометр; *II* – унифицированный пневмосиловой электросиловой преобразователь; 1 – вялая мембрана дифманометра; 2 – уплотняющий сильфон; 3 – основной рычаг; 4, 5 – высокочувствительный индикатор рассогласования типа сопло–заслонка; 6 – постоянный дроссель; 7 – усилитель мощности; 8 – сильфон отрицательной обратной связи; 9 – пружина для установки начального значения выходного сигнала

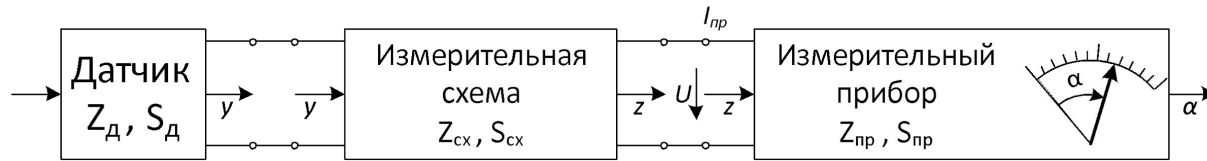
Электрические измерения неэлектрических величин

В системах автоматики сигналы управления зависят от различных неэлектрических и электрических величин, характеризующих данный производственный процесс. Информация об этих величинах должна быть получена от датчика и сформирована в виде некоторого сигнала.

По сравнению с другими сигналами (например, механическими, пневматическими, световыми, звуковыми) электрический сигнал обладает целым комплексом преимуществ: возможностью передачи на большие расстояния, простотой преобразования и усиления, возможностью ввода в ЭВМ. Поэтому электрические методы измерения неэлектрических величин получили широкое распространение. Они должны обеспечивать высокую точность преобразования неэлектрической величины в электрический сигнал и быстро реагировать на ее изменение.

Информация о контролируемой неэлектрической величине получается с помощью датчика. Следует отметить, что многие неэлектрические величины удобно предварительно преобразовывать в механическое перемещение, а затем уже с помощью датчика перемещения получить электрический сигнал. Например, в перемещение преобразуются такие неэлектрические величины, как давление (с помощью упругой мембраны), температура (с помощью биметаллической пластины), уровень жидкости (с помощью поплавка), усилие (с помощью пружины). Практически большинство неэлектрических величин сравнительно несложно преобразовать в перемещение. Поэтому в автоматике широкое распространение получили датчики перемещения. Если можно сразу превратить неэлектрическую величину в электрический сигнал, то используются датчики непосредственного преобразования (например, термосопротивления и термопары).

Итак, от датчика получен электрический сигнал, несущий информацию о неэлектрической величине. Этот сигнал представляет собой изменение активного сопротивления, или индуктивности, или напряжения, или тока, или какого-либо другого электрического параметра. Чтобы измерить этот параметр, нужен соответствующий электроизмерительный прибор. А для согласования сигнала датчика с электроизмерительным прибором необходима измерительная схема.



Структурная схема электрического измерения
неэлектрической величины

$$S_{\partial} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad - \text{чувствительность датчика}$$

$$S_{cx} = \frac{\Delta z}{\Delta y} \quad - \text{чувствительность измерительной схемы}$$

$$S = \frac{\Delta \alpha}{\Delta z} = S_{\partial} \cdot S_{cx} \cdot S_{np} \quad - \text{чувствительность, обеспечиваемая при электрическом методе измерения неэлектрической величины } x$$

Существующие методы электрических измерений можно в основном разделить на два класса: непосредственной оценки и сравнения. При непосредственной оценке измерительная схема выполняет лишь функции преобразования выходного сигнала датчика, например, усиливает его или согласует выходное сопротивление датчика с входным сопротивлением прибора. Этот метод прост, но применяется сравнительно редко, так как ему свойственны значительные погрешности (особенно при изменении напряжения питания датчика). Метод сравнения обеспечивает более высокие точность и чувствительность. При этом используются мостовые, дифференциальные и компенсационные схемы измерения.

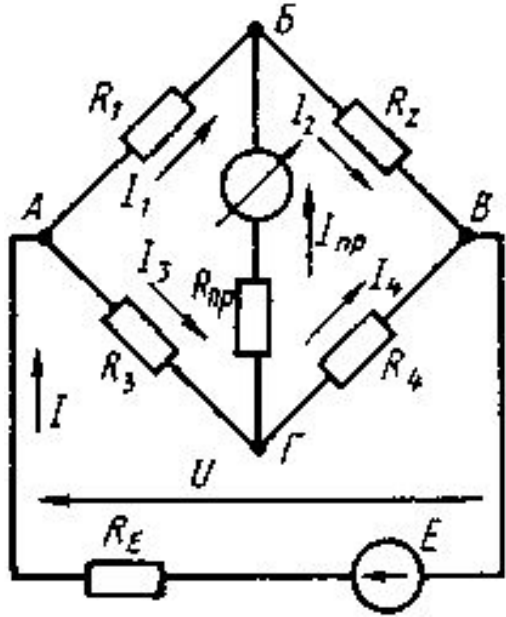


Рис. Мостовая измерительная схема

Можно подобрать сопротивления плеч моста так, чтобы потенциалы точек Б и Г, между которыми включен измерительный прибор, были одинаковы. В этом случае ток в цепи прибора I_{np} отсутствует ($I_{np} = 0$). Процесс подбора таких сопротивлений, обеспечивающих $I_{np} = 0$, называется уравниванием или балансировкой моста. Условие равновесия моста может быть получено на основании законов Кирхгофа, записанных для токов в плечах моста с учетом принятых на рис. направлений токов:

$$I_1 \cdot R_1 - I_3 \cdot R_3 = 0$$

$$I_2 \cdot R_2 - I_4 \cdot R_4 = 0$$

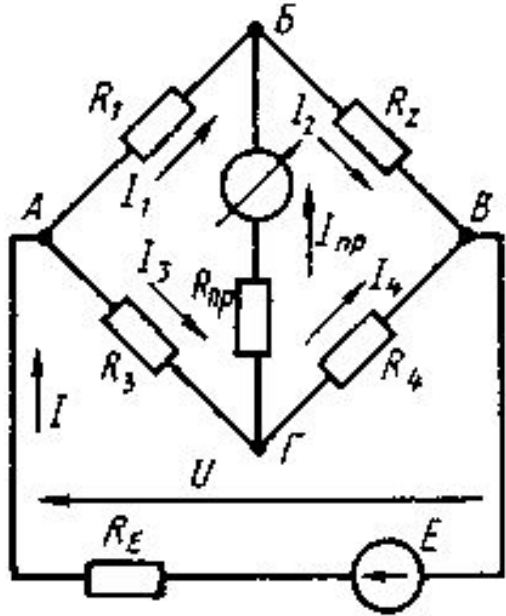


Рис. Мостовая измерительная
схема

С помощью мостовой схемы можно измерить неизвестное сопротивление R_x , включив его в одно из плеч моста, например в плечо $BГ$ вместо резистора R_4 . При трех известных сопротивлениях R_1 , R_2 , R_3 .

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

Уравновешивание моста может быть достигнуто изменением либо одного сопротивления (R_2), либо отношения двух сопротивлений (R_3/R_1).

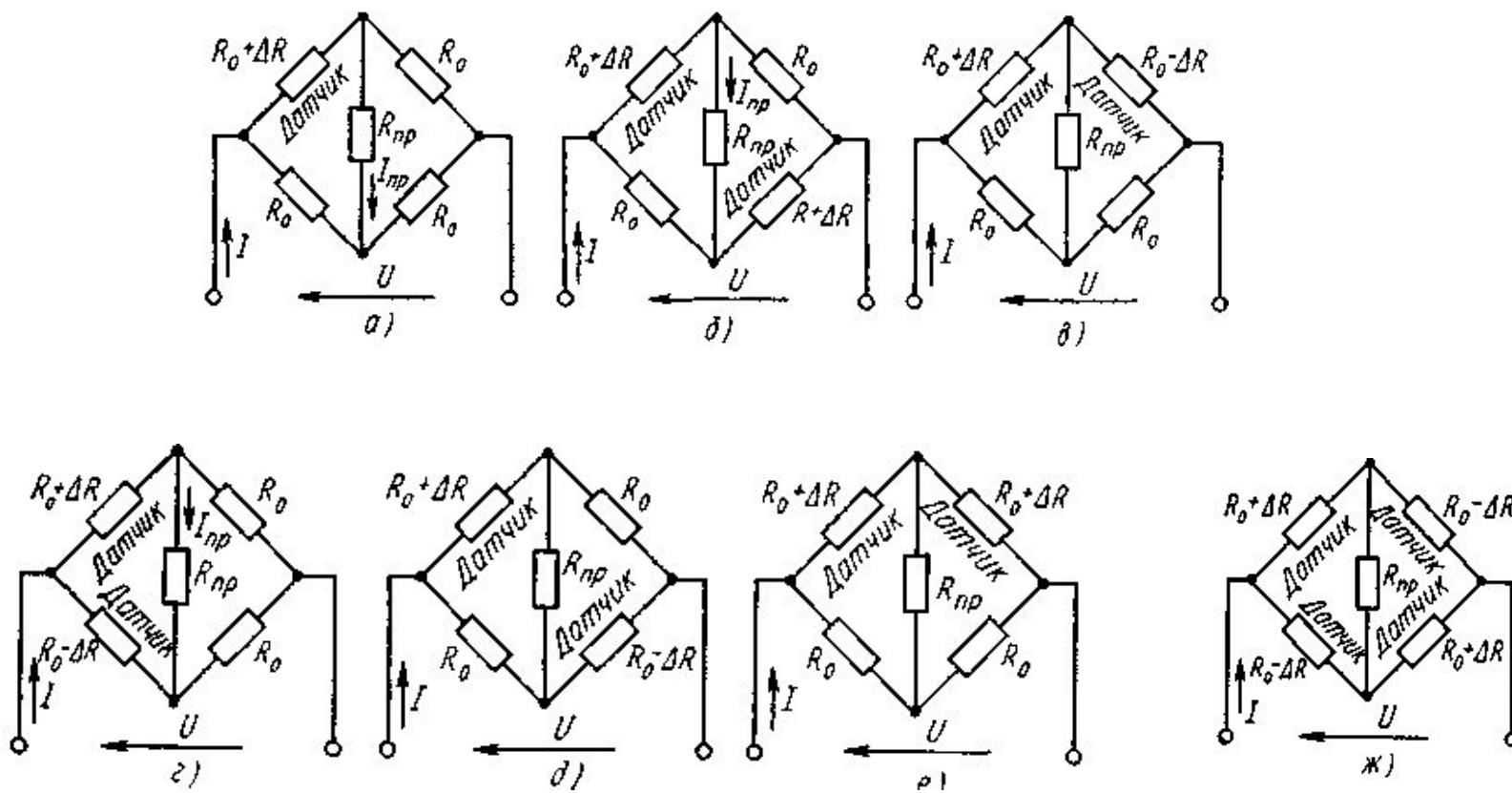


Рис. Варианты включения датчиков в мостовую схему

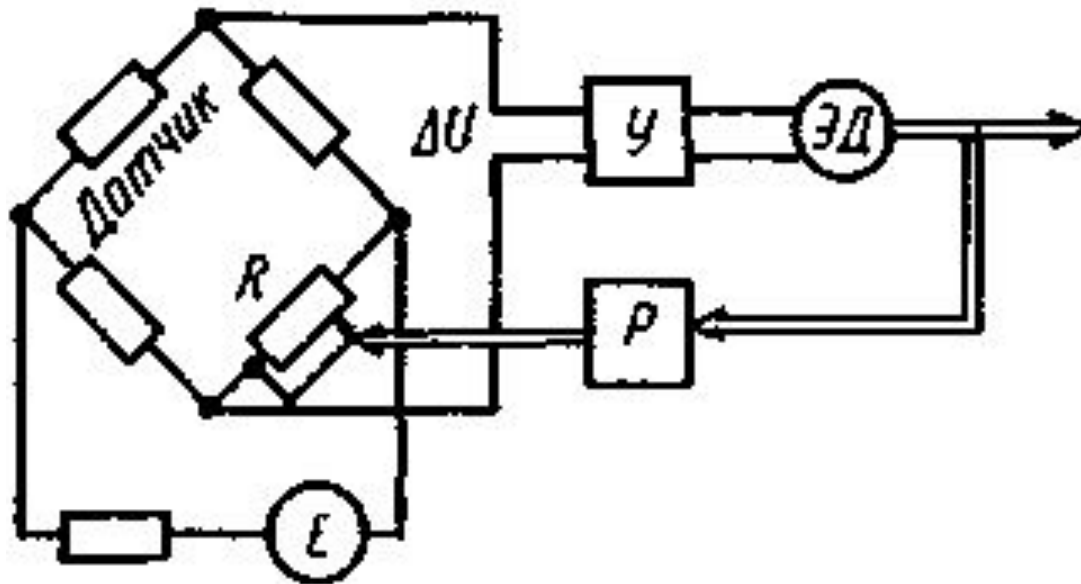


Рис. Схема автоматического уравновешивания моста

Дифференциальная схема - это гибрид мостовой и компенсационной схем. Состоит из двух смежных контуров с источником питания, а измерительный прибор включен в общую ветвь контуров и реагирует на разность контурных токов. В дифференциальной схеме могут быть использованы параметрические (с изменяющимся сопротивлением) и генераторные (с изменяющейся ЭДС) датчики.

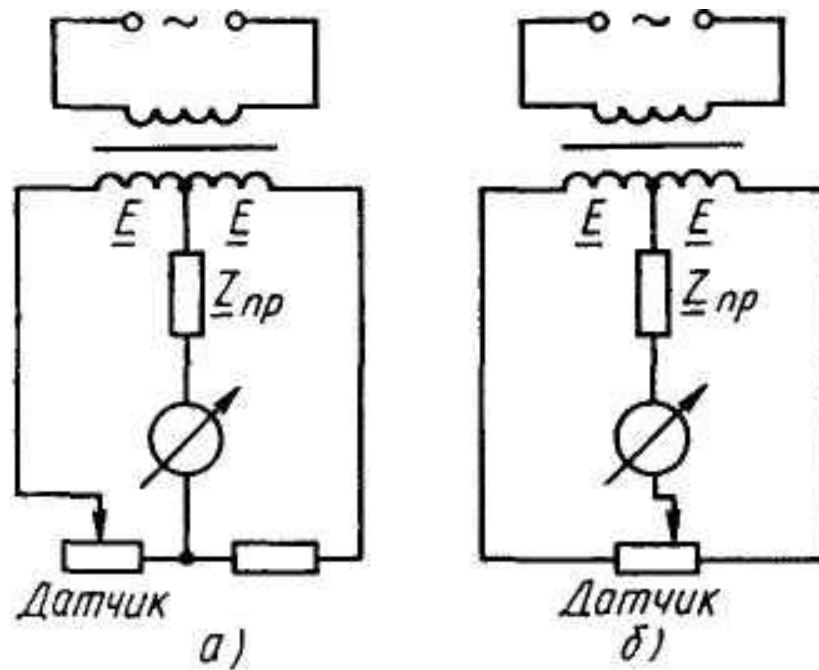


Рис. Дифференциальные схемы включения параметрических датчиков.

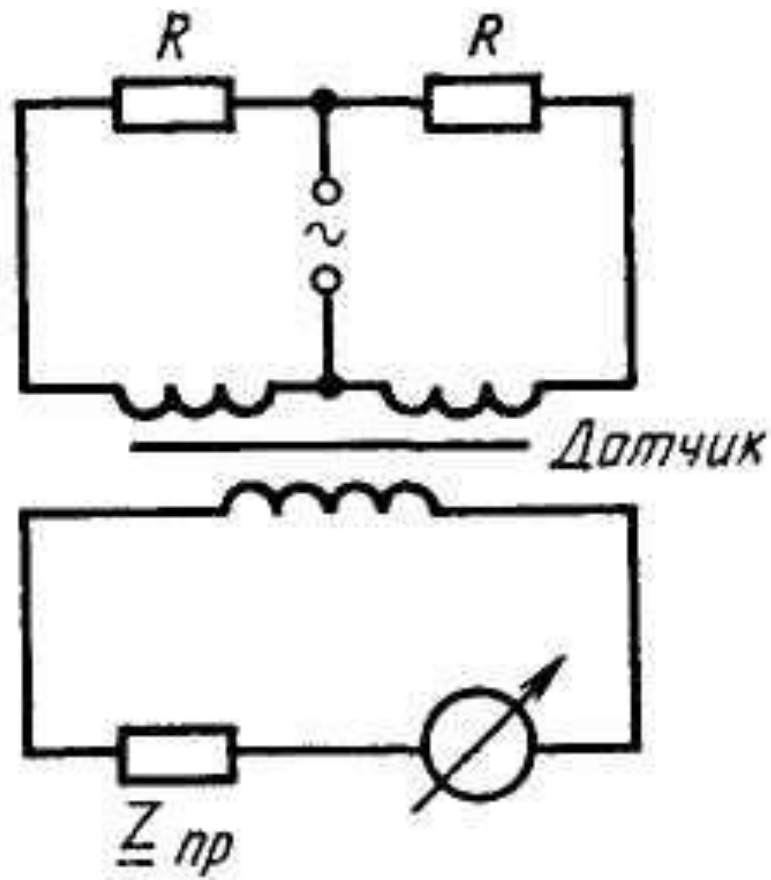


Рис. Дифференциальная схема включения генераторного датчика

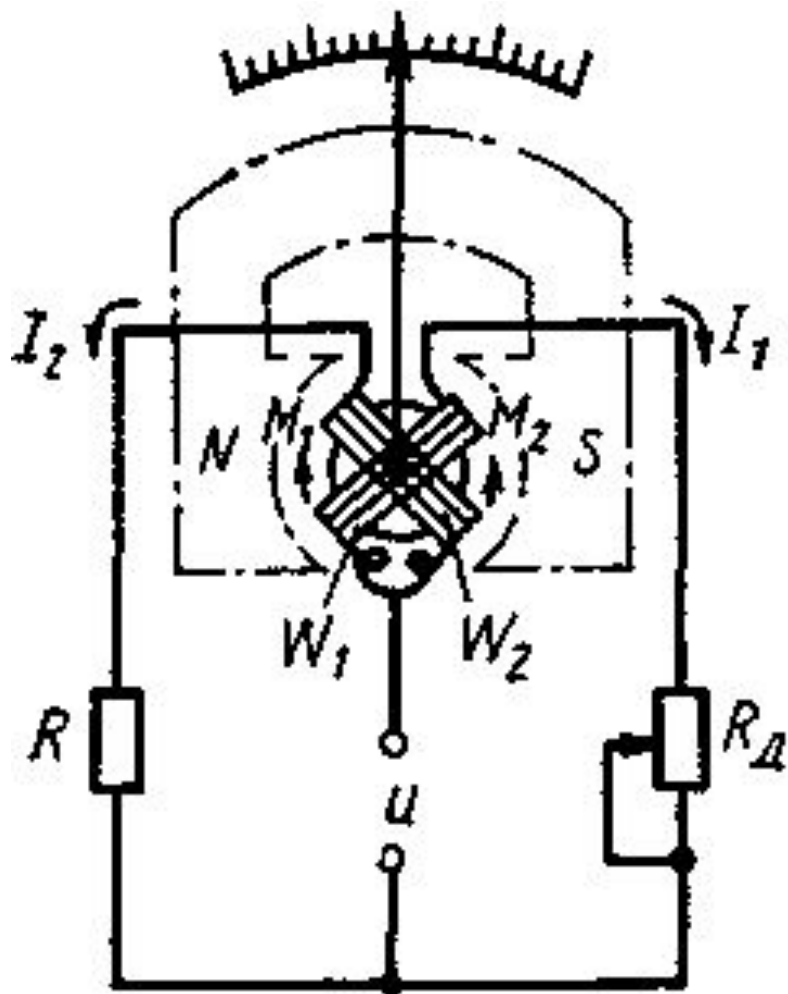


Рис. Логометрическая измерительная схема

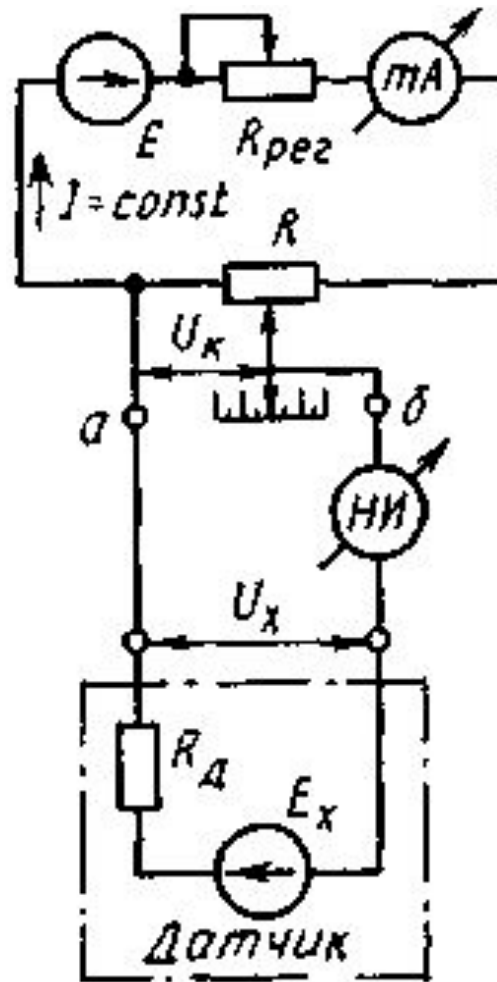


Рис. Компенсационная измерительная схема с ручным уравниванием

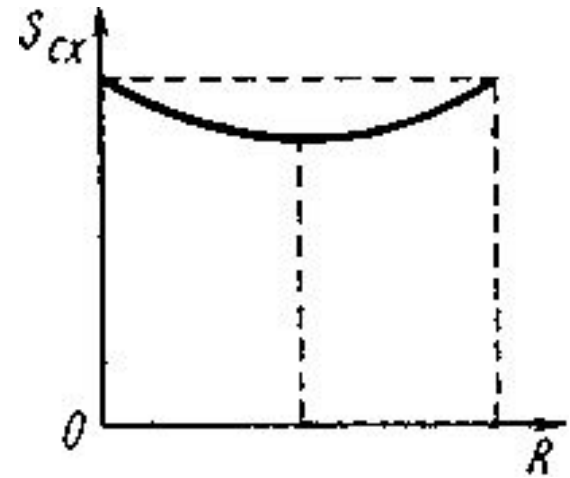
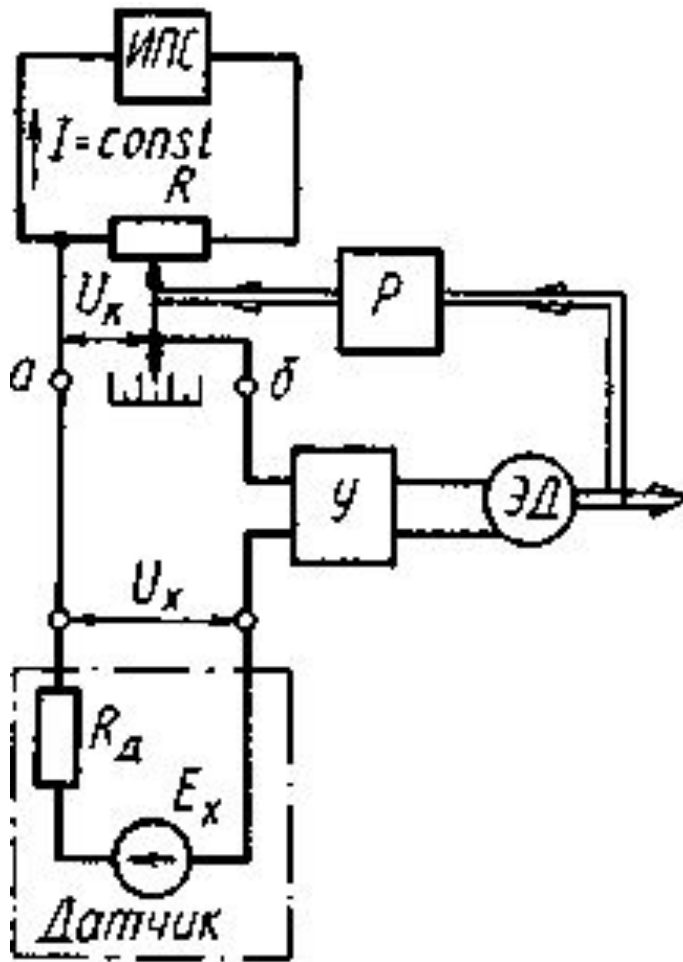


Рис. Схема автоматического потенциометра

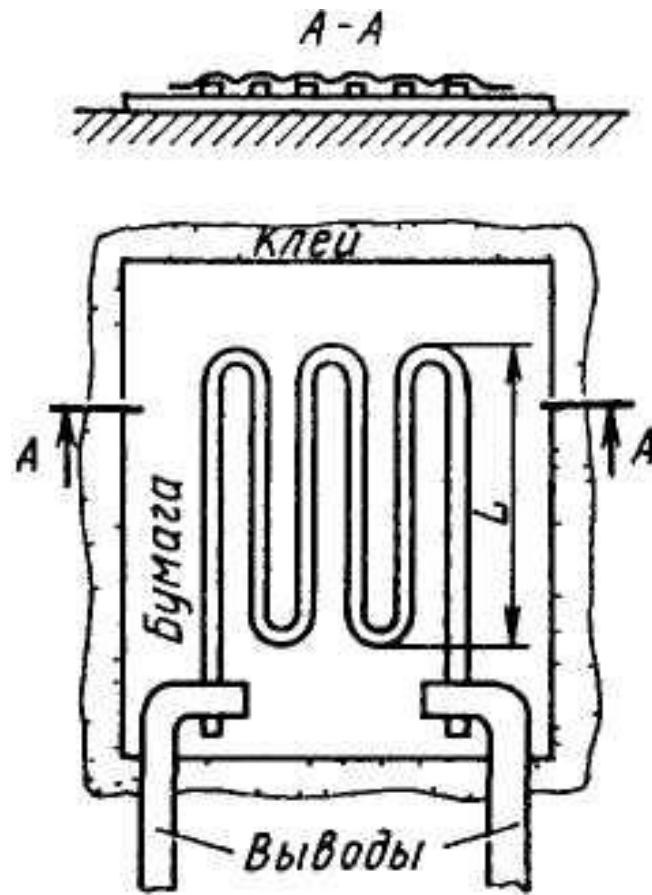


Рис. Проволочный наклеиваемый тензодатчик

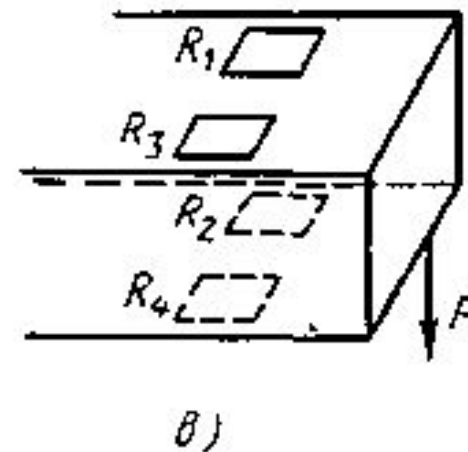
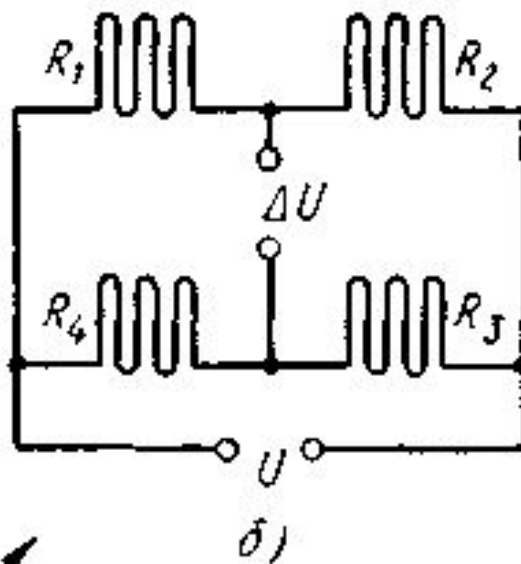
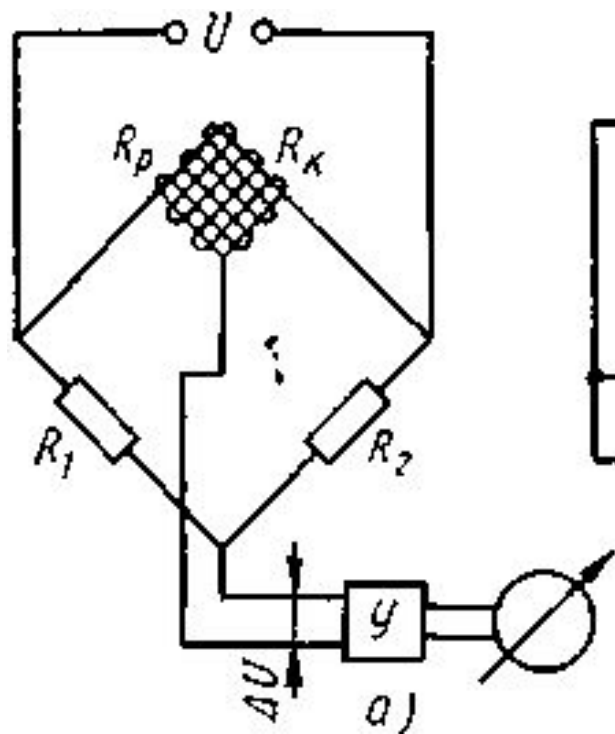


Рис Схемы включения и места крепления тензодатчиков



а)



б)



в)

Рис. Фольговые тензодатчики

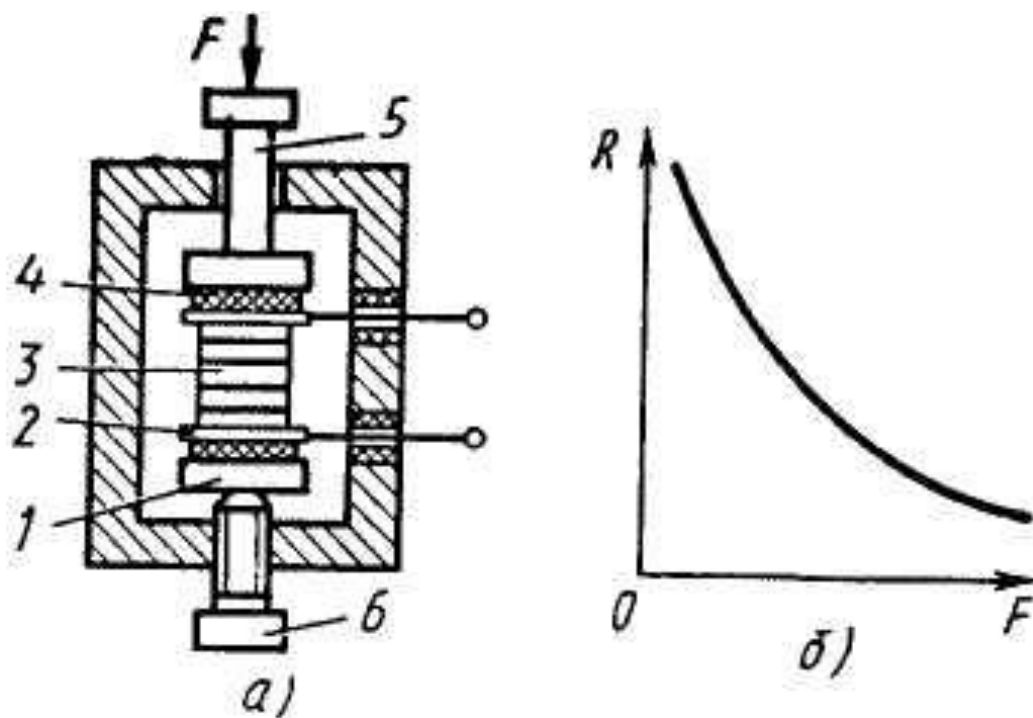


Рис. Угольный датчик для измерения усилия

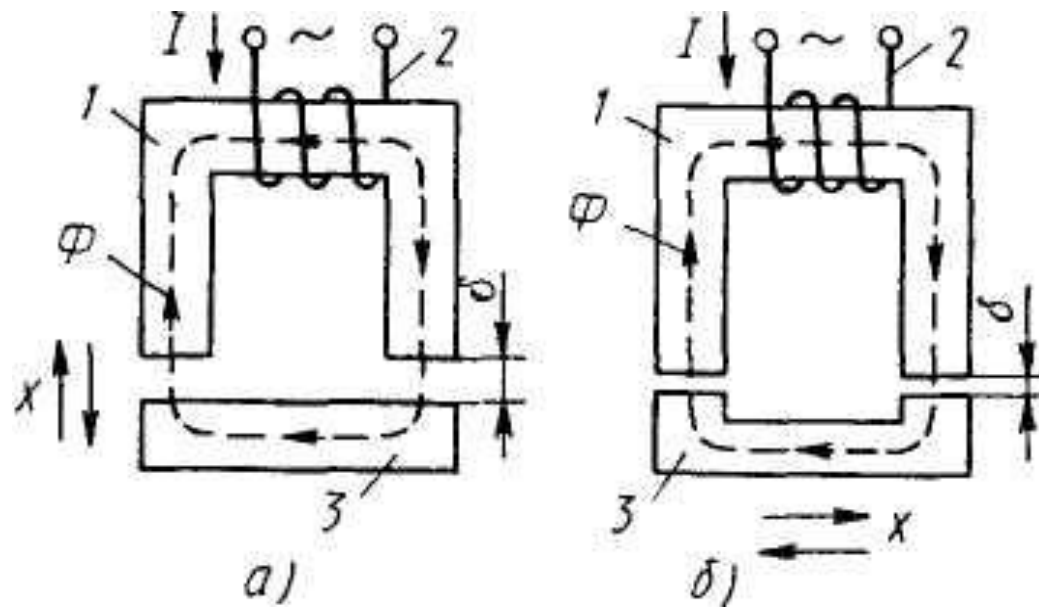


Рис. Простые индуктивные датчики

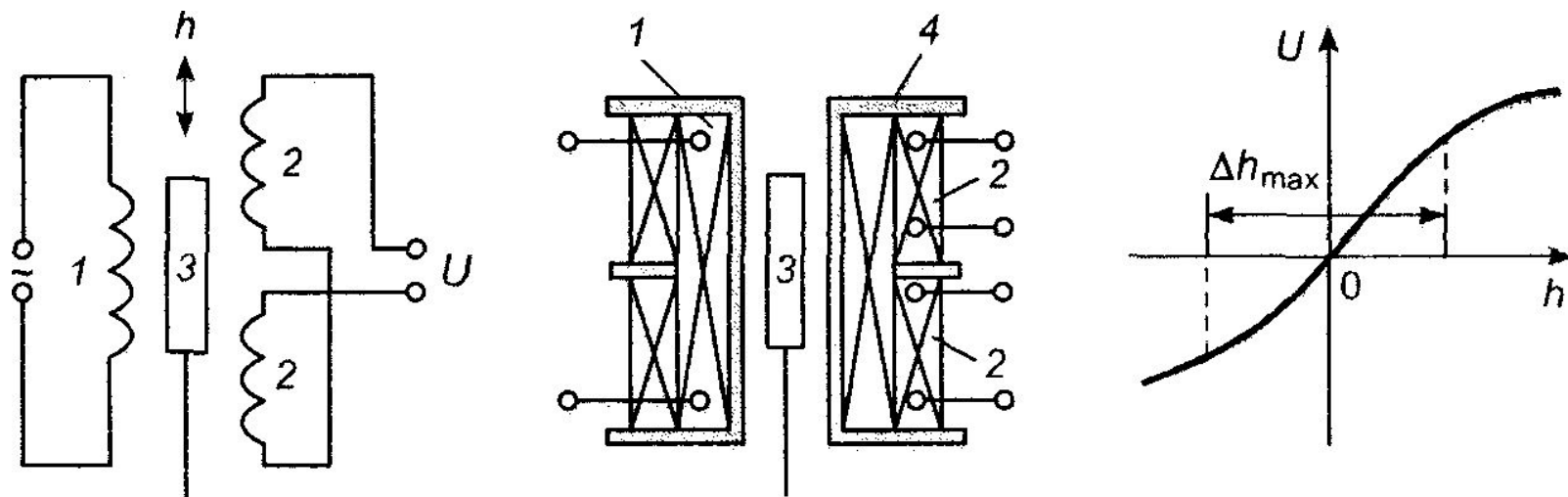


Рис. Индуктивный преобразователь:

а — электрическая схема; б — конструкция передающего дифференциально-трансформаторного преобразователя (1 — односекционная первичная обмотка; 2 — секции вторичной (выходной) обмотки; 3 — подвижный сердечник; 4 — катушка преобразователя); в — статическая характеристика

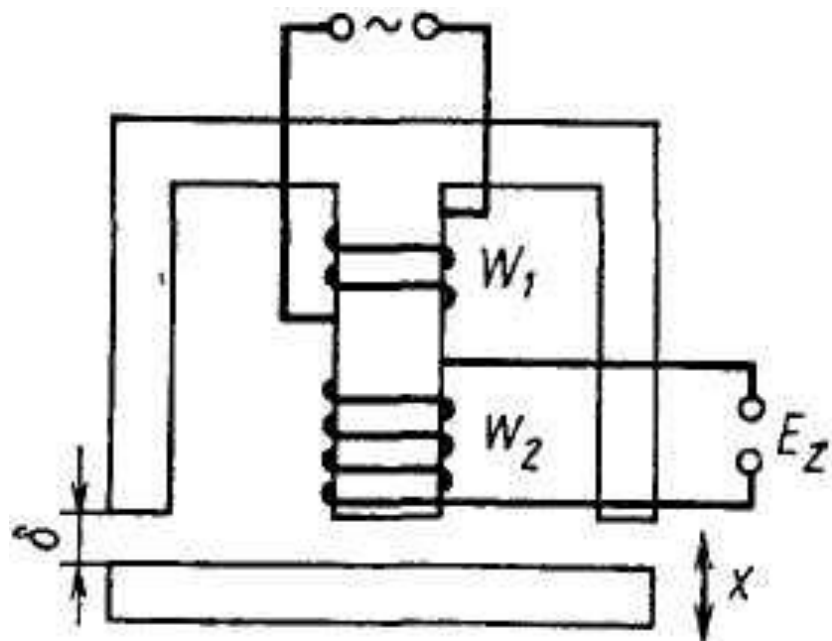


Рис. Трансформаторный датчик линейных перемещений

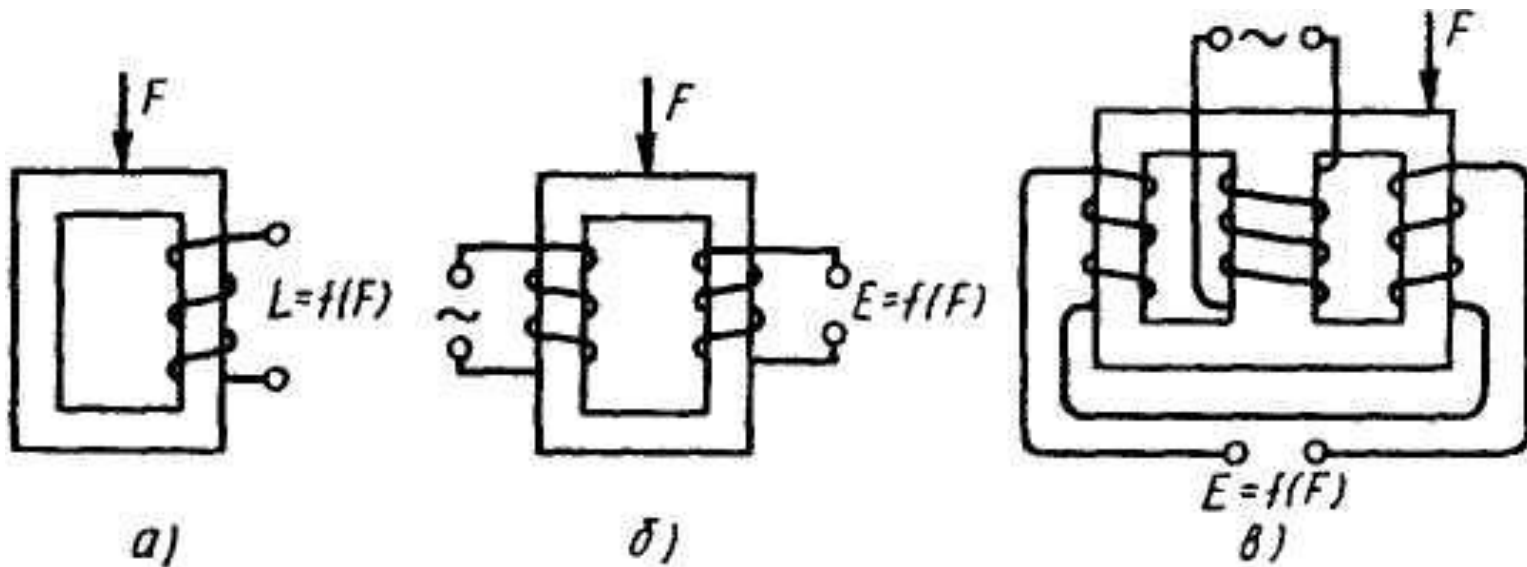


Рис. Схемы магнитоупругих датчиков

$$R_M = \frac{l}{s \cdot \mu}$$

- магнитное сопротивление сердечника, где l и s — длина и площадь сечения сердечника

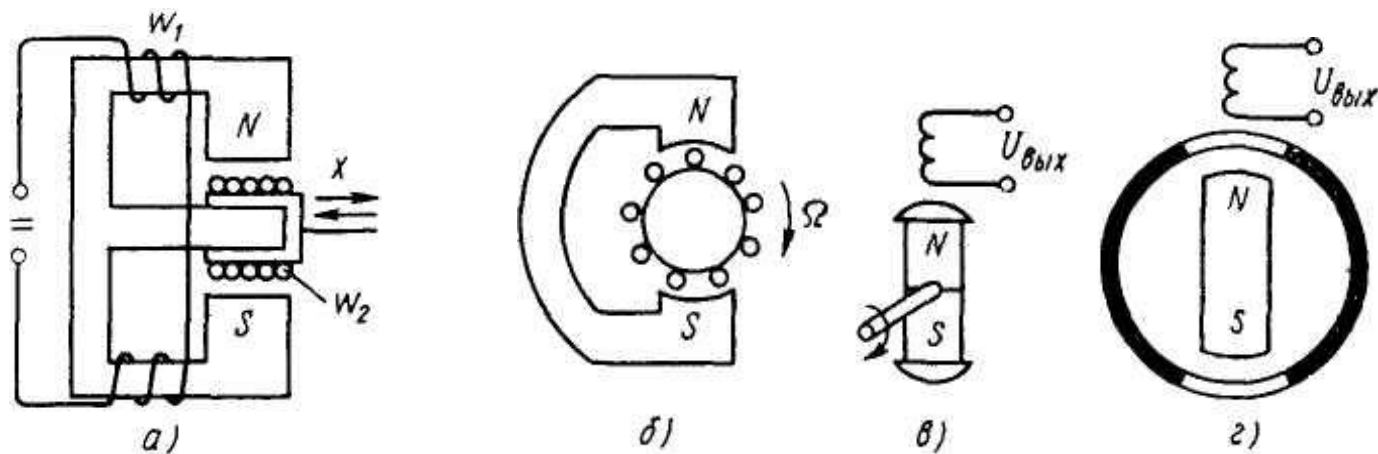
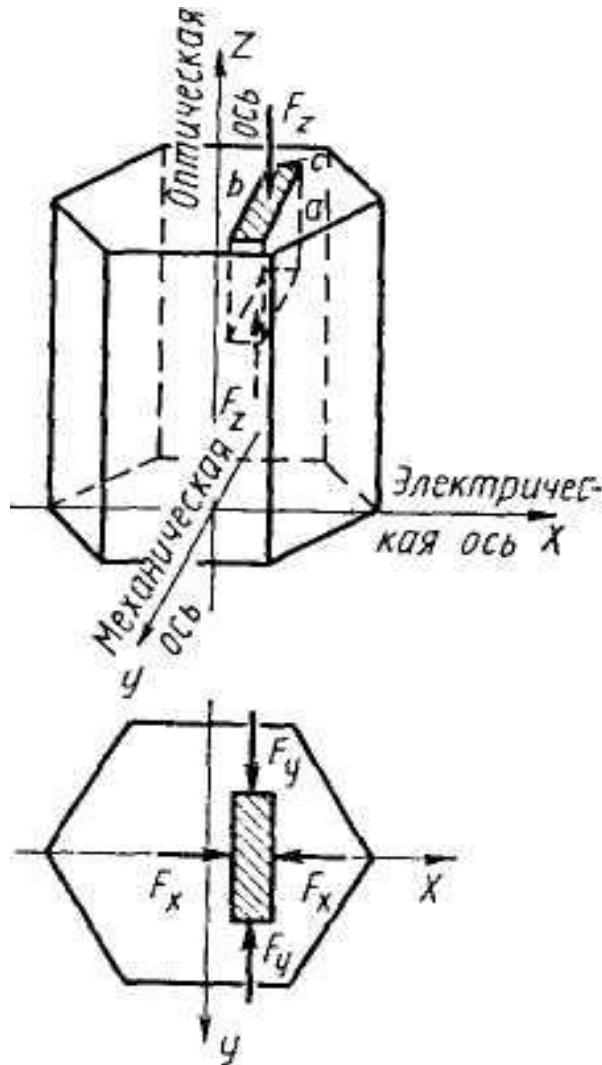


Рис. Схемы индукционных датчиков

$$E = k \cdot \Phi \cdot \frac{dx}{dt} \quad - \text{ ЭДС, пропорциональная скорости перемещения}$$

$$E = k \cdot \Phi \cdot \Omega \quad - \text{ ЭДС, пропорциональна скорости вращения } \Omega$$

Рис. Кристалл кварца и его оси симметрии



Величина зарядов не зависит от геометрических размеров кристалла, а определяется силой F_x

$$q_x = K_0 \cdot F_x$$

Величина зарядов под действием сил F_y зависит от геометрических размеров кристалла b и c и пропорциональна силе:

$$q_x = -K_0 \cdot F_x \cdot (b/c)$$

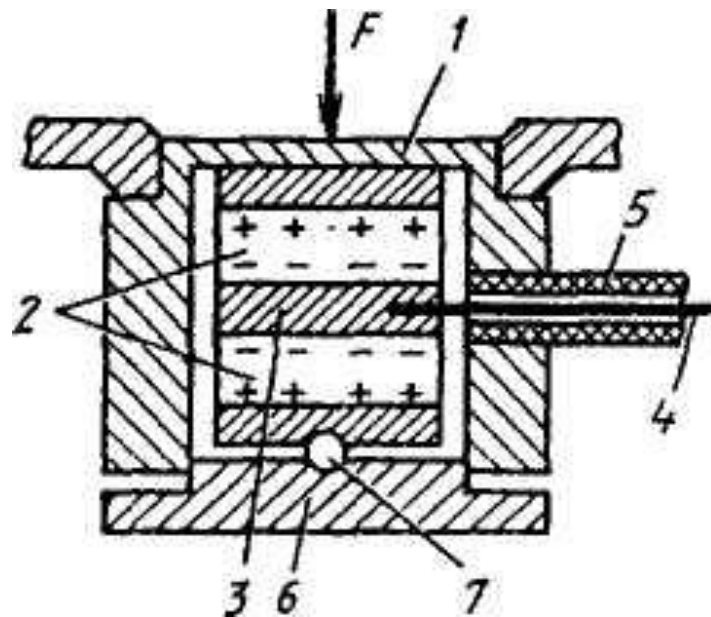


Рис. 2. Пьезоэлектрический датчик давления

На рисунке показано устройство пьезоэлектрического датчика давления с двумя кварцевыми пластинами. Измеряемое давление действует на мембрану 1, представляющую собой дно корпуса датчика. Кварцевые пластины 2 зажаты между металлическими прокладками 3. Средняя прокладка 3 соединена с выводом 4, проходящим через экранированную втулку 5 из изоляционного материала. Крышка 6 соединяется с корпусом и через шарик 7 передает давление пластинам, благодаря чему измеряемое давление распределяется по поверхности кварцевых пластин более равномерно

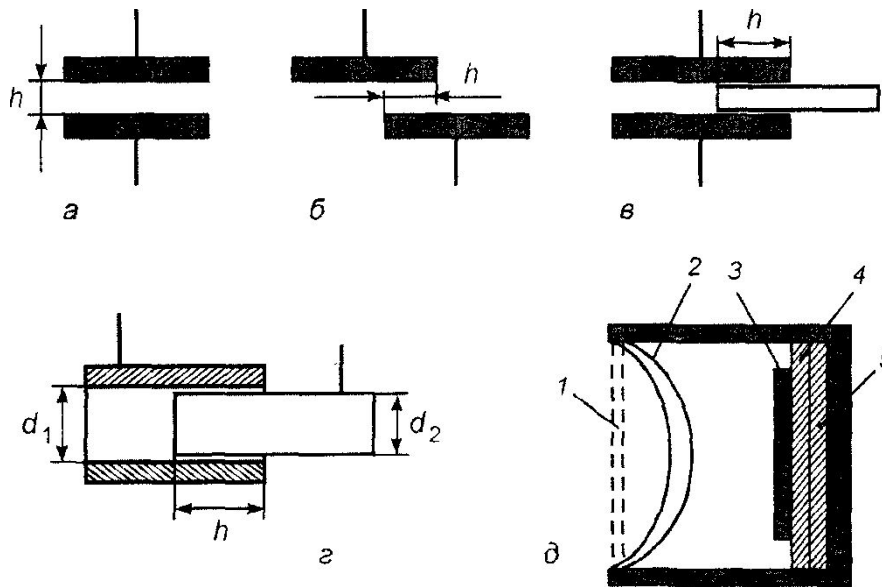


Рис. **Емкостные преобразователи:**
 а — параллельные пластины с переменным расстоянием; б — параллельные пластины с изменяемым перекрытием; в — параллельные пластины с перемещаемым диэлектриком; г — концентрические трубки; д — емкостный микрофон: 1 — положение недеформированной диафрагмы; 2 — диафрагма деформированная; 3 — неподвижная пластина; 4 — диэлектрик; 5 — ограничивающая полость

Действие емкостных преобразователей основано на зависимости емкости конденсатора от расстояния между пластинами, или от эффективной площади пластин, или от диэлектрической проницаемости, которые могут изменяться под действием измеряемой величины

**Датчики различных
технологических параметров.
Датчики давления и перепада
давления.**

- Давление является одним из важнейших параметров химико-технологических процессов.
- Под давлением в общем случае понимают предел отношения нормальной составляющей силы к площади, на которую действует сила.
 - При равномерном распределении сил давление равно частному от деления нормальной составляющей силы давления на площадь, на которую эта сила действует.

Различают абсолютное и избыточное давление.

Абсолютное давление p_a — параметр состояния вещества (жидкостей, газов и паров).

Избыточное давление p_i — разность между абсолютным давлением p_a и атмосферным давлением p_b (т. е. давлением окружающей среды): $p_i = p_a - p_b$.

Если абсолютное давление ниже атмосферного, то $p_v = p_b - p_a$, где p_v — давление (разрежение), измеренное вакуумметром.

Единица давления	Коэффициент перевода				
	кгс/м ² или мм. вод. ст.	кгс/см ² или ат (техническая атмосфера)	атм (физическая атмосфера)	мм. рт. ст.	Па
1 кгс/м ² или 1 мм. вод. ст.	1	10 ⁻⁴	0,0968 10 ⁻³	73,556 10 ⁻³	9,80665
1 кгс/см ² или 1 ат (техническая атмосфера)	10 ⁴	1	0,9678	735,56	98066,5
1 атм (физическая атмосфера)	10 332	1,0332	1	760,00	101 325
1 мм рт. ст.	13,6	1,36 10 ⁻³	1,316 10 ⁻³	1	133,322
1 Па	0,101	10,2 10 ⁻⁶	10,13 10 ⁻⁶	7,50 10 ⁻³	1

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

- Приборы для измерения давления обычно классифицируют по принципу действия и по роду измеряемой величины.

По принципу действия приборы для измерения давления делятся на:

- жидкостные, основанные на уравнивании измеряемого давления гидростатическим давлением столба жидкости;
- деформационные (пружинные), измеряющие давление по величине деформации различных упругих элементов или по развиваемой ими силе;
- электрические, основанные либо на преобразовании давления в какую-нибудь электрическую величину, либо на изменении электрических свойств материала под действием давления.

По роду измеряемой величины приборы для измерения давления и разрежения делят на:

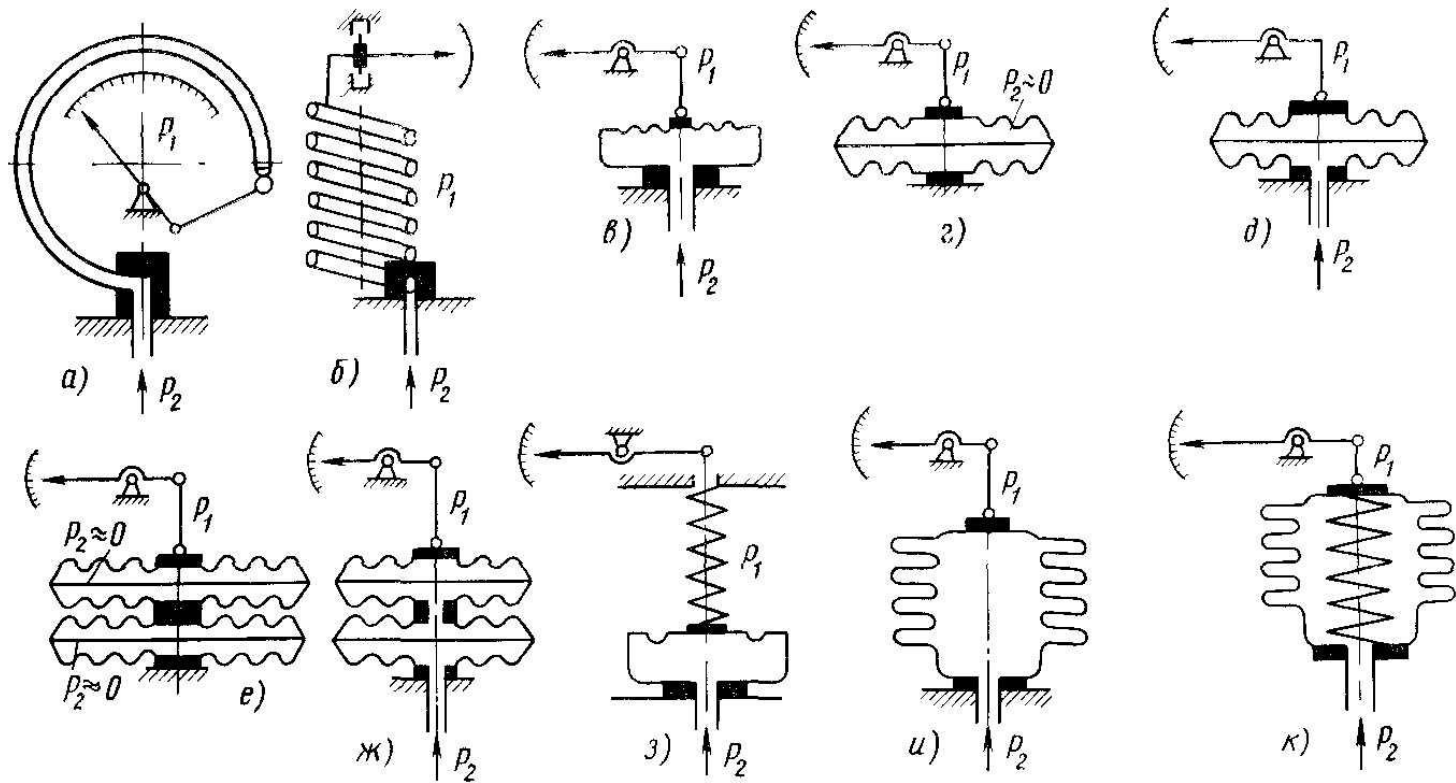
- манометры — приборы для измерения абсолютного и избыточного давления;
- вакуумметры — приборы для измерения разрежения (вакуума);
- мановакуумметры — приборы для измерения избыточного давления и вакуума;
- напоромеры (микроманометры) — приборы для измерения малых избыточных давлений;
- тягомеры (микроманометры) — приборы для измерения малых разрежений;
- тягонапоромеры (микроманометры) — приборы для измерения малых давлений и разрежений;
- дифференциальные манометры — приборы для измерения разности двух давлений, ни одно из которых не является давлением окружающей среды;
- барометры — приборы для измерения атмосферного давления.

ПРИБОРЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ С УПРУГИМИ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ (ДЕФОРМАЦИОННЫЕ)

Деформационные манометры, вакуумметры, мановакуумметры, тягомеры, напорометры, дифференциальные манометры и барометры составляют обширную группу приборов для технических измерений.

Пределы измерения, классы точности, допустимая температурная погрешность и некоторые другие параметры для отдельных видов приборов устанавливаются стандартами.

Действие деформационных приборов основано на использовании деформации или изгибающего момента различных упругих элементов, воспринимающих измеряемое давление среды и преобразующих его в перемещение или усилие. Преимущества деформационных приборов — простота устройства, надежность, универсальность, портативность и большой диапазон измеряемых величин. Деформационные приборы изготавливают различных классов точности.



По виду чувствительного элемента деформационные приборы делятся на следующие группы: приборы с трубчатой пружиной (рис. а, б); мембранные приборы, у которых упругим элементом служит мембрана (рис. в), анероидная или манометрическая коробка (рис. г, д), блок анероидных или манометрических коробок (рис. е, ж); пружинно-мембранные с гибкой мембраной (рис. з); приборы с упругой мембраной (сильфоном) (рис. и); пружинно-сильфонные (рис. к)

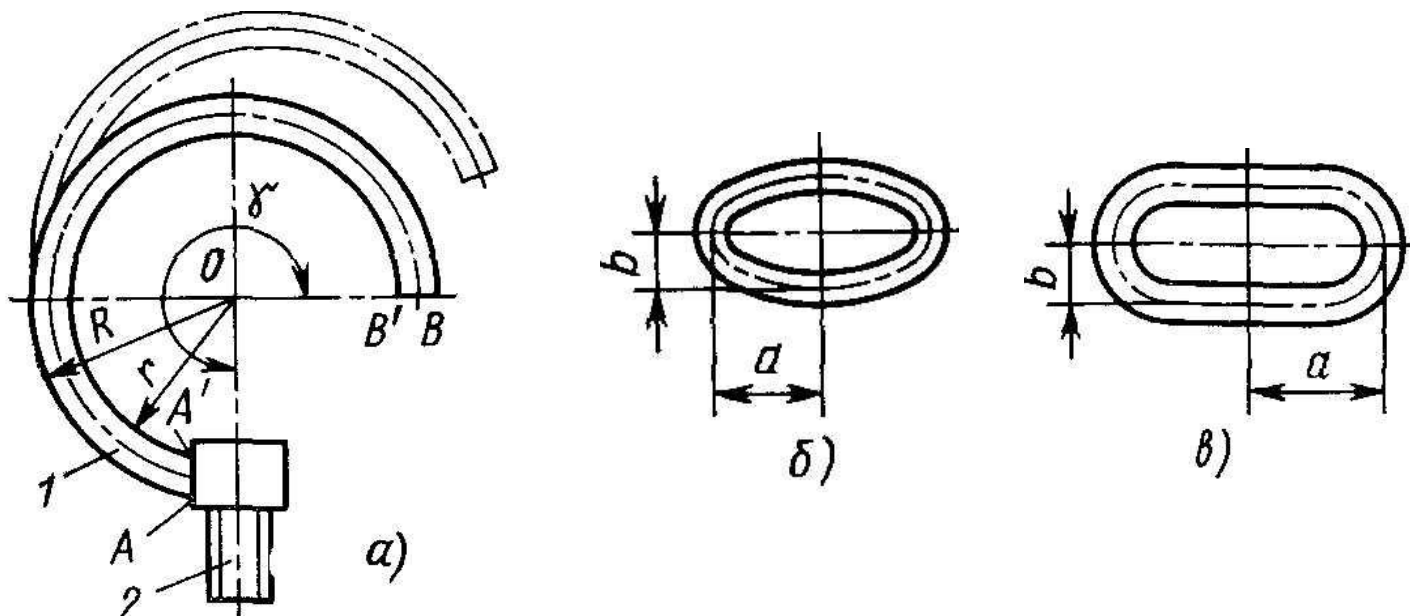


Рис. Прибор с одновитковой трубчатой пружиной:

a — схема трубчатой пружины;

б — эллиптическое поперечное сечение;

в — плоскоовальное поперечное сечение

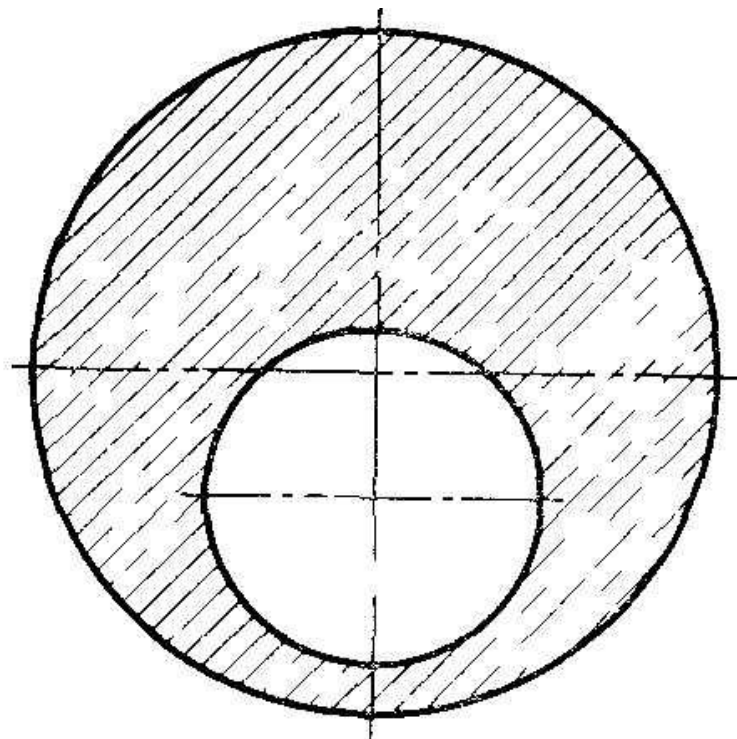


Рис. Поперечное сечение трубчатой пружины
высокого давления

Перемещение свободного конца до определенного предела пропорционально давлению $\Delta = k p$. При дальнейшем повышении давления линейная зависимость нарушается — деформация начинает расти быстрее увеличения давления.

Предельное давление, при котором еще сохраняется линейная зависимость между перемещением конца трубки и давлением, называется *пределом пропорциональности трубки*.

Показывающие приборы применяют чаще всего в качестве местных приборов.

Электроконтактные манометры используют для сигнализации о достижении минимального или максимального рабочего давления или для двухпозиционного регулирования.

Электроконтактный манометр по принципу действия аналогичен указывающему манометру с одновитковой трубчатой пружиной.

Контактный манометр может работать только при плавном (без пульсаций) изменении давления.

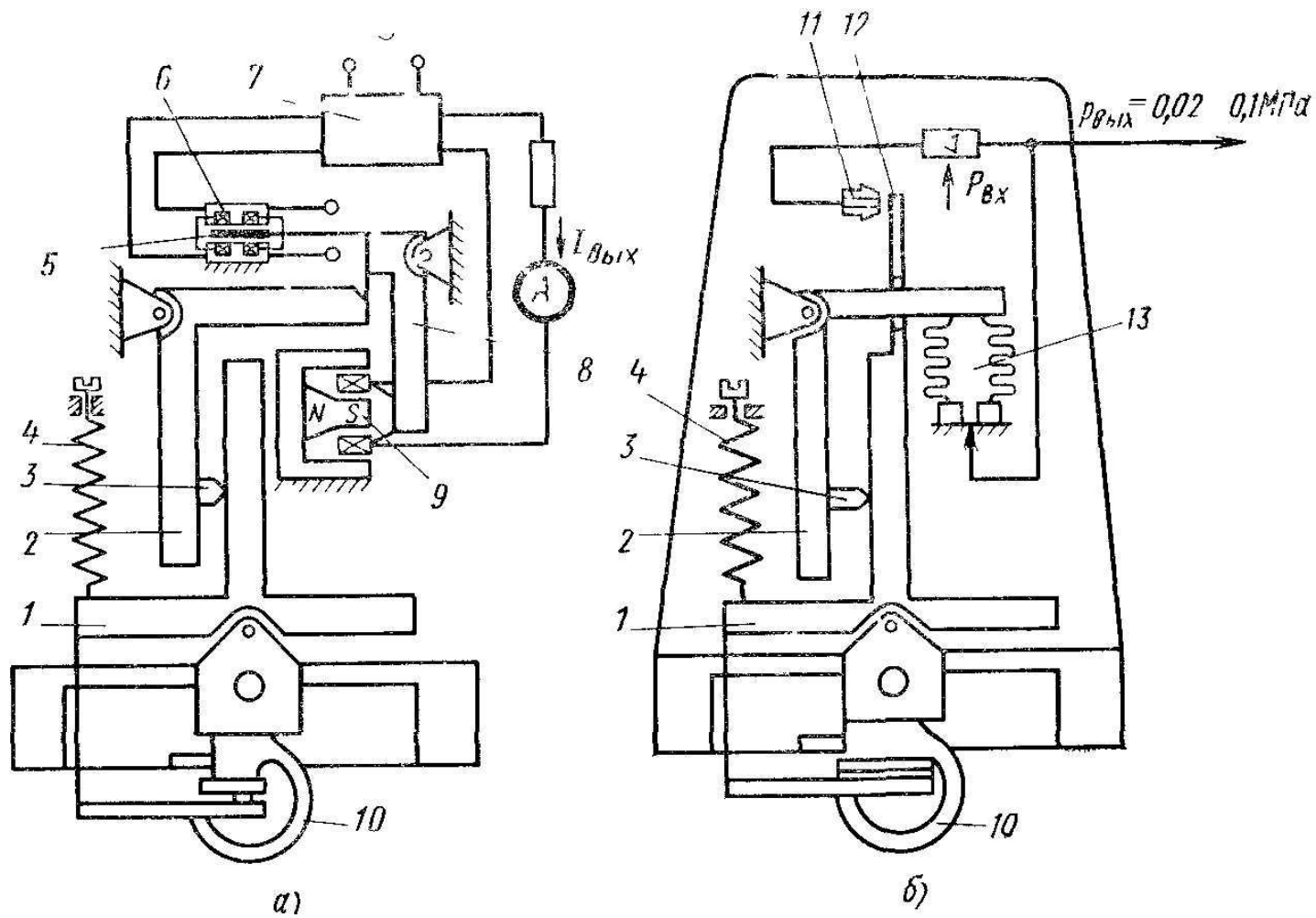


Рис. Принципиальные схемы манометра с передачей показаний на расстояние с электрическим (а) и пневматическим (б) преобразователем

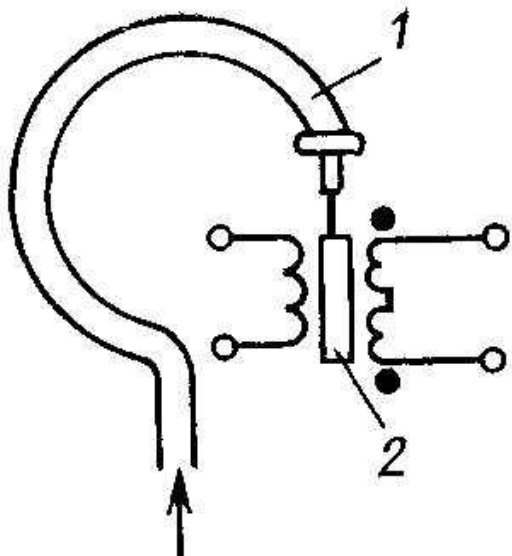


Рис. Схема бесшкального прибора с дифференциально-трансформаторным датчиком

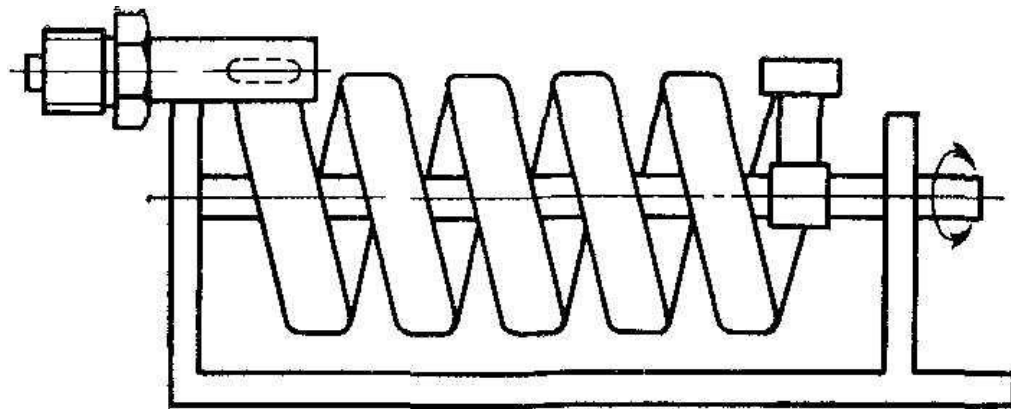


Рис. Схема многовитковой трубчатой пружины

Приборы с чувствительным элементом в виде гофрированных мембран, мембранных коробок и мембранных блоков применяют для измерения небольших избыточных давлений и разрежений (манометры, напоромеры и тягомеры), а также перепадов давления (дифманометры).

Величина прогиба мембраны является сложной функцией действующего на нее давления, ее геометрических параметров (диаметра, толщины, числа и формы гофров), а также модуля упругости материала мембраны.

Число, форма и размеры гофра зависят от назначения прибора, пределов измерения и других факторов. Гофрировка мембраны увеличивает ее жесткость, т. е. уменьшает прогиб при одинаковом давлении.

Из-за сложности расчета в большинстве случаев характеристику мембраны подбирают опытным путем.

К недостаткам мембранных приборов относятся небольшой ход подвижного центра чувствительного элемента, значительное отклонение жесткости мембраны от расчетной и трудность регулирования жесткости мембран.

Эти недостатки мембранных чувствительных элементов устраняются в приборах, построенных по схеме силовой электрической или пневматической компенсации

Пружинно-мембранные приборы отличаются тем, что мембрана, воспринимающая давление, выполнена из гибкого материала (вялая мембрана), а давление уравнивается цилиндрической винтовой пружиной. Гибкие мембраны обычно изготавливают из резины с тканевой основой, ткани с газонепроницаемой пропиткой или особых пластмасс. Вялые мембраны применяют в тягомерах, напоромерах, тягонапоромерах и дифманометрах. Неметаллические мембраны, как правило, снабжают жестким центром.

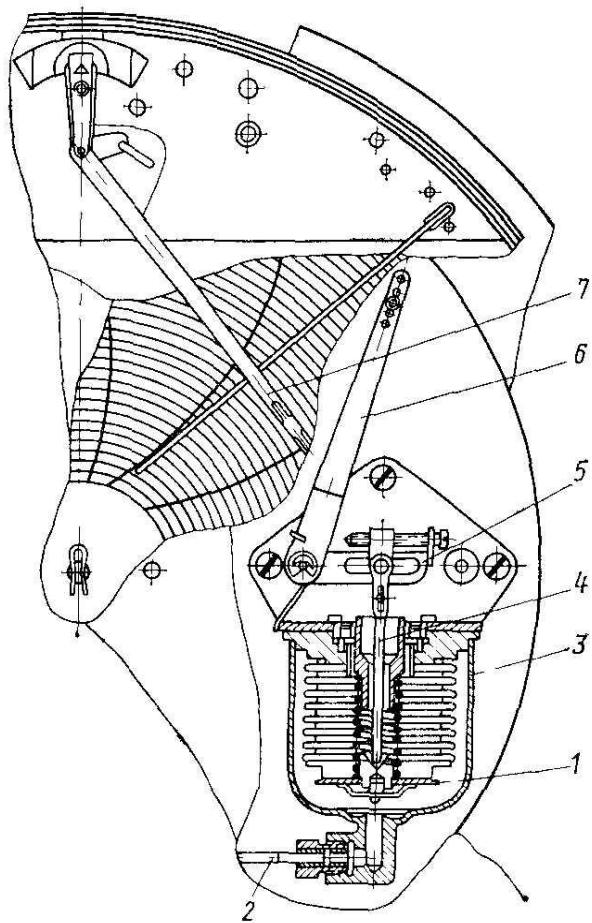


Рис. Сильфонный манометр

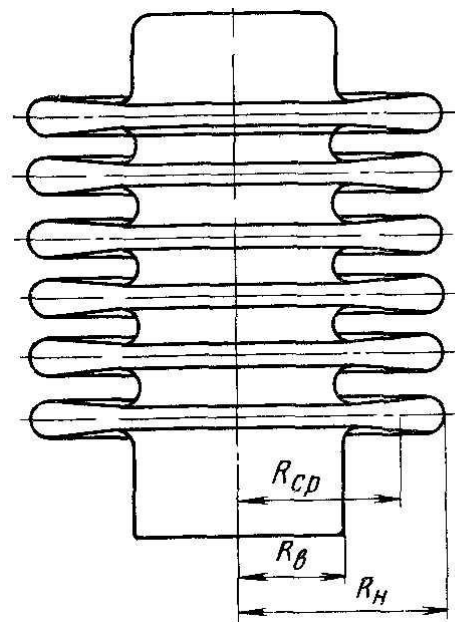
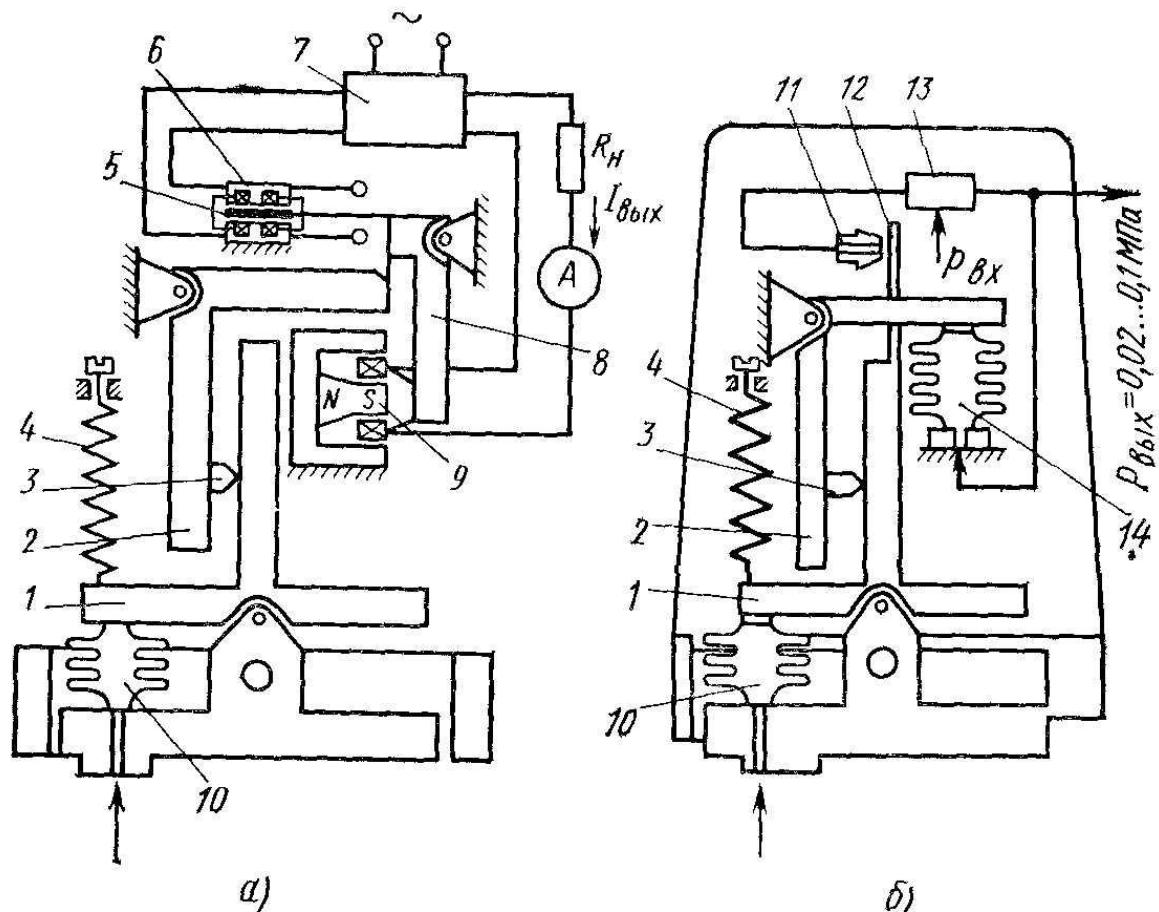


Рис. Сильфонный чувствительный элемент

Чувствительным элементом сильфонных приборов является цилиндрический тонкостенный сосуд с кольцевыми складками (гофрами), называемый сильфоном. Сильфоны изготавливают из латуни, бериллиевой бронзы и коррозионно-стойкой стали (обычно марки 12Х18Н9Т). При действии нагрузки (внешнего или внутреннего давления) длина сильфона изменяется, увеличиваясь или уменьшаясь в зависимости от направления приложенной силы.

В пределах рабочего диапазона давлений деформация сильфона приблизительно пропорциональна действующей силе, т. е. характеристика сильфона близка к линейной. В пределах прямолинейной характеристики отношение действующей силы к вызванной ею деформации постоянно и называется жесткостью сильфона.



- **Рис. Принципиальные схемы сифонного прибора с передачей показаний на расстояние с электрическим (а) и пневматическим (б) преобразователями:**

1, 2 и 8 — рычаги; 3 — подвижная опора; 4 — пружина корректора нуля; 5 — флажок, 6 — индикатор рассогласования; 7 — электронный усилитель; 9 — магнитоэлектрический механизм; 10 — сифонный чувствительный элемент; 11 — сопло; 12 — заслонка; 13 — усилитель; 14 — сифон обратной связи

Существенными недостатками сильфонов являются значительный гистерезис и некоторая нелинейность характеристики.

Для увеличения жесткости, уменьшения влияния гистерезиса и нелинейности часто внутрь сильфона помещают винтовую цилиндрическую пружину

В этом случае характеристика сильфона изменяется, так как к жесткости сильфона добавляется жесткость пружины.

Жесткость пружины обычно в несколько раз превышает жесткость сильфона, благодаря чему резко уменьшается влияние гистерезиса сильфона и некоторой нелинейности его характеристики.

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВЫБОРЕ, УСТАНОВКЕ И ЗАЩИТЕ ОТ АГРЕССИВНЫХ СРЕД ПРИБОРОВ ДАВЛЕНИЯ

Большое разнообразие условий измерений давления и разрежения и специфических условий проведения их на химических заводах не позволяет давать исчерпывающих указаний по выбору, установке и эксплуатации приборов в производственных условиях.

Однако для всего многообразия случаев измерения можно выделить некоторые общие требования, выполнение которых должно обеспечить правильность измерений в любых условиях.

- До начала измерения давления необходимо узнать примерную его величину, пределы колебаний, если оно переменное или пульсирующее, физико-механические свойства среды, требуемую точность измерения и др. Зная эти условия, можно выбрать тип прибора.

Для обеспечения заданной точности измерения и достаточно продолжительного срока службы пружинных приборов допустимое рабочее давление не должно превышать 0,75 верхнего предела шкалы.

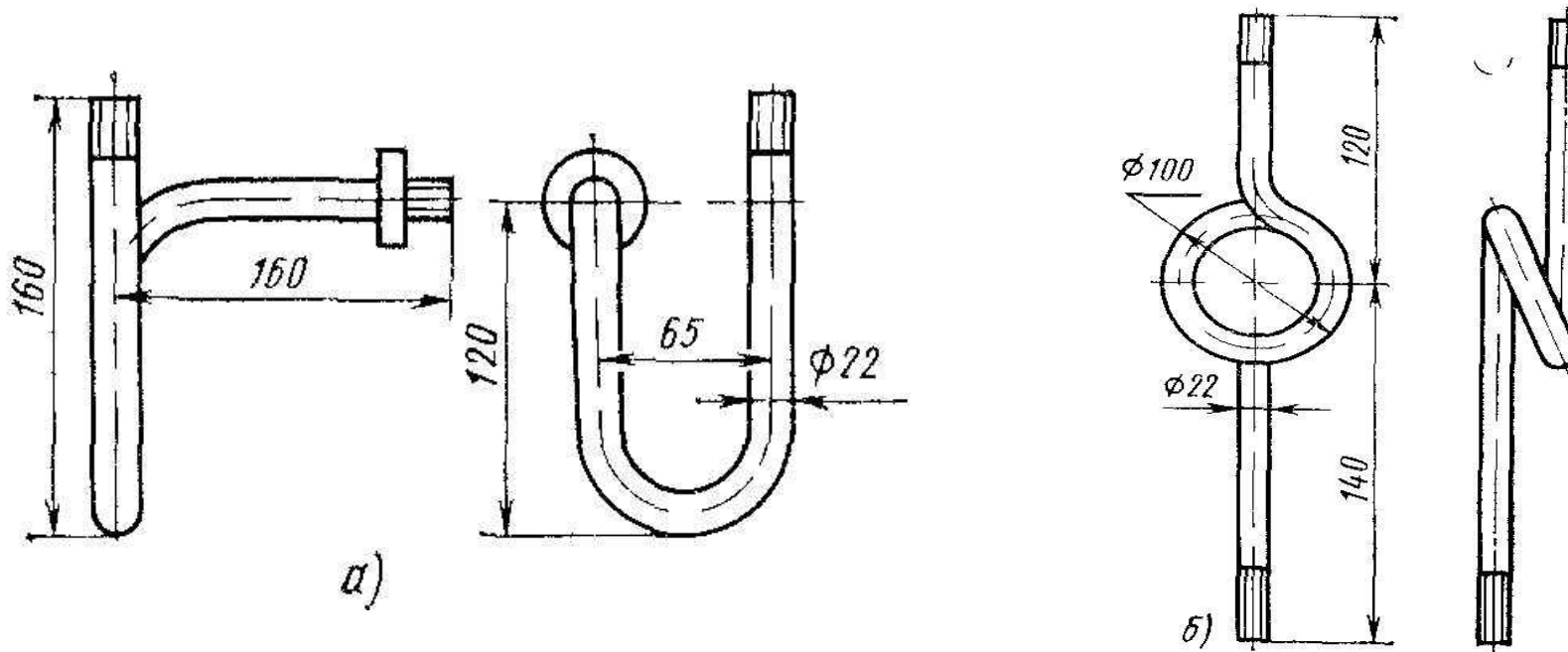
Для других приборов (не пружинных) допустимое рабочее давление должно быть возможно ближе к предельному значению шкалы прибора.

Место отбора давления на объектах измерения необходимо выбирать так, чтобы на результаты измерения не влияли динамическое воздействие потока и завихрения, которые образуются вблизи местных сопротивлений (колен, тройников, вентилях, регулирующих органов).

Импульсные линии, соединяющие места отбора давления с манометрами, должны иметь уклон не менее 1 : 50 в сторону места отбора, если контролируемая среда — газ или пар (исключаются жидкостные пробки внутри трубок), или в сторону манометра, если среда — жидкость (исключаются газовые пробки).

Длина импульсных линий не должна превышать 30 м, если измеряемое давление не более 980 Па, а при измерении более высоких давлений — не более 50 м. Рекомендуется применять соединительные трубки с внутренним диаметром 10— 12 мм, но не менее 8 мм.

Перед пружинным манометром обязательно устанавливают трехходовой кран, с помощью которого манометр плавно включают в работу, производят проверку нулевой точки шкалы и показаний манометра в рабочей точке (подключением контрольного прибора), а также продувают импульсные линии.

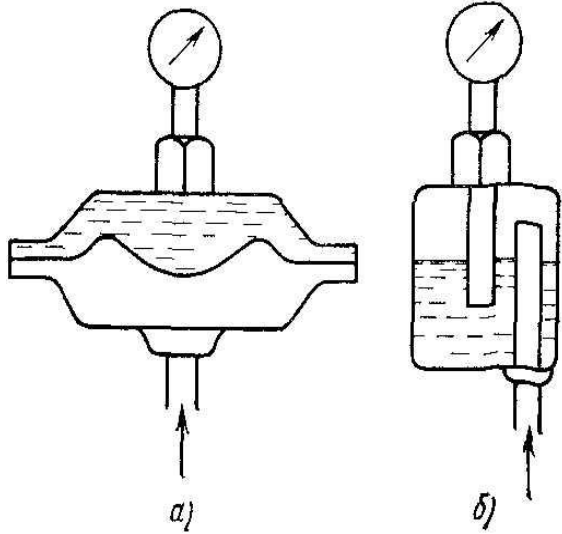


В химической промышленности манометры часто устанавливают на теплообменниках, выпарных, экстракционных и дистилляционных аппаратах, актоклавах, сушилках и т. п.

В таких случаях необходима защита воспринимающей части манометра (пружины, мембраны) от действия высокой температуры газа или пара.

Для этого перед манометром устанавливают так называемую сифонную трубку в виде буквы U (рис. а) или кольцевой петли (рис. б). При измерении давления нагретого газа сифонную трубку заполняют водой.

Если жидкость, газ, пар или его конденсат химически активны по отношению к материалу воспринимающей части прибора, то перед манометром устанавливают мембранное устройство (рис. а) или разделительный сосуд (рис. б), заполненный инертной жидкостью.



Давление контролируемой среды передается манометру через разделительную жидкость или разделительную мембрану. Разделительная жидкость не должна химически взаимодействовать с измеряемой средой или смешиваться с ней, должна быть нейтральна к материалу соединительных трубок, разделительных устройств и манометра.

В зависимости от свойств измеряемой среды и условий эксплуатации в качестве разделительных жидкостей применяют воду, технические масла, глицерин, водные растворы глицерина, этилен-гликоль, четыреххлористый углерод, керосин и др.

- Для защиты от нагревания лучеиспусканием манометр должен быть либо удален от аппарата на достаточное расстояние, либо закрыт экраном, поглощающим тепловые лучи.
- Толчки и вибрации уменьшают срок службы прибора, ускоряют изнашивание деталей узла передачи манометра, поэтому при измерении давления в аппарате, подверженном вибрации, манометр следует устанавливать на отдельном щитке, а перед манометром ставить приспособление, поглощающее колебания. Такое приспособление (буфер) чаще всего представляет собой дроссель в форме игольчатого вентиля или диафрагмы с очень маленьким отверстием, устанавливаемый перед манометром.
- Жидкостные приборы устанавливают строго по отвесу или уровню.

**Датчики различных
технологических параметров.
Датчики уровня жидких и сыпучих
материалов.**

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ЖИДКОСТЕЙ И СЫПУЧИХ ТЕЛ

Измерение уровня жидкостей и сыпучих тел состоит в определении по уровню количества вещества в емкости и контроле положения уровня в производственном аппарате при осуществлении технологического процесса.

Технические средства, применяемые для измерения уровня, называются уровнемерами. Приборы, предназначенные для сигнализации предельного уровня, называются сигнализаторами уровня.

В ряде химических производств аппаратура работает в условиях высоких температур и давлений, а контролируемые среды обладают коррозионной активностью, токсичностью, большой вязкостью, что усложняет измерение уровня.

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ЖИДКОСТЕЙ И СЫПУЧИХ ТЕЛ

Для измерения уровня жидкости наиболее распространены указательные стекла, поплавковые, гидростатические, электрические, ультразвуковые и акустические уровнемеры.

Для ряда технологических процессов в химической промышленности нередко возникает необходимость непрерывного измерения уровня сыпучих материалов в бункерах. Для этой цели наиболее часто применяют лотовые (поплавковые) и весовые уровнемеры.

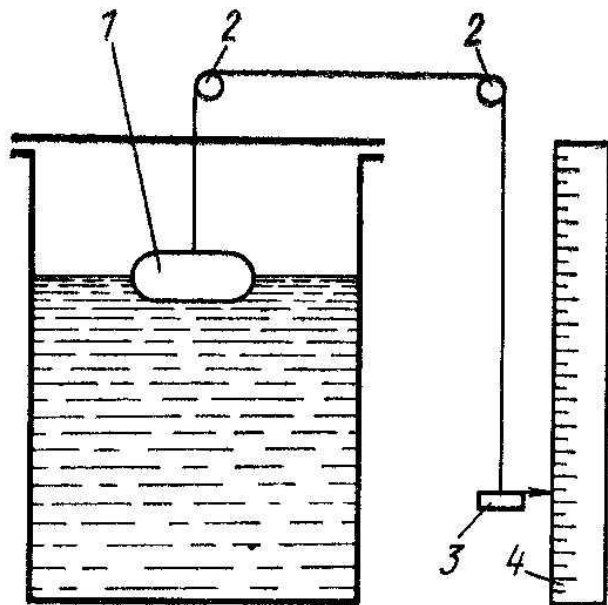


Рис. Схема простейшего поплавкового измерителя уровня

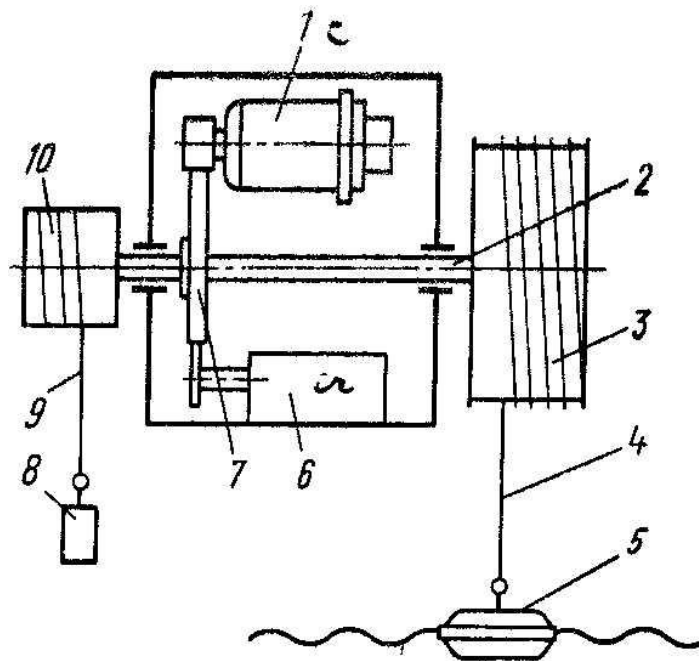


Рис. Поплавковый уровнемер с селесинным преобразователем

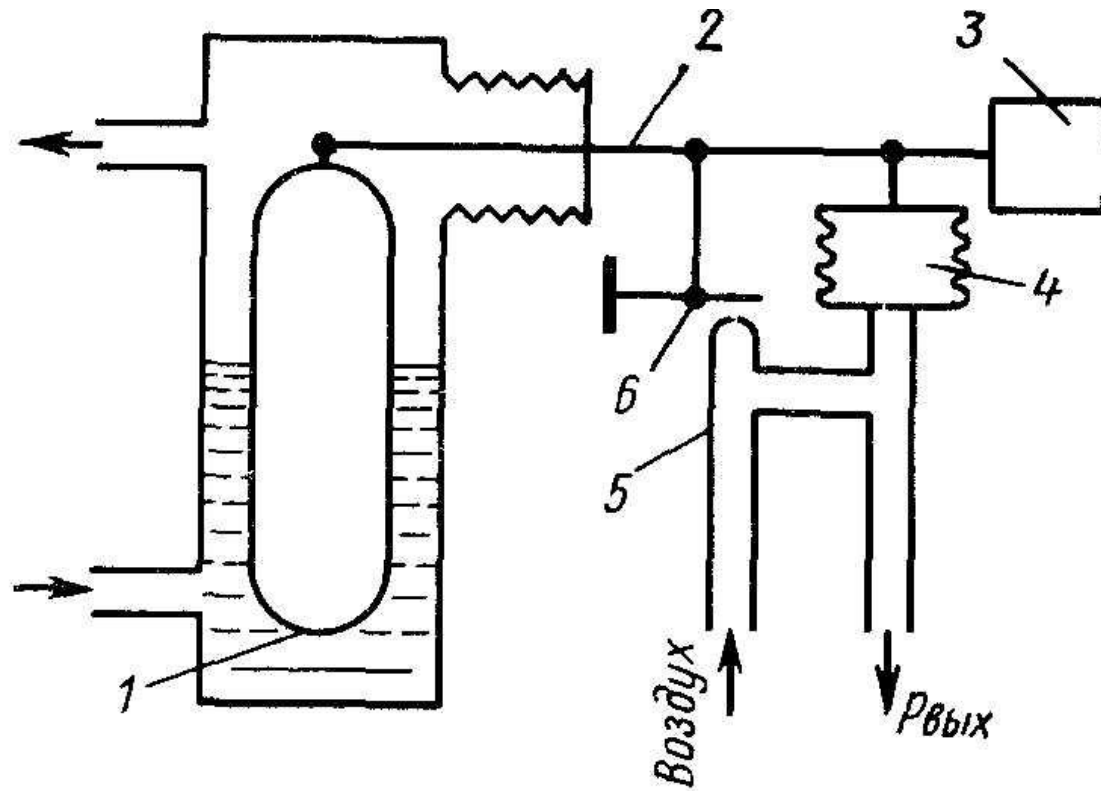


Рис. Принципиальная схема буйкового уровнемера с пневматической передачей показаний на расстояние (УБ-П)

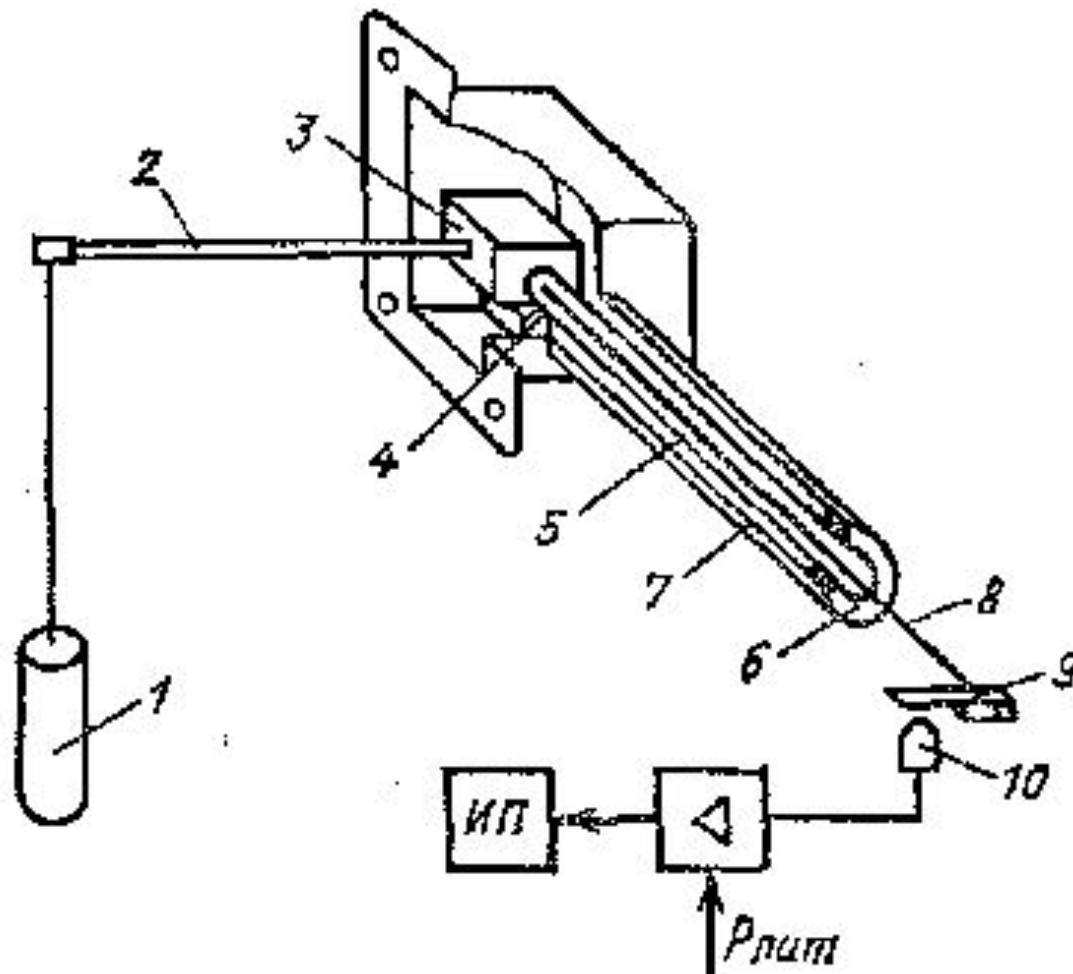


Рис. Схема буйкового уровнемера с торсионной подвеской.

ГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ УРОВНЕМЕРЫ

В этих приборах измерение уровня жидкости постоянной плотности сводится к измерению давления, создаваемого столбом жидкости, т. е. $p = H\rho g$

Существуют гидростатические уровнемеры с непрерывным продуванием воздуха или газа (пьезометрические уровнемеры) и с непосредственным измерением столба жидкости.

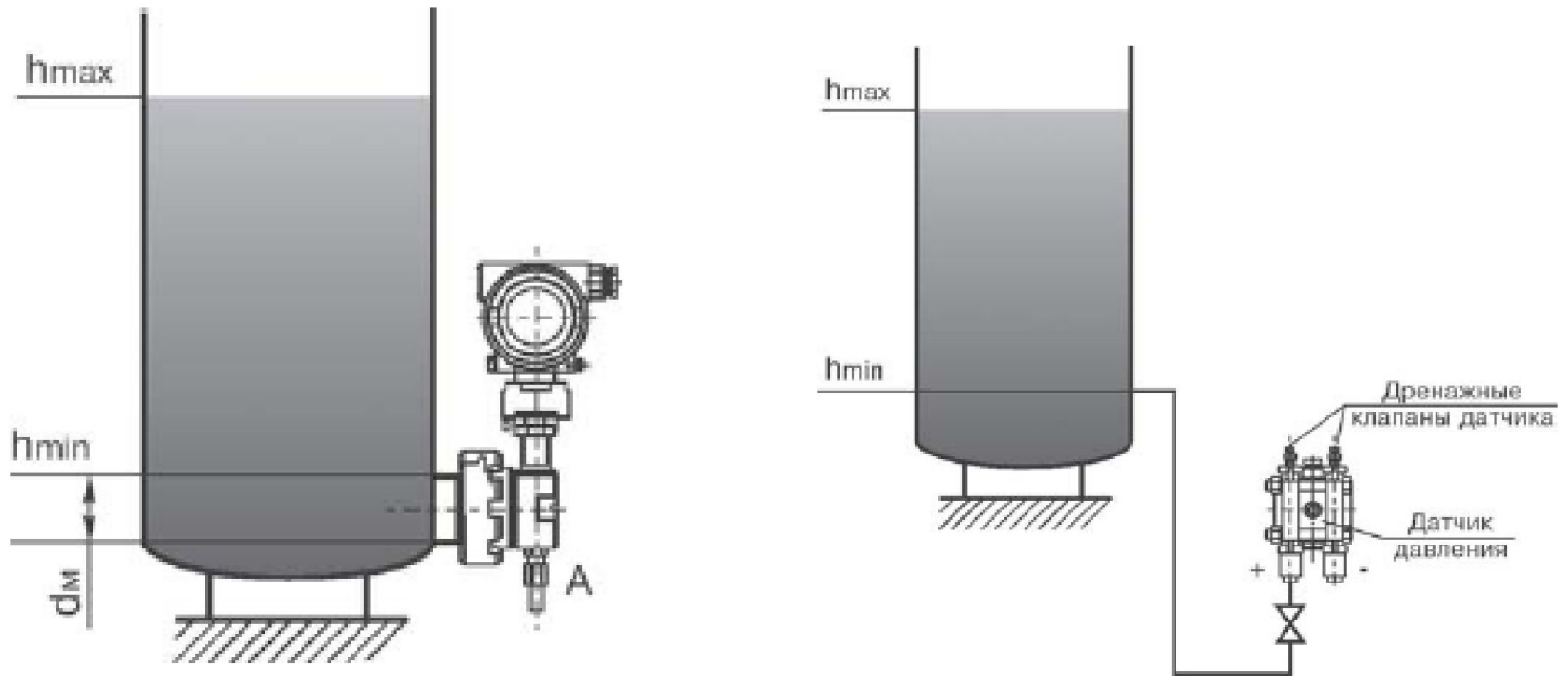


Рис. Схема установки датчиков при измерении гидростатического давления в открытом резервуаре.

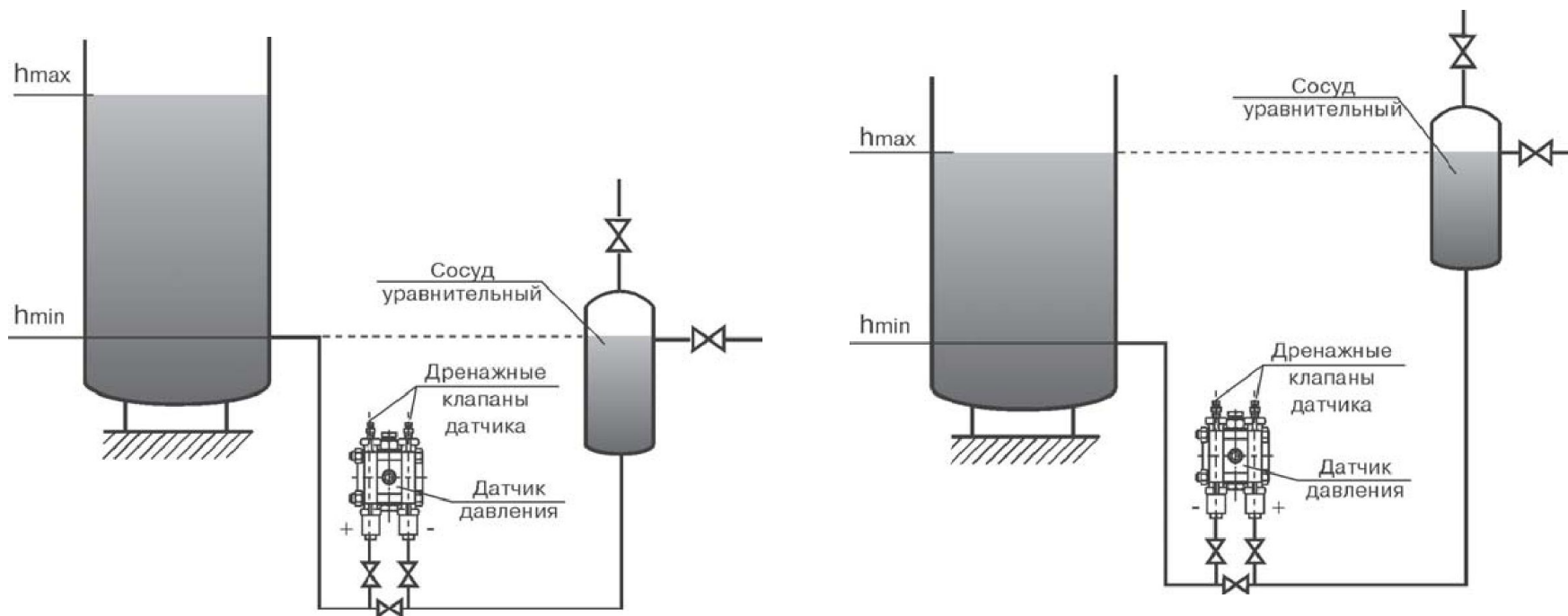


Рис. Схема установки датчиков при измерении гидростатического давления в открытом резервуаре.

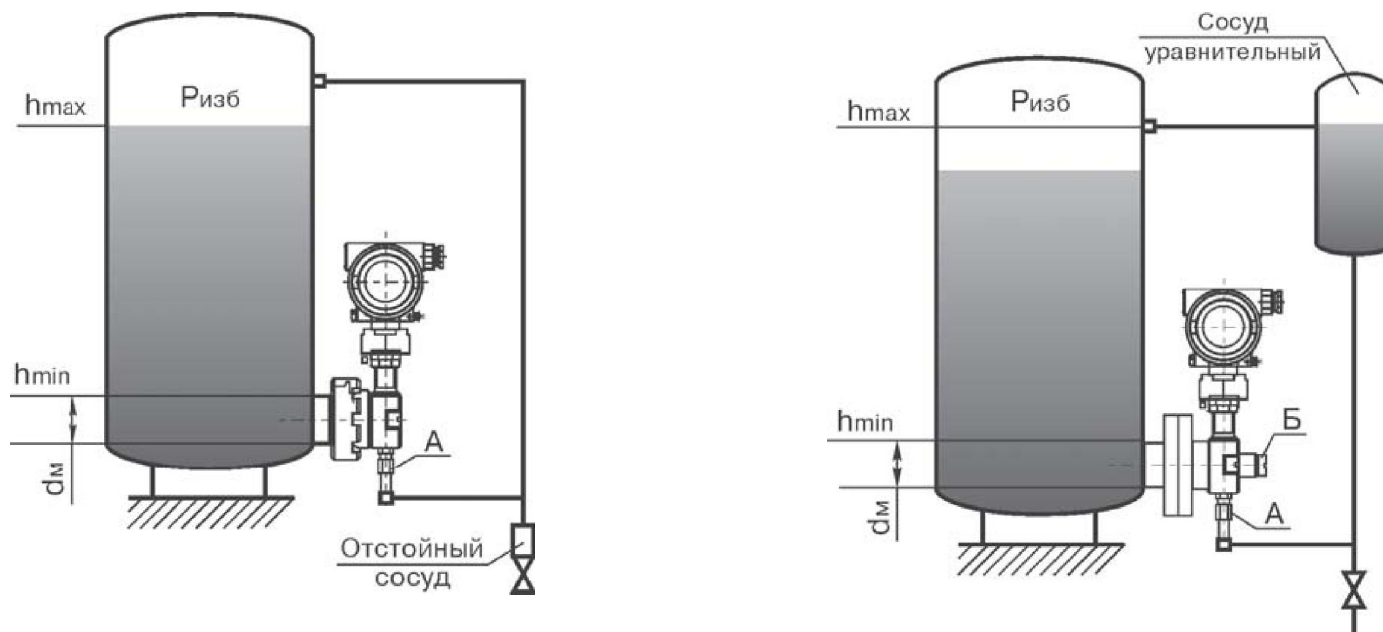


Рис. Схема установки датчиков при измерении гидростатического давления в закрытом резервуаре.

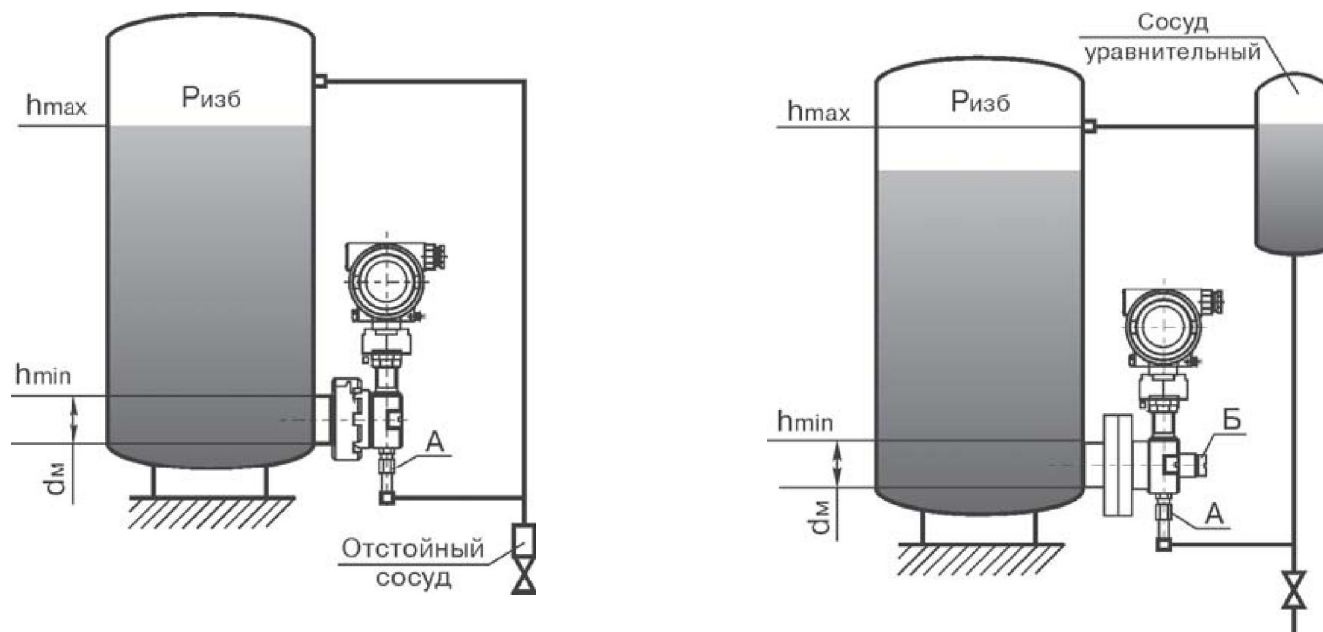


Рис. Схема установки датчиков при измерении гидростатического давления в закрытом резервуаре.

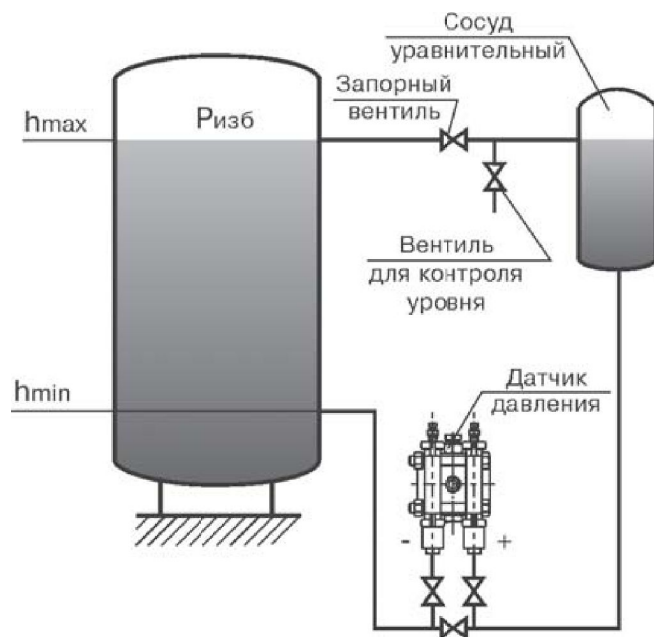
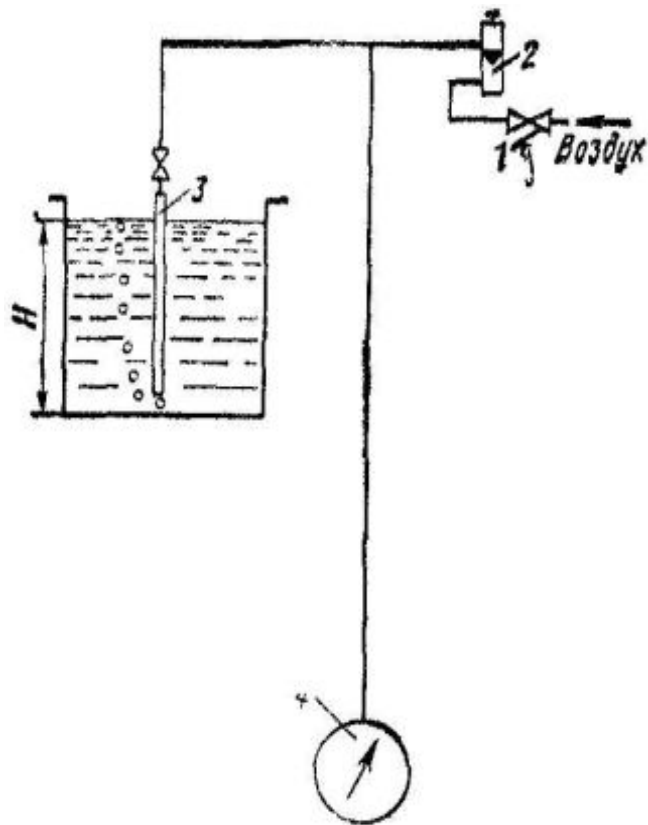


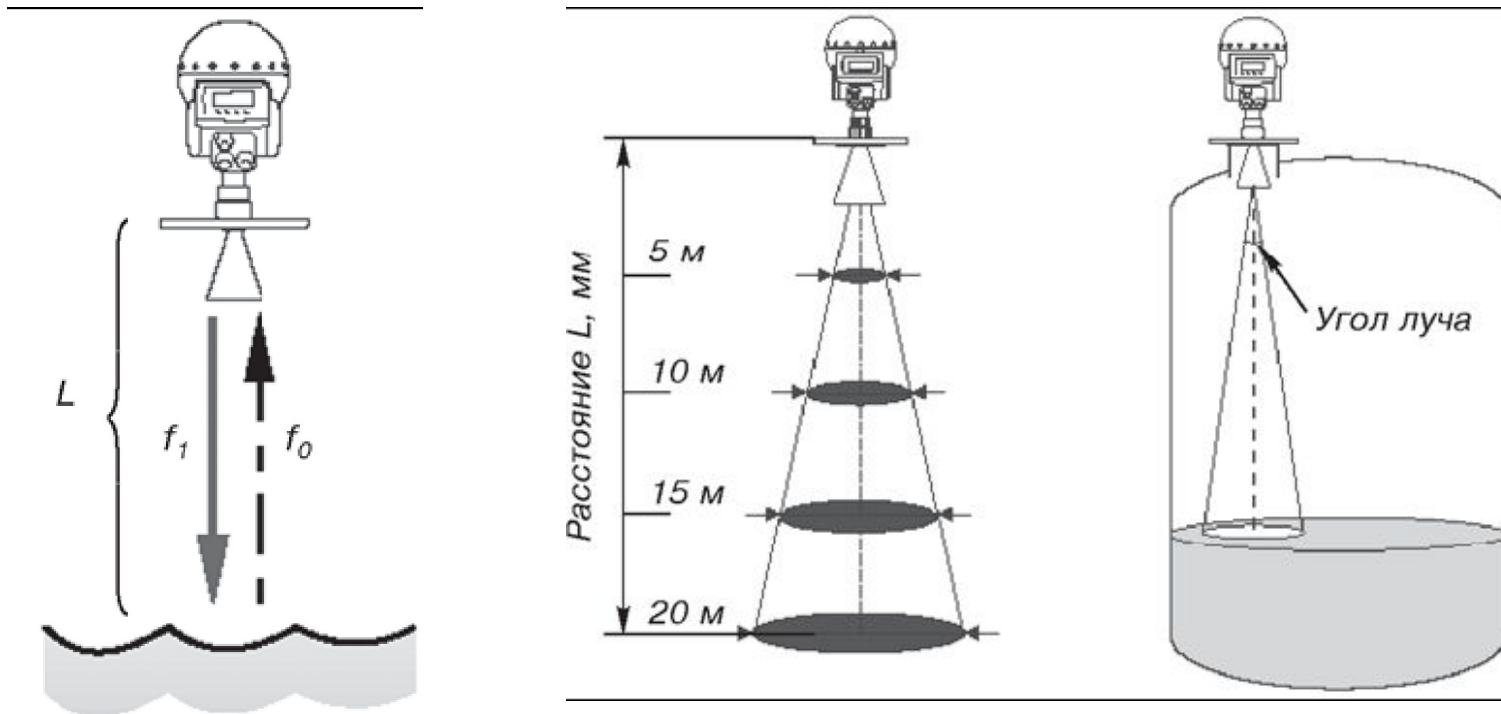
Рис. Схема установки датчиков при измерении гидростатического давления в закрытом резервуаре.



Пьезометрические уровнемеры применяют для измерения уровня самых разнообразных, в том числе агрессивных и вязких жидкостей в открытых резервуарах и в сосудах под давлением.

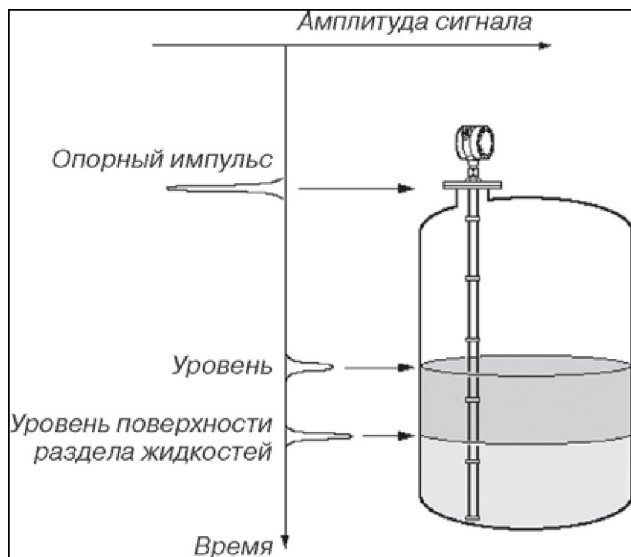
Сжатый воздух или газ, пройдя дроссель 1 и ротаметр 2, попадает в пьезометрическую трубку 3, находящуюся в резервуаре.

Давление воздуха (газа), измеряемое манометром 4 любой системы, характеризует положение уровня жидкости в резервуаре.



Принцип измерений основан на методе линейного частотно-модулированного непрерывного излучения (FMCW), который в настоящее время широко применим в высокоточных радиолокационных уровнемерах, предназначенных для работы в системах коммерческого учета.

Излученная антенной радиоволна отражается от поверхности продукта и через определенное время, зависящее от скорости распространения и расстояния до поверхности продукта, вновь попадает в антенну. В электронном модуле датчика происходит преобразование излученного и принятого сигнала. В результате на выходе образуется сигнал, частота которого равна разности частот принятого и излученного сигнала. По разности частот определяется расстояние до продукта, а затем вычисляется уровень наполнения резервуара



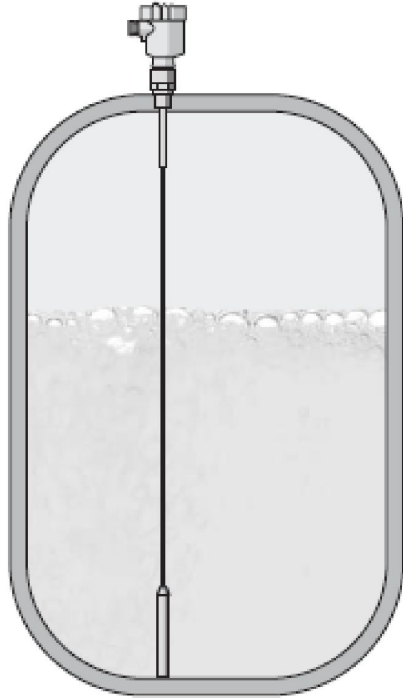
Принцип действия волноводного уровнемера основан на технологии рефлектометрии с временным разрешением (TDR = Time Domain Reflectometry). Микроволновые радиоимпульсы малой мощности направляются вниз по зонду, погруженному в технологическую среду, уровень которой нужно определить.

Когда радиоимпульс достигает среды с коэффициентом диэлектрической проницаемости, отличной от проницаемости газа над поверхностью среды, то из-за разности коэффициентов диэлектрических проницаемостей происходит отражение микроволнового сигнала в обратном направлении.

Временной интервал между моментом передачи зондирующего импульса и моментом приема эхо сигнала пропорционален расстоянию до уровня контролируемой среды.

Аналогичным образом измеряется расстояние между датчиком и границей раздела двух жидких сред с различными коэффициентами диэлектрической проницаемости.

Принцип измерения емкостного уровнемера:



Датчик и стенка резервуара образуют два электрода электрического конденсатора.

Изменение емкости конденсатора, вызванное изменением уровня в резервуаре, преобразуется встроенной электроникой в соответствующий выходной сигнал.

Емкостные уровнемеры очень прочные и не требуют обслуживания.

Полностью изолированные электроды применяются на проводящих жидкостях, а частично изолированные - преимущественно на сыпучих продуктах.

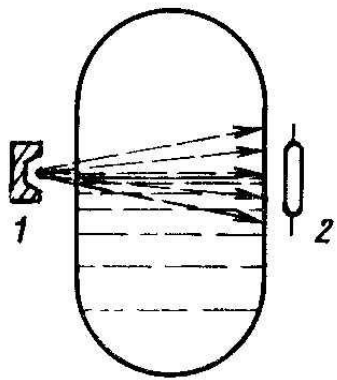
Не вызывает проблем также применение на агрессивных или липких продуктах. Емкостные уровнемеры могут иметь либо тросовое, либо стержневое исполнение.

Принцип измерения ультразвукового уровнемера:

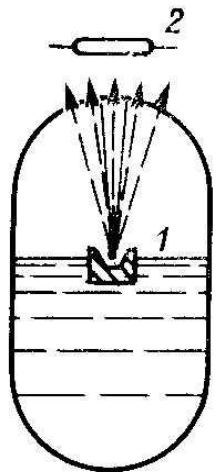
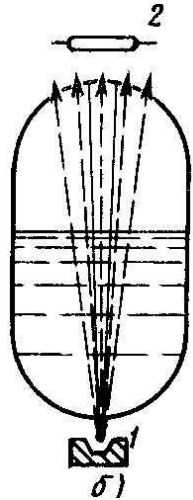


Звуковой преобразователь
испускает короткие
ультразвуковые импульсы от 10
до 70 кГц и принимает их в виде
эхо-сигналов, отраженных от
поверхности измеряемого
продукта. Импульсы
распространяются со скоростью
звука, и время от испускания до
приема сигнала
пропорционально уровню
продукта в емкости.

РАДИОИЗОТОПНЫЕ УРОВНЕМЕРЫ



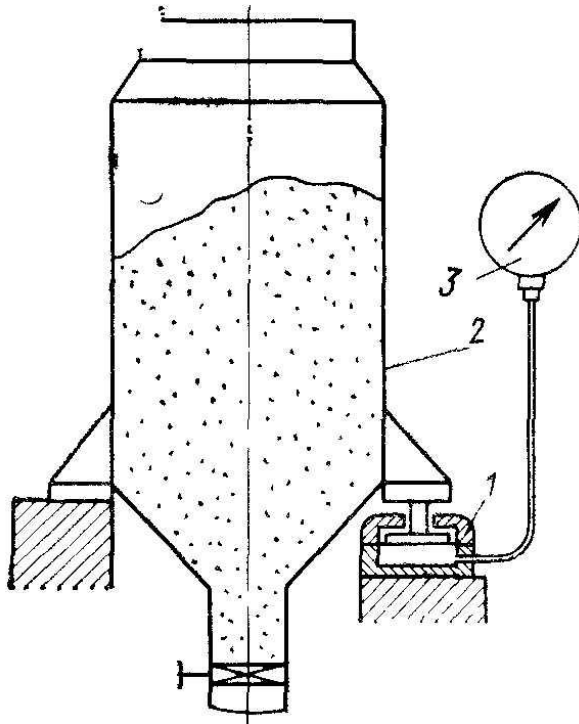
a)



b)

Положение уровня жидкостей или сыпучих материалов в закрытых емкостях можно контролировать с использованием проникающего γ -излучения. Измерение уровня основано на поглощении γ -лучей при прохождении их через слой вещества

Весовые уровнемеры сыпучего материала применяют в случаях, когда подвеска бункера не вызывает конструктивных осложнений, а загрузка и выгрузка материала происходят не периодически, а равномерным потоком.



В качестве преобразователей в весовых уровнемерах можно использовать динамометрические датчики (ДД) и тензометры

**Датчики различных
технологических параметров.
Средства измерения расхода и
количества жидких и
газообразных сред.**

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ, ГАЗА И ПАРА

При измерениях, связанных с учетом количества вещества, важнейшими исходными понятиями являются *расход и количество вещества*.

Расход есть количество вещества, протекающего через сечение трубопровода в единицу времени.

Количество вещества можно измерять либо в единицах массы [килограмм (кг), тонна (т)], либо в единицах объема [кубический метр (м³), литр (л)]. В соответствии с выбранными единицами может производиться измерение либо массового расхода (единицы кг/с, кг/ч, т/ч и т. д.), либо объемного расхода (единицы м³/с, л/с, /ч и т. д.).

Единицы массы дают более полные сведения о количестве или расходе вещества, чем единицы объема, так как объем вещества, особенно газов, зависит от давления и температуры.

При измерении объемных расходов газов для получения сопоставимых значений результаты измерения приводят к определенным (так называемым нормальным) условиям.

Таковыми нормальными условиями принято считать температуру 20 °С, давление = 101 325 Па (760 мм рт. ст.) и относительную влажность $\varphi = 0$.

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ и ГАЗА

Наибольшее распространение получили следующие разновидности расходомеров:

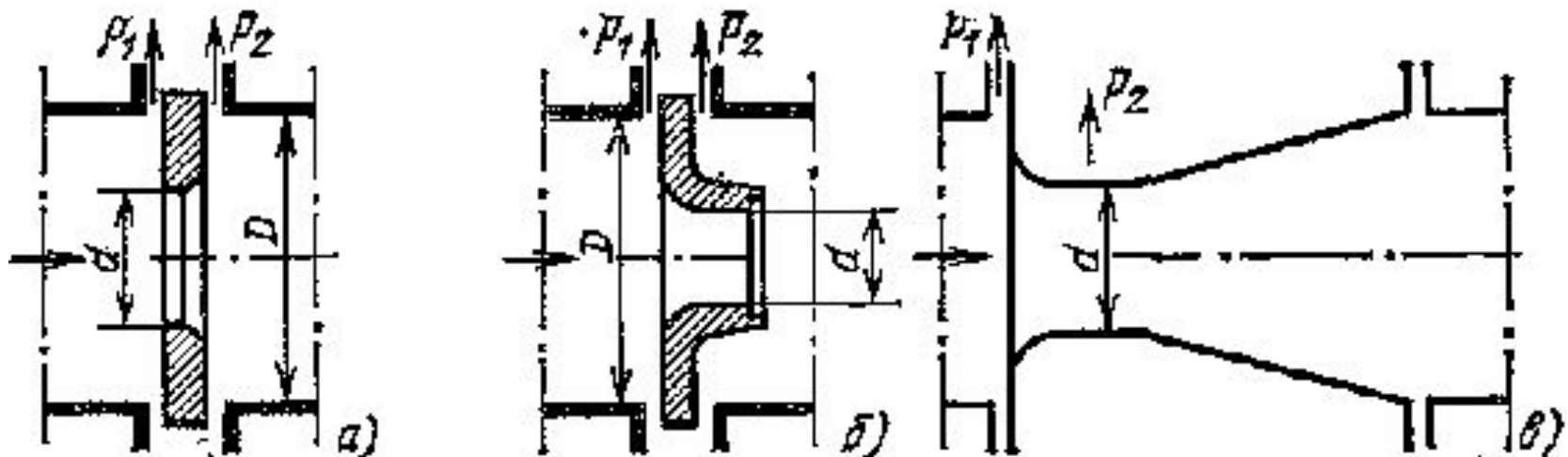
- 1) переменного перепада давления с сужающими устройствами (относятся к общей группе расходомеров переменного перепада);
- 2) постоянного перепада давления (относятся к общей группе расходомеров обтекания);
- 3) тахометрические;
- 4) электромагнитные;
- 5) ультразвуковые.

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ и ГАЗА

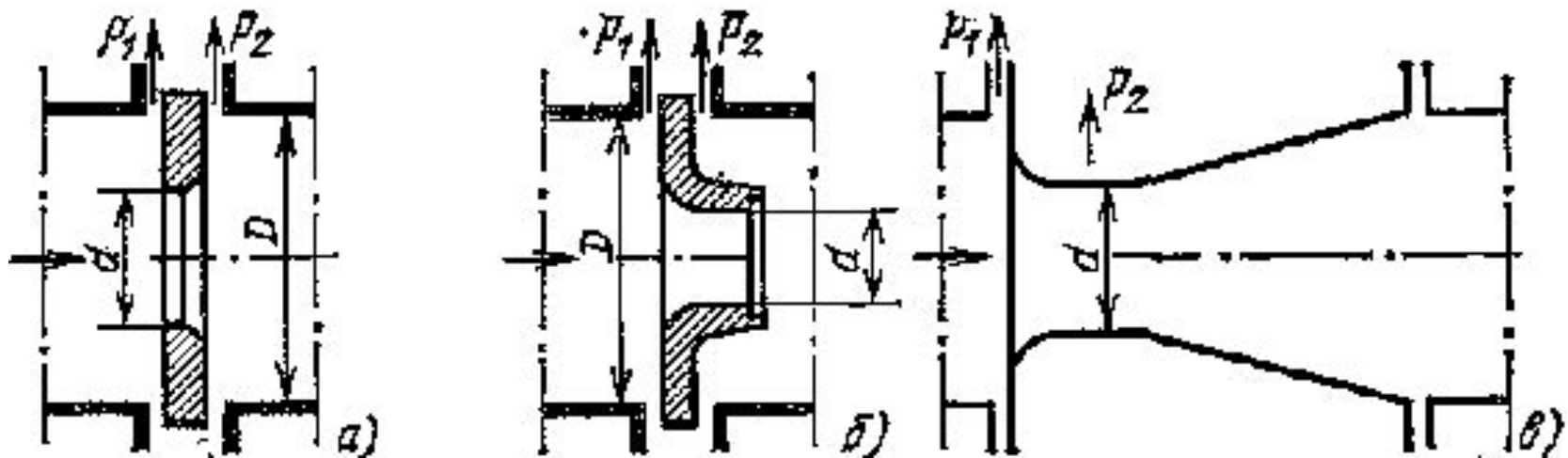
Метод измерения расхода по перепаду давления в сужающем устройстве основан на зависимости перепада давления в неподвижном сужающем устройстве, устанавливаемом в трубопроводе, от расхода измеряемой среды.

Это устройство следует рассматривать как первичный преобразователь расхода. Создаваемый в сужающем устройстве перепад давления измеряется дифманометром, шкала которого градуируется в единицах расхода.

При необходимости дистанционной передачи показаний дифманометр должен быть снабжен преобразователем, который линией связи соединяется со вторичным прибором, градуированным в единицах расхода.



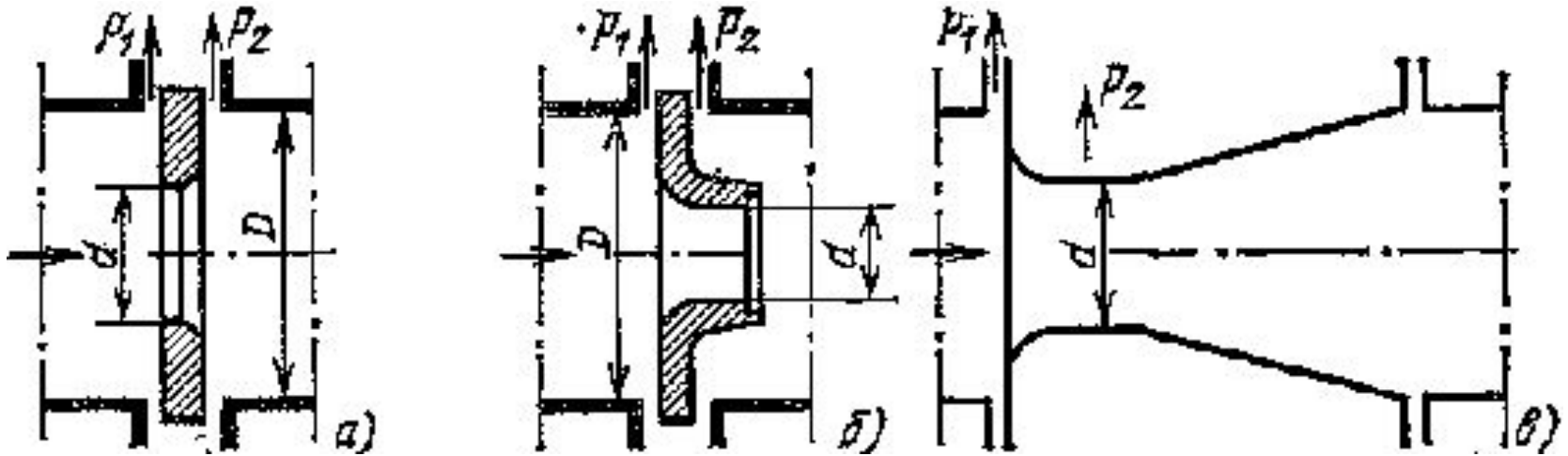
В качестве сужающих устройств для измерения расхода жидкостей, газов и пара используются диафрагмы, сопла и значительно реже сопла Вентури. Диафрагма (рис. 1, а) представляет собой тонкий диск с круглым отверстием, ось которого располагается по оси трубы. Передняя (входная) часть отверстия имеет цилиндрическую форму, а затем переходит в коническое расширение. Передняя кромка отверстия должна быть прямоугольной (острой) без закруглений и заусениц. Стандартные диафрагмы устанавливаются на трубопроводах диаметром не менее 50 мм.



Сопло (рис. б) имеет спрофилированную входную часть, которая затем переходит в цилиндрический участок диаметром (его значение входит в уравнения расхода).

Торцевая часть сопла имеет цилиндрическую выточку диаметром, большим для предохранения выходной кромки цилиндрической части сопла от повреждения.

При измерении расхода газа стандартные сопла устанавливаются на трубопроводах диаметром не менее 50 мм и при измерении расхода жидкостей на трубопроводах диаметром не менее 30 мм.



Сопло Вентури (контур показан на рис. 1, в) имеет входную часть с профилем сопла, переходящую в цилиндрическую часть, и выходной конус (может быть длинным или укороченным).
 Минимальный диаметр трубопровода для стандартных сопел Вентури составляет 65 мм.

При установке сужающих устройств необходимо соблюдать ряд условий, сильно влияющих на погрешности измерения.

Сужающее устройство в трубопроводе должно располагаться перпендикулярно оси трубопровода. Неперпендикулярность не должна превышать 1° .

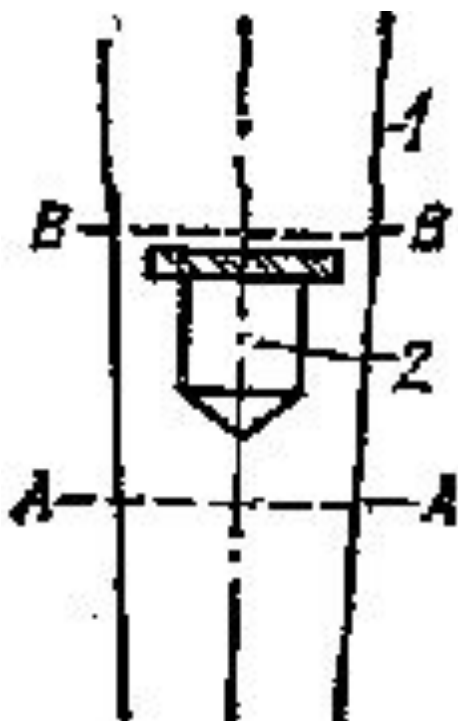
Ось сужающего устройства должна совпадать с осью трубопровода.

Участок трубопровода длиной $2D$ до и после сужающего устройства должен быть цилиндрическим, гладким, на нем не должно быть никаких уступов, а также заметных глазу наростов и неровностей от заклепок, сварочных швов и т. п. Часто этот участок трубопровода вытачивается на станке вместе с установленным сужающим устройством.

Важным условием является, необходимость обеспечения установившегося течения потока перед входом в сужающее устройство и после него.

Такой поток обеспечивается наличием прямых участков трубопровода определенной длины до и после сужающего устройства. На этих участках не должны устанавливаться никакие устройства, которые могут исказить гидродинамику потока на входе или выходе сужающего устройства.

Длина этих участков должна быть такой, чтобы искажения потока, вносимые коленами, вентилями, тройниками и т. д., смогли сгладиться до подхода потока к сужающему устройству. При этом необходимо иметь в виду, что более существенное значение имеют искажения потока перед сужающим устройством и значительно меньшее — за ним, поэтому задвижки и вентили, особенно регулирующие, рекомендуется устанавливать после сужающих устройств.

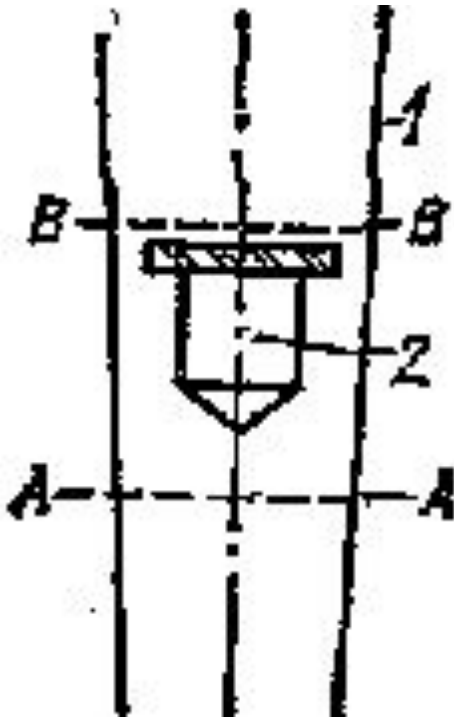


Ротаметры используются в промышленных и лабораторных условиях для измерения небольших объемных расходов жидкостей (верхние пределы измерения ротаметров по воде находятся в пределах от 0,04 до 16 м³/ч) или газов (верхние пределы измерения ротаметров по воздуху находятся в пределах от 0,063 до 40 м³/ч) в вертикальных трубопроводах диаметром 4—100 мм.

В простейшем виде ротаметр представляет собой вертикальную коническую (расходящуюся вверх) стеклянную трубку 1, внутри которой располагается поплавков 2, Поплавки могут иметь различную форму.

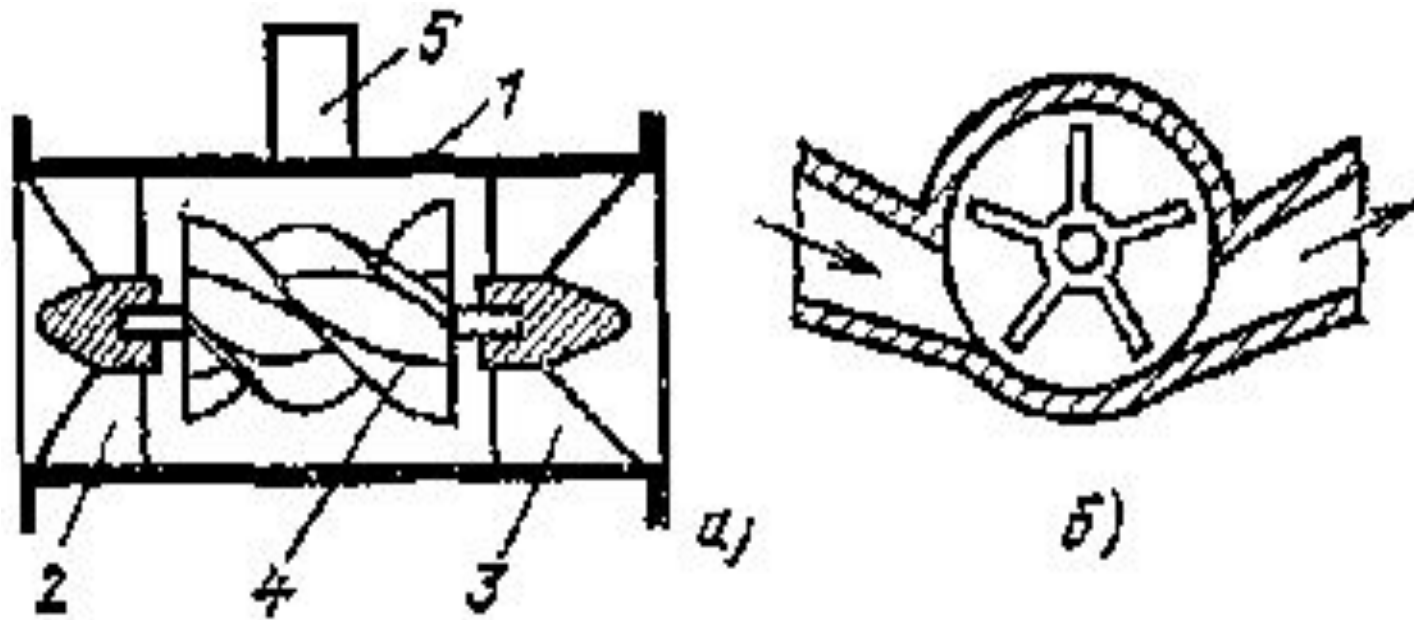
Одной из форм является цилиндрическая с нижней конической частью и верхним бортиком с вырезанными на нем косыми канавками. Контролируемая среда при протекании через эти канавки обеспечивает вращение поплавка, при этом он центрируется по оси трубки и устраняется его трение о стенки.

Материал поплавков: сталь, алюминий, бронза, эбонит, пластмассы — не должен подвергаться коррозии в контролируемой среде.



Ротаметры обладают рядом достоинств: простота устройства; возможность измерения малых расходов и на трубопроводах малых диаметров; практически равномерная шкала.

Недостатками ротаметров являются необходимость установки только на вертикальных участках трубопроводов; трудности дистанционной передачи показаний и записи; непригодность для измерения расхода сред с высокими давлением и температурой.

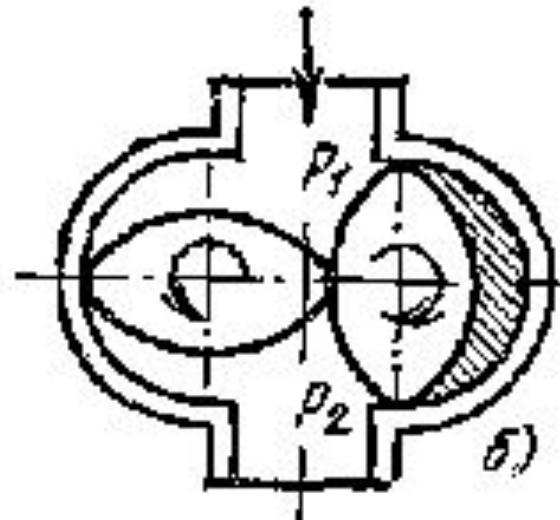
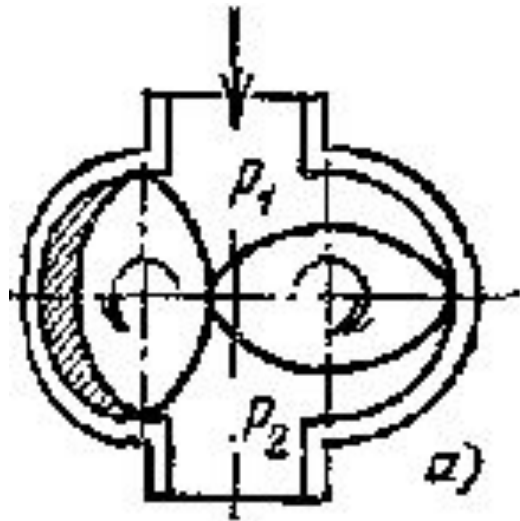


- Рис. Устройство турбинных преобразователей расхода:
- а-с аксиальной турбиной; б —с тангенциальной турбиной

Тахометрическими называются расходомеры, в которых скорость движения рабочего тела пропорциональна объемному расходу измеряемой среды.

В большинстве случаев рабочее тело-преобразователь расхода (турбинка, шарик и т. п.) — под воздействием потока вращается.

В зависимости от устройства тахометрические расходомеры подразделяются на турбинные, шариковые и камерные.



- *Камерными* называются тахометрические расходомеры и счетчики, имеющие один или несколько подвижных элементов, которые при движении отмеривают определенные объемы жидкости.
- Обычно эти подвижные элементы движутся непрерывно со скоростью, пропорциональной объемному расходу.
- В промышленности в подавляющем большинстве случаев применяются камерные счетчики. Достоинствами их является высокая точность измерения (0,5—1 % для жидкостей и 1—1,5 % для газов), достаточно большой диапазон измерения, слабое влияние вязкости измеряемой среды.

Электромагнитные расходомеры

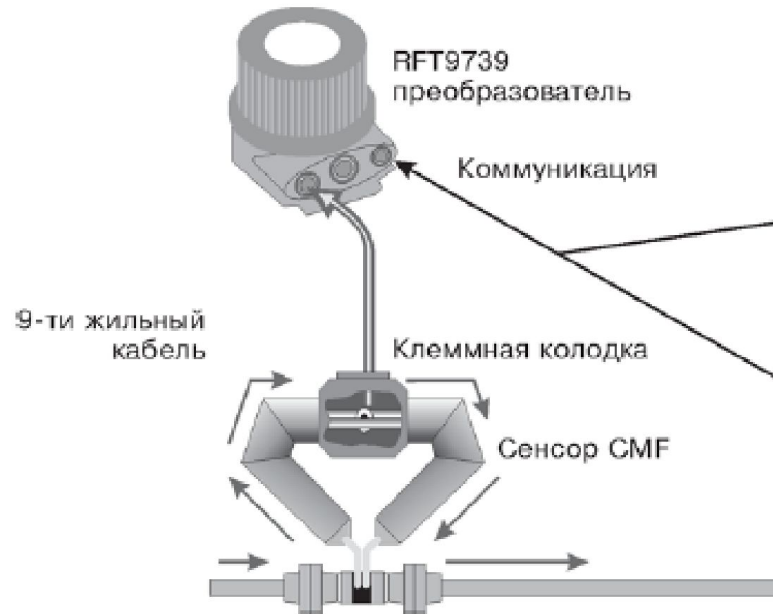
Принцип действия электромагнитных расходомеров основан на законе электромагнитной индукции, в соответствии с которым в электропроводной жидкости, пересекающей магнитное поле, индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости движения жидкости.

Серийные электромагнитные расходомеры предназначены для измерения расхода жидкостей с электропроводностью не менее 10^{-3} См/м (соответствует электропроводности водопроводной воды).

Электромагнитные расходомеры

Принцип действия электромагнитных расходомеров основан на законе электромагнитной индукции, в соответствии с которым в электропроводной жидкости, пересекающей магнитное поле, индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости движения жидкости.

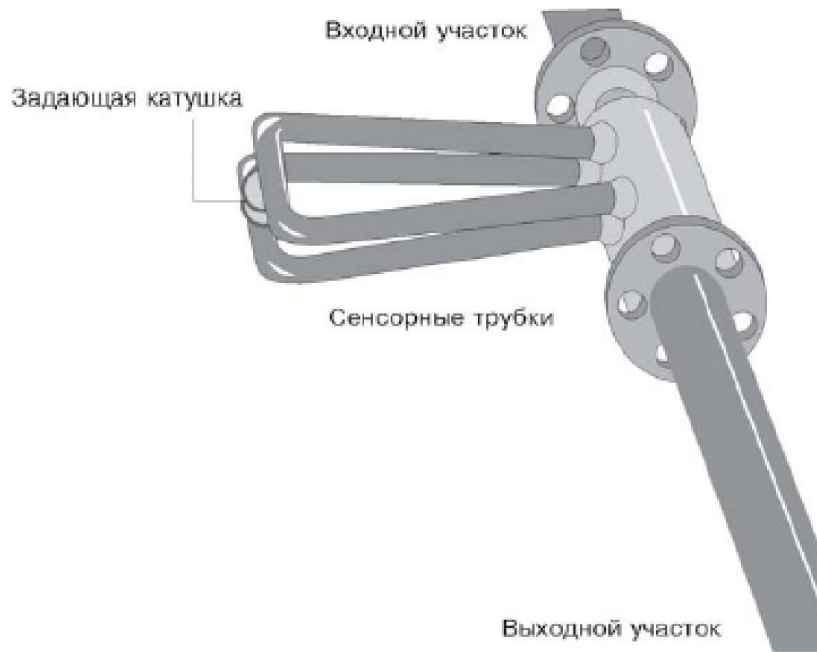
Серийные электромагнитные расходомеры предназначены для измерения расхода жидкостей с электропроводностью не менее 10^{-3} См/м (соответствует электропроводности водопроводной воды).



Кориолисовый расходомер состоит из датчика расхода (сенсора) и преобразователя.

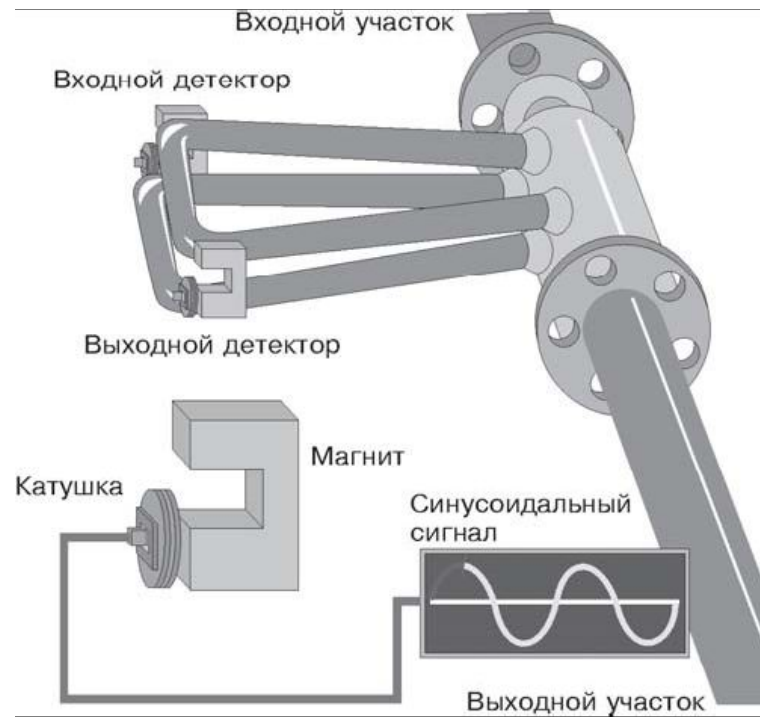
Сенсор напрямую измеряет расход, плотность среды и температуру сенсорных трубок.

Преобразователь конвертирует полученную с сенсора информацию в стандартные выходные сигналы.



Измеряемая среда, поступающая в сенсор, разделяется на равные половины, протекающие через каждую из сенсорных трубок.

Движение задающей катушки приводит к тому, что трубки колеблются вверх вниз в противоположном направлении друг к другу.



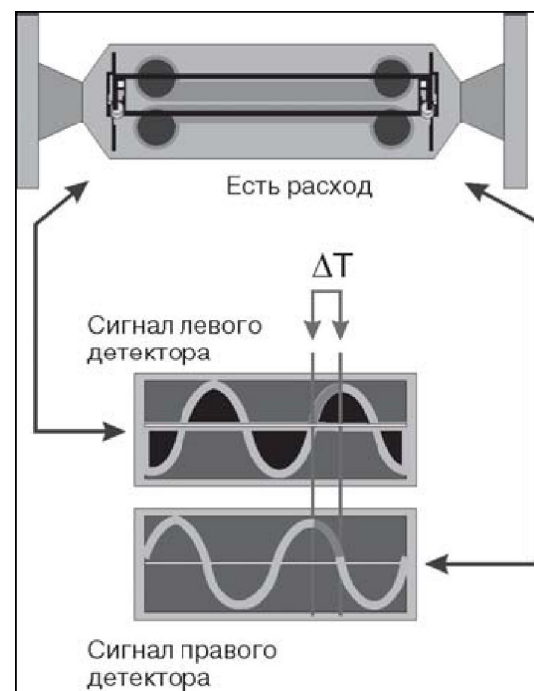
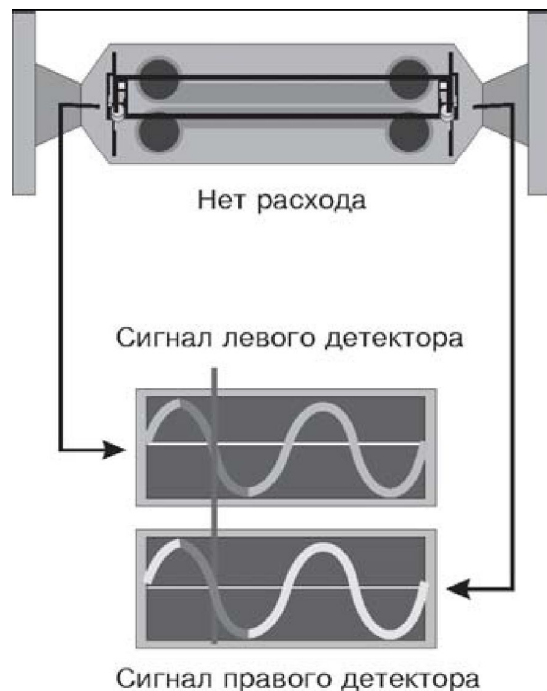
Сборки магнитов и катушек соленоидов, называемые детекторами, установлены на сенсорных трубках.

Катушки смонтированы на одной трубке, магниты на другой.

Каждая катушка движется сквозь однородное магнитное поле постоянного магнита.

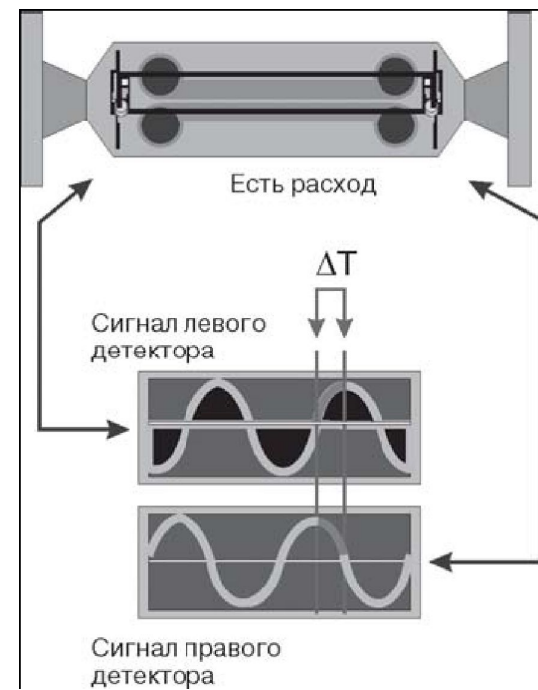
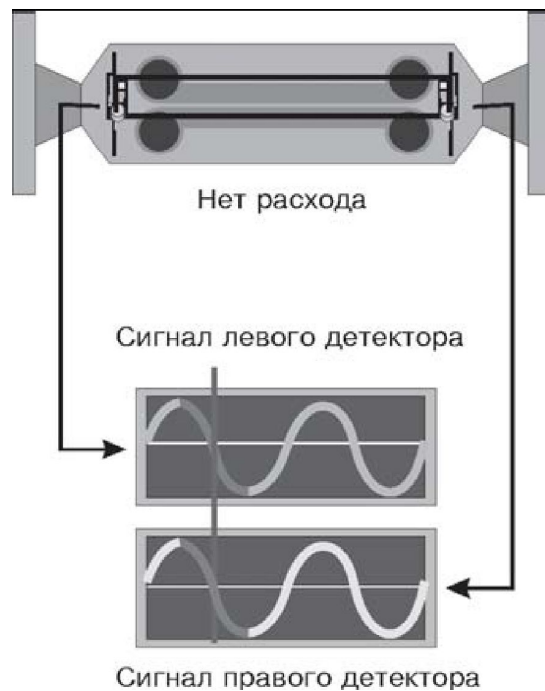
Сгенерированное напряжение от каждой катушки детектора имеет форму синусоидальной волны.

Эти сигналы представляют собой движение одной трубки относительно другой.



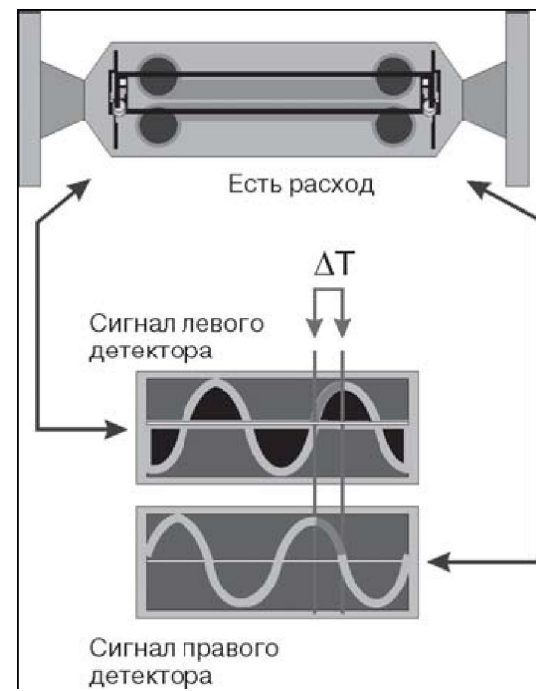
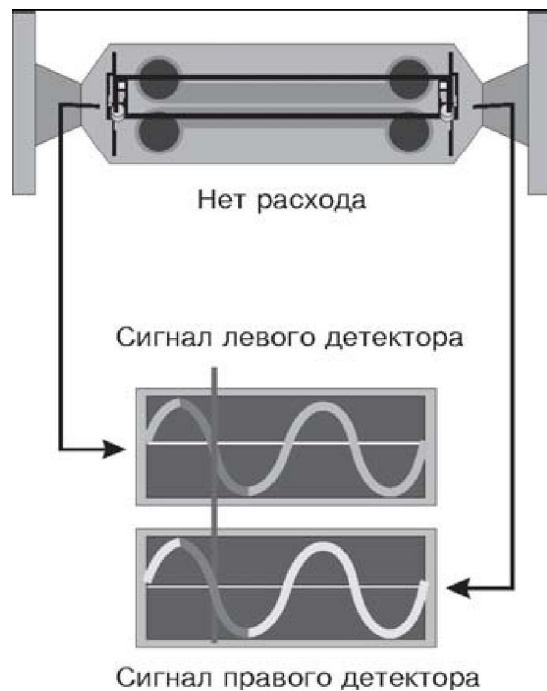
Когда расход отсутствует, синусоидальные сигналы, поступающие с детекторов, находятся в одной фазе.

При движении измеряемой среды через сенсор проявляется физическое явление, известное как эффект Кориолиса. Поступательное движение среды во вращательном движении сенсорной трубки приводит к возникновению кориолисового ускорения, которое, в свою очередь, приводит к появлению кориолисовой силы. Эта сила направлена против движения трубки, приданного ей задающей катушкой, т.е. когда трубка движется вверх во время половины ее собственного цикла, то для жидкости, поступающей внутрь, сила Кориолиса направлена вниз.

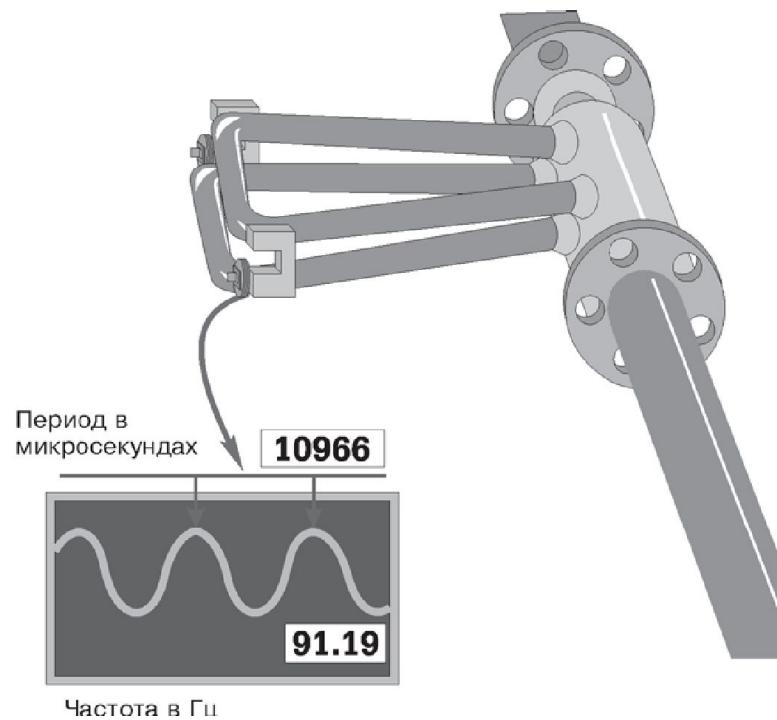


Как только жидкость проходит изгиб трубки, направление силы меняется на противоположное.

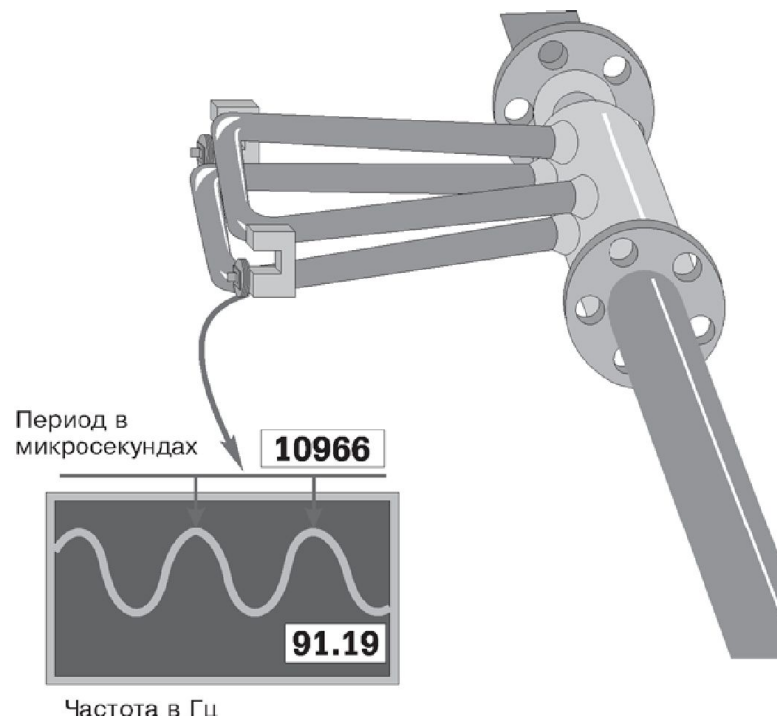
Таким образом, во входной половине трубки сила, действующая со стороны жидкости, препятствует смещению трубки, а в выходной способствует. Это приводит к изгибу трубки. Когда во второй фазе вибрационного цикла трубка движется вниз, направление изгиба меняется на противоположное. Сила Кориолиса и, следовательно, величина изгиба сенсорной трубки прямо пропорциональны массовому расходу жидкости. Детекторы измеряют фазовый сдвиг при движении противоположных сторон сенсорной трубки.



Как результат изгиба сенсорных трубок генерируемые детекторами сигналы не совпадают по фазе, так как сигнал с входного детектора запаздывает по отношению к сигналу с выходного детектора. Разница во времени между сигналами (ΔT) измеряется в микросекундах и прямо пропорциональна массовому расходу. Чем больше ΔT , тем больше массовый расход.

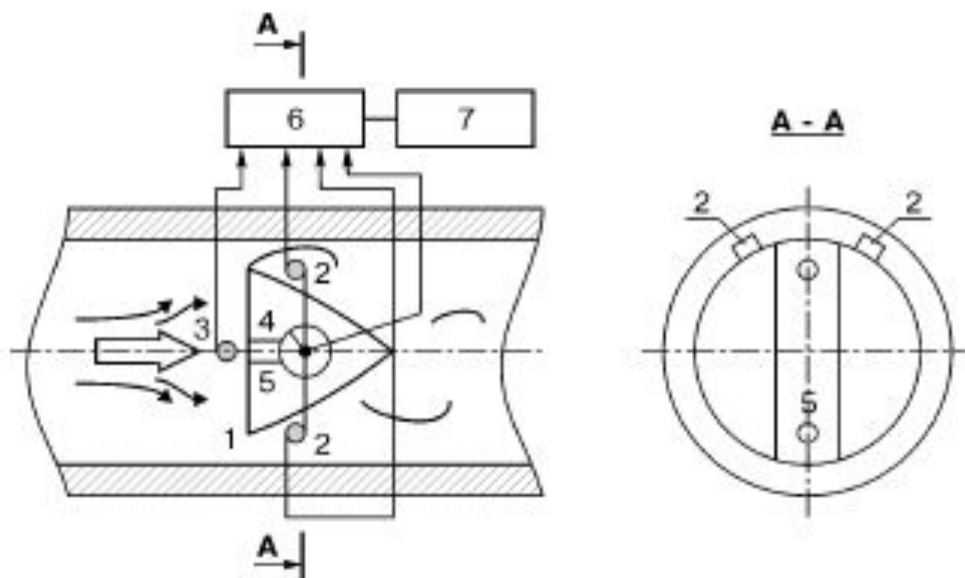


Соотношение между массой и собственной частотой колебаний сенсорной трубки - это основной закон измерения плотности в кориолисовых расходомерах. В рабочем режиме задающая катушка питается от преобразователя, при этом сенсорные трубки колеблются с их собственной частотой. Как только масса измеряемой среды увеличивается, собственная частота колебаний трубок уменьшается; соответственно, при уменьшении массы измеряемой среды, собственная частота колебаний трубок увеличивается.

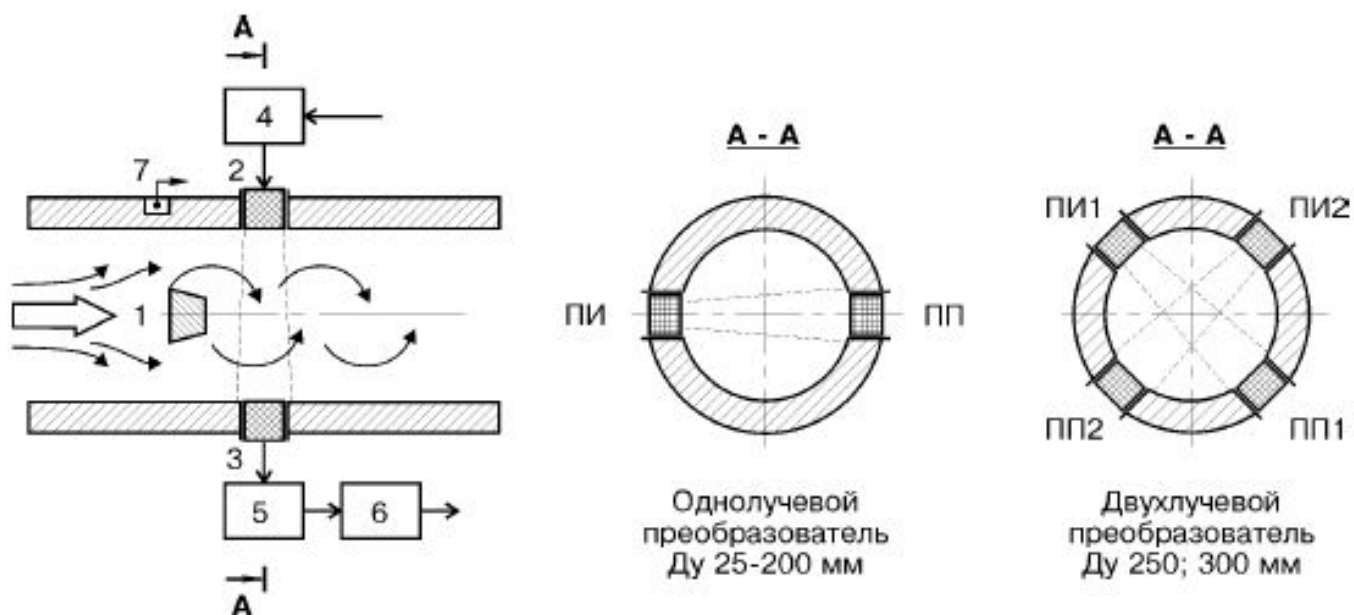


Частота колебаний трубок зависит от их геометрии, материала, конструкции и массы.

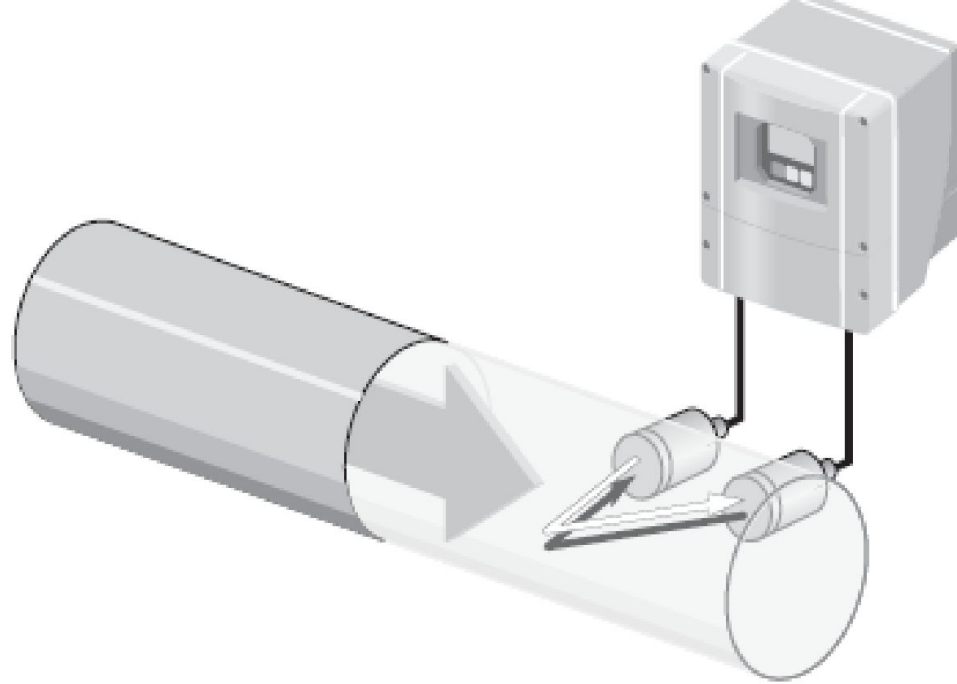
Масса состоит из двух частей: массы самих трубок и массы измеряемой среды в трубках. Для конкретного типоразмера сенсора масса трубок постоянна. Поскольку масса измеряемой среды в трубках равна произведению плотности среды и внутреннего объема, а объем трубок является также постоянным для конкретного типоразмера, то частота колебаний трубок может быть привязана к плотности среды и определена путем измерения периода колебаний.



- Суть вихревого принципа измерения расхода состоит в измерении скорости потока путем определения частоты образования вихрей за телом обтекания, установленным в проточной части преобразователя расхода.
- Определение частоты вихреобразования производится при помощи двух пьезодатчиков, фиксирующих пульсации давления в зоне вихреобразования ("съем сигнала по пульсациям давления").



Суть вихреакустического принципа измерения расхода состоит в измерении скорости потока путем определения частоты образования вихрей за телом обтекания, установленным в проточной части преобразователя расхода. Определение частоты вихреобразования производится при помощи ультразвука, имеющего частоту 1МГц ("ультразвуковое детектирование вихрей").



Принцип работы - измерение разности времени прохождения звукового сигнала.

Акустический (ультразвуковой) сигнал излучается в обоих направлениях от одного измерительного датчика к другому.

Так как скорость прохождения сигнала против направления потока среды меньше, чем скорость прохождения в направлении потока, возникает разность времени между излучаемыми ультразвуковыми сигналами. Эта разность пропорциональна скорости потока измеряемой среды. Используя значения площади сечения трубопровода и измеренной разности времени прохождения сигналов, вычисляется расход среды.

**Датчики различных
технологических параметров.**

Датчики температуры.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ШКАЛЫ

Температура — важнейший параметр химико-технологических процессов. В химической промышленности весьма широк диапазон контролируемых температур и разнообразны условия их измерения, поэтому применяют разнообразные методы измерения и измерительные приборы.

Температура тела характеризует степень нагретости, которая определяется внутренней кинетической энергией теплового движения молекул.

Температуру можно определить как параметр теплового состояния. При контакте тел (газ, жидкость, твердое тело) теплота от одного из них переходит к другому до тех пор, пока значения средней кинетической энергии движения молекул этих тел не будут равны.

Для сравнения степени нагретости тел используют изменение какого-либо физического их свойства, зависящего от температуры и легко поддающегося измерению (например, объемное расширение жидкости, изменение электрического сопротивления металла и т. д.).

Чтобы перейти к количественному определению температуры, необходимо установить шкалу температур, т. е. выбрать начало отсчета (нуль температурной шкалы) и единицу измерения температурного интервала (градус).

Температурные шкалы, применяемые до введения единой температурной шкалы, представляют собой ряд отметок внутри температурного интервала, ограниченного двумя легко воспроизводимыми постоянными (основными реперными или опорными) точками кипения и плавления химически чистых веществ.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ШКАЛЫ

В термодинамической шкале Кельвина нижней точкой является точка абсолютного нуля (0 К), а единственной экспериментальной основной точкой — тройная точка воды. Этой точке соответствует значение 273,16 К. Тройная точка воды (температура равновесия воды в твердой, жидкой и газообразной фазах) выше точки таяния льда на 0,01 град. Термодинамическую шкалу называют абсолютной, если в ней за нуль принята точка на 273,16 К ниже точки плавления льда.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ШКАЛЫ

Наиболее употребляемая температурная шкала была предложена А. Цельсием (A. Celsius) в 1742 г. Опорными точками этой шкалы являются температура плавления льда ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) и температура кипения воды ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Первая температурная шкала была введена Г. Фаренгейтом (G. Fahrenheit) в 1715 г. Для нижней опорной точки ($0\text{ }^{\circ}\text{F}$) была использована температура замерзания солевого раствора, а для верхней — температура под мышкой здорового англичанина ($96\text{ }^{\circ}\text{F}$).

В зависимости от принципа действия промышленные приборы для измерения температуры классифицируются на следующие группы.

Манометрические термометры основаны на изменении давления рабочего вещества при постоянном объеме с изменением температуры.

Термоэлектрические термометры включают термоэлектрический преобразователь (термопару), действие которого основано на использовании зависимости термоэлектродвижущей силы от температуры.

Термометры сопротивления содержат термопреобразователь сопротивления, действие которого основано на использовании зависимости электрического сопротивления чувствительного элемента (проводника или полупроводника) от температуры.

Пирометры излучения; из них наиболее распространены:

квазимонохроматический пирометр, действие которого основано на использовании зависимости температуры от спектральной энергетической яркости, описываемой для абсолютно черного тела с достаточным приближением уравнениями Планка и Вина;

пирометры спектрального отношения, действие которых основано на зависимости от температуры тела отношений энергетических яркостей в двух или нескольких спектральных интервалах;

пирометры полного излучения, действие которых основано на использовании зависимости температуры от интегральной энергетической яркости излучения.

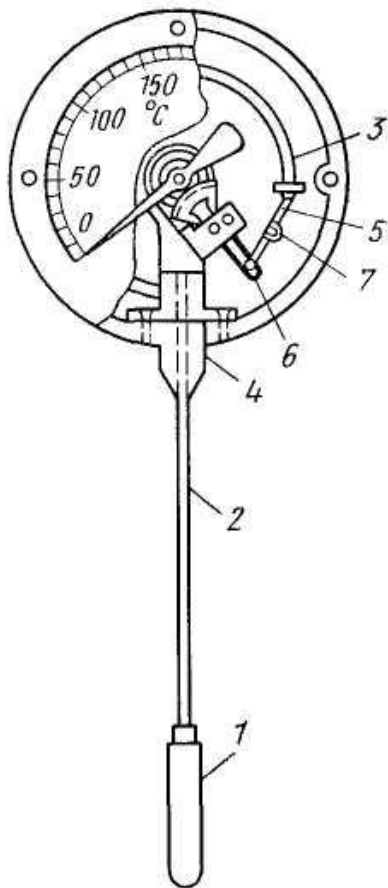


Рис. Манометрический термометр с трубчатой пружиной:

- 1 — термобаллон;
- 2 — капиллярная трубка;
- 3 — манометрическая трубка (пружина);
- 4 — держатель;
- 5 — поводок;
- 6 — зубчатый сектор;
- 7 — биметаллический компенсатор

Манометрический термометр состоит из термобаллона 1, капиллярной трубки 2 и манометрической части 3—7.

Вся система прибора (термобаллон, капиллярная трубка, манометрическая пружина) заполнена рабочим веществом.

Термобаллон помещают в зону измерения температуры. При нагревании термобаллона давление рабочего вещества внутри замкнутой системы увеличивается. Увеличение давления воспринимается манометрической трубкой (пружиной), которая воздействует через передаточный механизм на стрелку или перо прибора.

Термобаллон обычно изготавливают из коррозионно-стойкой стали, а капилляр — из медной или стальной трубки с внутренним диаметром 0,15—0,5 мм.

В зависимости от назначения прибора длина капиллярной трубки может быть различной и находится обычно в пределах следующего ряда: 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40 и 60 м.

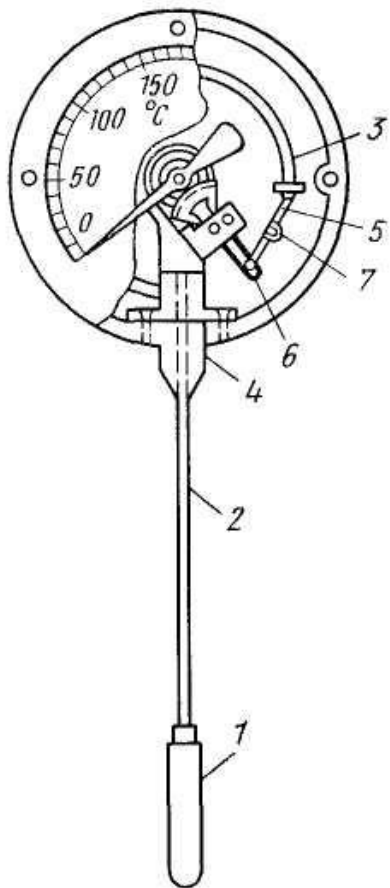
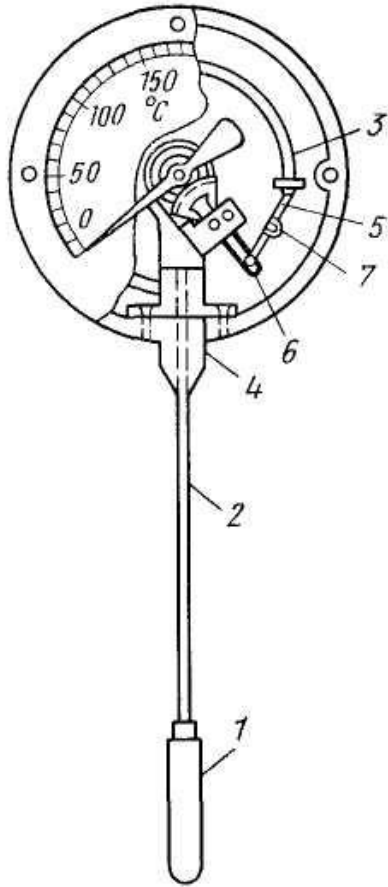


Рис. Манометрический термометр с трубчатой пружиной:

- 1 — термобаллон;
- 2 — капиллярная трубка;
- 3 — манометрическая трубка (пружина);
- 4 — держатель;
- 5 — поводок;
- 6 — зубчатый сектор;
- 7 — биметаллический компенсатор

Различают следующие типы манометрических термометров:

- *газовые, в которых вся система заполнена газом под некоторым начальным давлением;*
- *жидкостные, в которых система заполнена жидкостью;*
- *конденсационные, в которых термобаллон частично заполнен низкокипящей жидкостью, а остальное пространство термобаллона заполнено парами этой жидкости.*



Манометрические газовые термометры основаны на зависимости между температурой и давлением газа, заключенного в герметически замкнутой термосистеме.

Шкала термометра равномерная, что является его преимуществом.

При правильно выбранном соотношении объемов термобаллона, капилляра и трубчатой пружины термометры с достаточной точностью могут работать без температурной компенсации.

Рис. Манометрический термометр с трубчатой пружиной:

- 1 — термобаллон;
- 2 — капиллярная трубка;
- 3 — манометрическая трубка (пружина);
- 4 — держатель;
- 5 — поводок;
- 6 — зубчатый сектор;
- 7 — биметаллический компенсатор

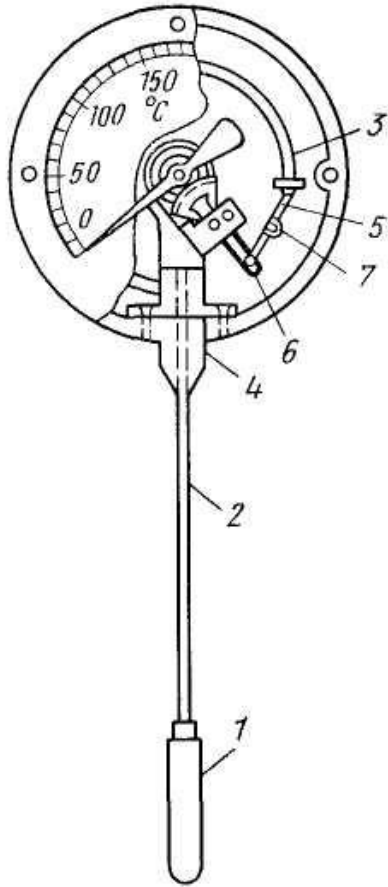


Рис. Манометрический термометр с трубчатой пружиной:

- 1 — термобаллон;
- 2 — капиллярная трубка;
- 3 — манометрическая трубка (пружина);
- 4 — держатель;
- 5 — поводок;
- 6 — зубчатый сектор;
- 7 — биметаллический компенсатор

К специфическим недостаткам газовых манометрических термометров относятся: сравнительно большая тепловая инерция, обусловленная низким коэффициентом теплообмена между стенками термобаллона и наполняющим его газом и малой теплопроводностью газа; большие размеры термобаллона, что затрудняет его установку на трубопроводах малого диаметра; необходимость частой проверки.

Последнее вызвано тем, что в процессе эксплуатации газовых термометров возможны нарушение герметичности и утечка газа, что не всегда можно сразу заметить.

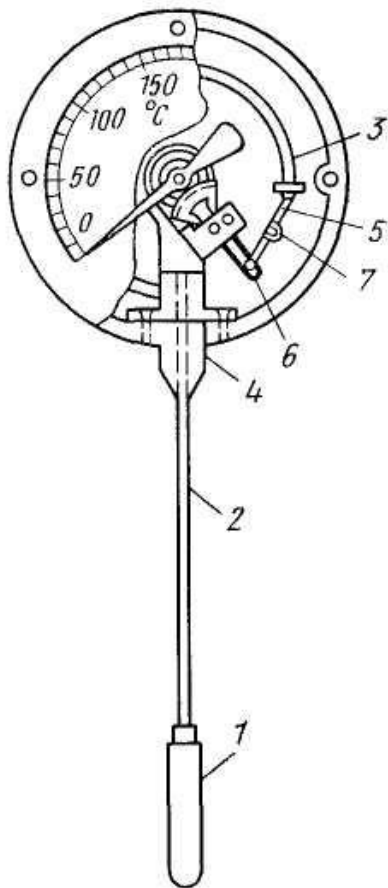


Рис. Манометрический термометр с трубчатой пружиной:

- 1 — термобаллон;
- 2 — капиллярная трубка;
- 3 — манометрическая трубка (пружина);
- 4 — держатель;
- 5 — поводок;
- 6 — зубчатый сектор;
- 7 — биметаллический компенсатор

Манометрические жидкостные термометры.

В приборах этого типа всю систему термометра заполняют жидкостью под некоторым начальным давлением.

К жидкостям, применяемым для заполнения, предъявляют следующие требования: возможно больший коэффициент объемного расширения, высокая теплопроводность, небольшая теплоемкость и химическая инертность к материалу термометра.

Обычно применяют силиконовые жидкости.

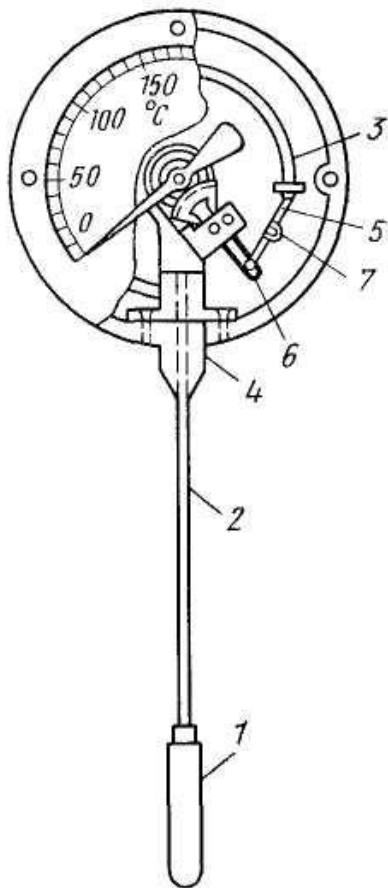


Рис. Манометрический термометр с трубчатой пружиной:

- 1 — термобаллон;
- 2 — капиллярная трубка;
- 3 — манометрическая трубка (пружина);
- 4 — держатель;
- 5 — поводок;
- 6 — зубчатый сектор;
- 7 — биметаллический компенсатор

Благодаря большой теплопроводности жидкости термобаллон термометра сравнительно быстро принимает температуру измеряемой среды. Однако по этой же причине погрешности от колебания температуры окружающей среды у жидкостных термометров больше, чем у газовых.

При значительной длине капилляра (больше 0,6—10 м) для жидкостных термометров применяют компенсационные устройства в виде биметаллического компенсатора.

Для жидкостных термометров следует также учитывать погрешность, вызванную различным положением термобаллона относительно манометра по высоте.

Жидкость практически несжимаема, поэтому изменение атмосферного давления не влияет на показания прибора.

Манометрические конденсационные термометры.

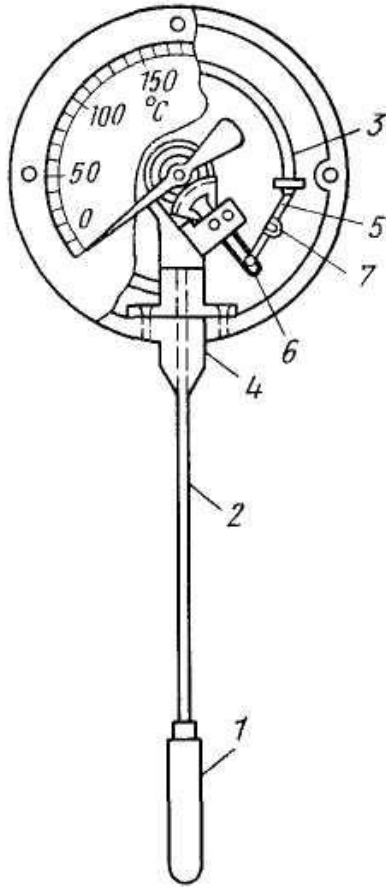


Рис. Манометрический термометр с трубчатой пружиной:

- 1 — термобаллон;
- 2 — капиллярная трубка;
- 3 — манометрическая трубка (пружина);
- 4 — держатель;
- 5 — поводок;
- 6 — зубчатый сектор;
- 7 — биметаллический компенсатор

В конденсационных термометрах термобаллон обычно заполняют на $2/3$ объема низкокипящей жидкостью.

Перед заполнением термометра воздух из системы удаляют.

В замкнутой системе термометра всегда поддерживается динамическое равновесие одновременно протекающих процессов испарения и конденсации.

При повышении температуры усиливается испарение жидкости и увеличивается упругость пара, а в связи с этим усиливается также и процесс конденсации.

В конечном итоге насыщенный пар достигает некоторого определенного давления, строго отвечающего температуре.

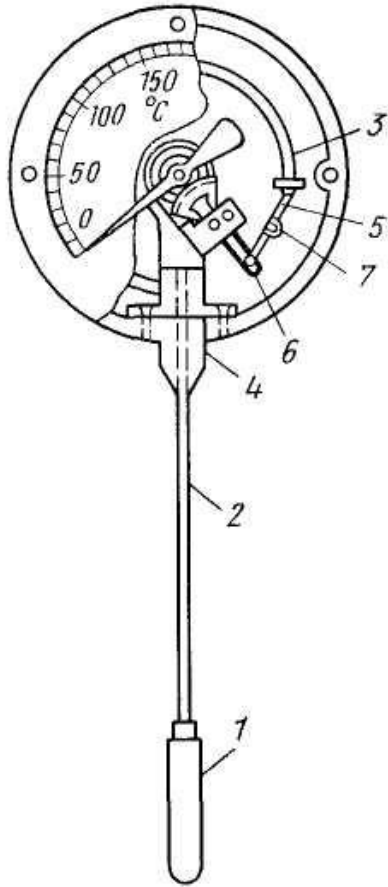


Рис. Манометрический термометр с трубчатой пружиной:

- 1 — термобаллон;
- 2 — капиллярная трубка;
- 3 — манометрическая трубка (пружина);
- 4 — держатель;
- 5 — поводок;
- 6 — зубчатый сектор;
- 7 — биметаллический компенсатор

Конденсационные термометры более чувствительны, чем термометры других типов. Это объясняется тем, что давление насыщенного пара очень быстро изменяется с температурой.

Деформация манометрической трубки пропорциональна избыточному давлению насыщенных паров жидкости, т. е. разности давления паров и атмосферного давления, поэтому изменение атмосферного давления влияет на показания прибора.

Для уменьшения погрешности необходимо, чтобы давление насыщенных паров рабочей жидкости в диапазоне измеряемых температур было значительно больше атмосферного давления.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

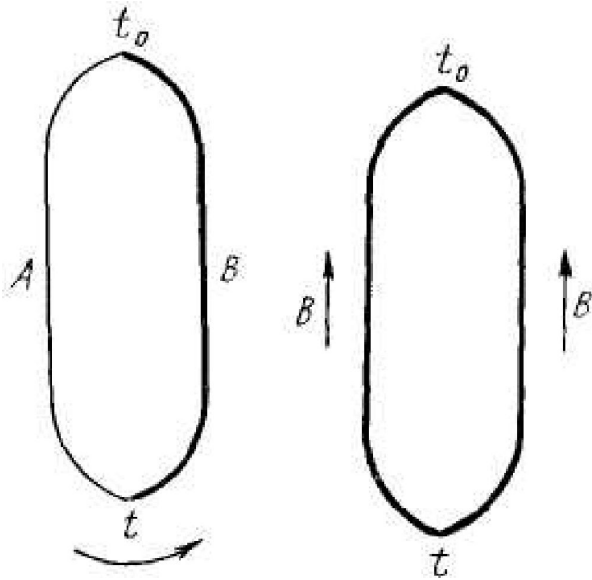


Рис. Термоэлектрическая цепь из двух разнородных проводников

Рис. Термоэлектрическая цепь из однородных проводников

В основу измерения температуры термоэлектрическими термометрами положен термоэлектрический эффект, заключающийся в том, что в замкнутой цепи термоэлектрического преобразователя (термопары), состоящего из двух или нескольких разнородных проводников, возникает электрический ток, если хотя бы два места соединения (спая) проводников имеют разные температуры.

Любая пара разнородных проводников может образовать ТЭП.

Однако не всякий ТЭП пригоден для практического применения, так как современная техника предъявляет к материалам термо-электродов определенные требования:

устойчивость к воздействию высоких температур,
постоянство термо-ЭДС во времени,
возможно большая величина термо-ЭДС и однозначная зависимость ее от температуры,
небольшой температурный коэффициент электрического сопротивления и большая электропроводимость,
воспроизводимость термоэлектрических свойств, обеспечивающая взаимозаменяемость термоэлектрических термометров.

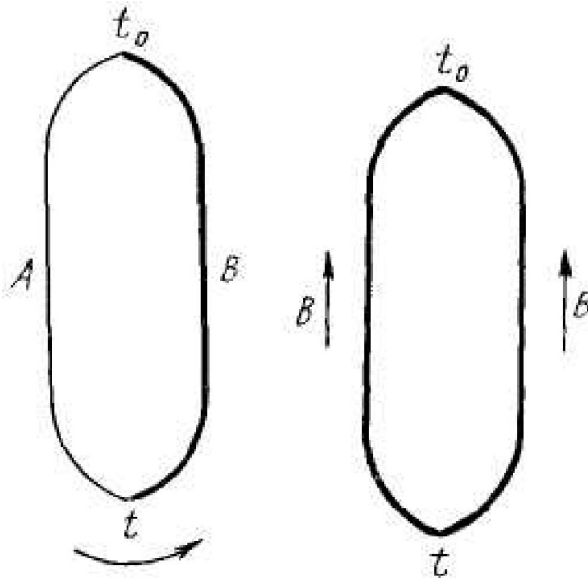


Рис. Термоэлектрическая цепь из двух разнородных проводников

Рис. Термоэлектрическая цепь из однородных проводников

Всем указанным требованиям не удовлетворяет полностью ни один из известных термоэлектродных материалов, поэтому на практике приходится пользоваться различными материалами в разных пределах измеряемых температур.

Материалы термоэлектродов	Обозначение градуировки	Нижний температурный предел измерений, °С	Верхний температурный предел измерений, °С, при применении		Термо-ЭДС ($t = 100\text{ °С}, t_0 = 0\text{ °С}$), мВ
			длительно	кратковременно	
Платинородий (10 % родия)—платина	ПП	-20	1300	1600	0,643
Платинородий (30 % родия)—платинородий (6 % родия)	ПР-30/6	300	1600	1800	0
Хромель-алюмель	ХА (К)	50	1000	1300	4,10
Хромель-копель	ХК (L)	-50	600	800	6,95
Вольфрам-рений (5 % рения)—вольфрам-рений (20 % рения)	ВР-5/20	800	1800	2300	-
Вольфрам-рений (10 % рения)—вольфрам-рений (20 % рения)	ВР-10/20	100	1800	2300	-
Железо-копель	—	0	600	800	5,75
Железо-константан	—	-200	600	800	5,11
Медь-копель	—	0	400	600	4,75
Медь-константан	—	-200	300	400	4,16

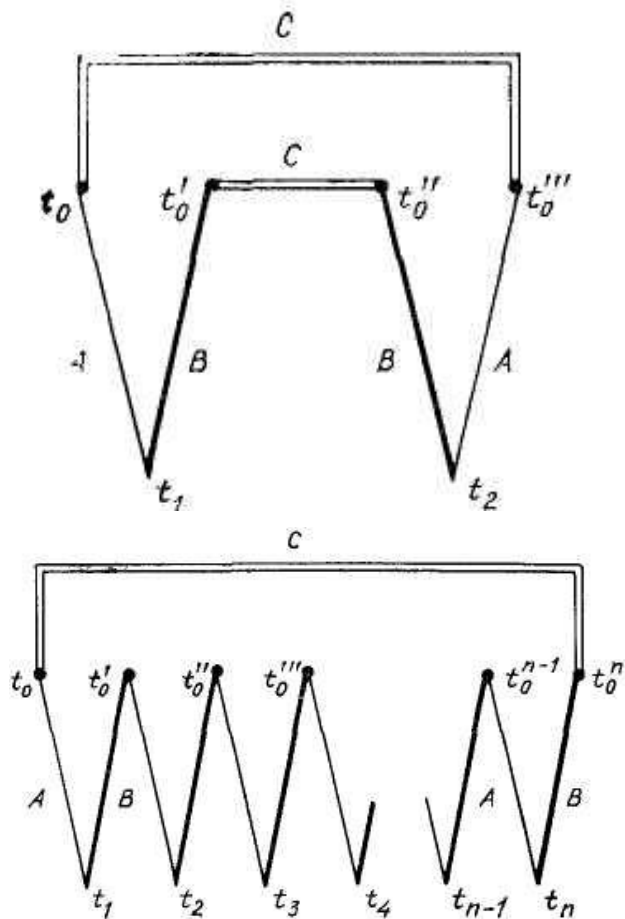


Рис. Схема дифференциального ТЭП

Рис. Схема термобатареи

В случаях, когда требуется измерить небольшую разность температур или получить большую термо-ЭДС, применяют дифференциальные ТЭП и термобатареи, представляющие собой несколько последовательно соединенных ТЭП

Из специальных термоэлектрических термометров следует указать многозонный термометр, применяемый для позонного измерения температуры в вертикальных аппаратах.

Корпус такого термометра представляет собой трубу необходимой длины в которую опущен пучок изолированных один от другого ТЭП различной длины. Свободные концы каждого ТЭП укреплены под винтами фарфоровой контактной колодки.

Соединительные провода из арматуры термометра выведены через специальные сальниковые уплотнения.

ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Измерение температуры термометрами сопротивления основано на свойстве проводников и полупроводников изменять свое электрическое сопротивление при изменении их температуры. Таким образом, омическое сопротивление проводника или полупроводника представляет некоторую функцию его температуры $R = f(t)$. Вид этой функции зависит от природы материала.

Для изготовления чувствительных элементов серийных термометров сопротивления применяют чистые металлы.

К металлам предъявляют следующие основные требования.

- Металл не должен окисляться и вступать в химическое взаимодействие с измеряемой средой, должен обладать высокой воспроизводимостью значений электрического сопротивления в интервале рабочих температур.
- Температурный коэффициент электрического сопротивления металла должен быть достаточно большим и неизменным.
- Сопротивление должно изменяться с изменением температуры по прямой или плавной кривой без резких отклонений и явлений гистерезиса.
- Удельное электрическое сопротивление металла должно быть достаточно большим: чем больше удельное сопротивление, тем меньше нужно металла для получения требуемого первоначального сопротивления термометра.

Указанным требованиям в определенных температурных пределах наиболее полно отвечают платина, медь, никель и железо.

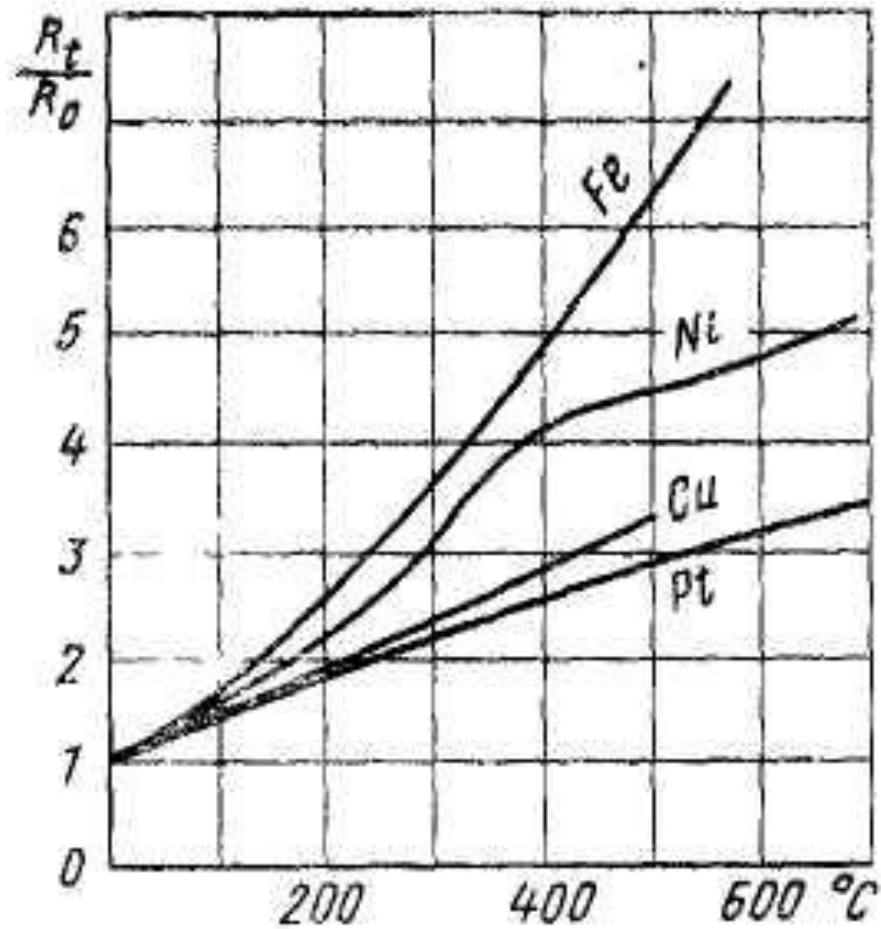


Рис. Зависимость отношения R_t/R_0 для некоторых металлов от температуры

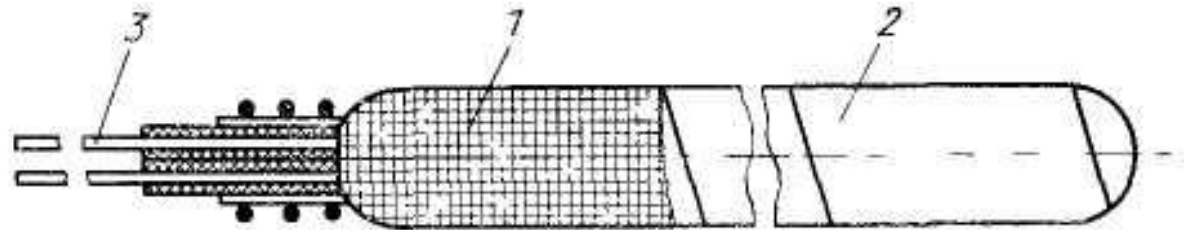
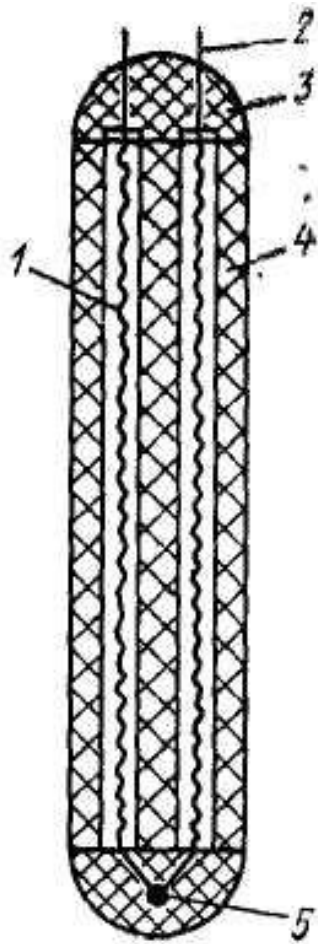


Рис. Чувствительный элемент платинового термометра сопротивления

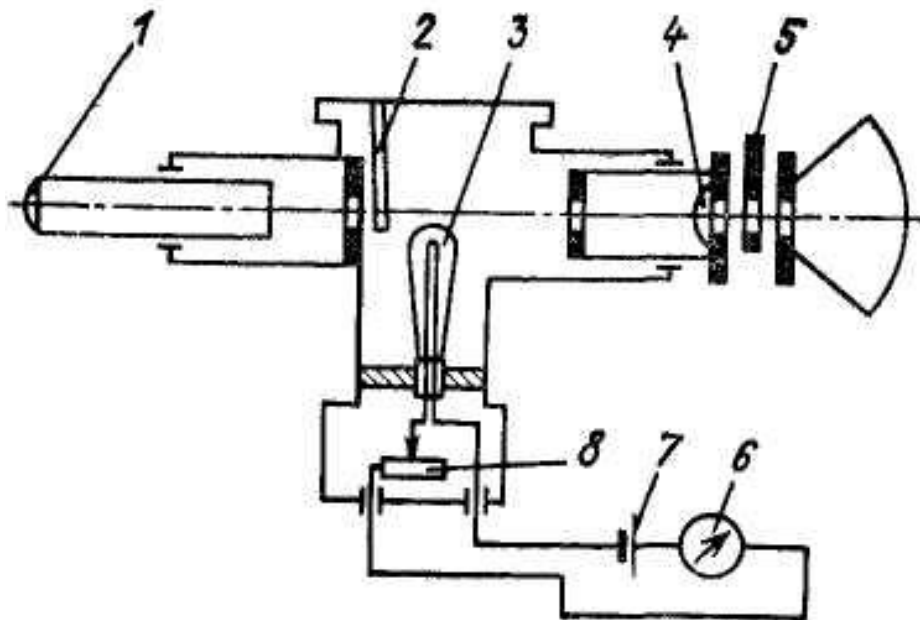
Рис. Чувствительный элемент медного термометра сопротивления

ПИРОМЕТРЫ ИЗЛУЧЕНИЯ

Принцип действия пирометров излучения основан на использовании теплового излучения нагретых тел.

По сравнению с приборами, основанными на других методах измерения температуры, пирометры излучения имеют следующие преимущества:

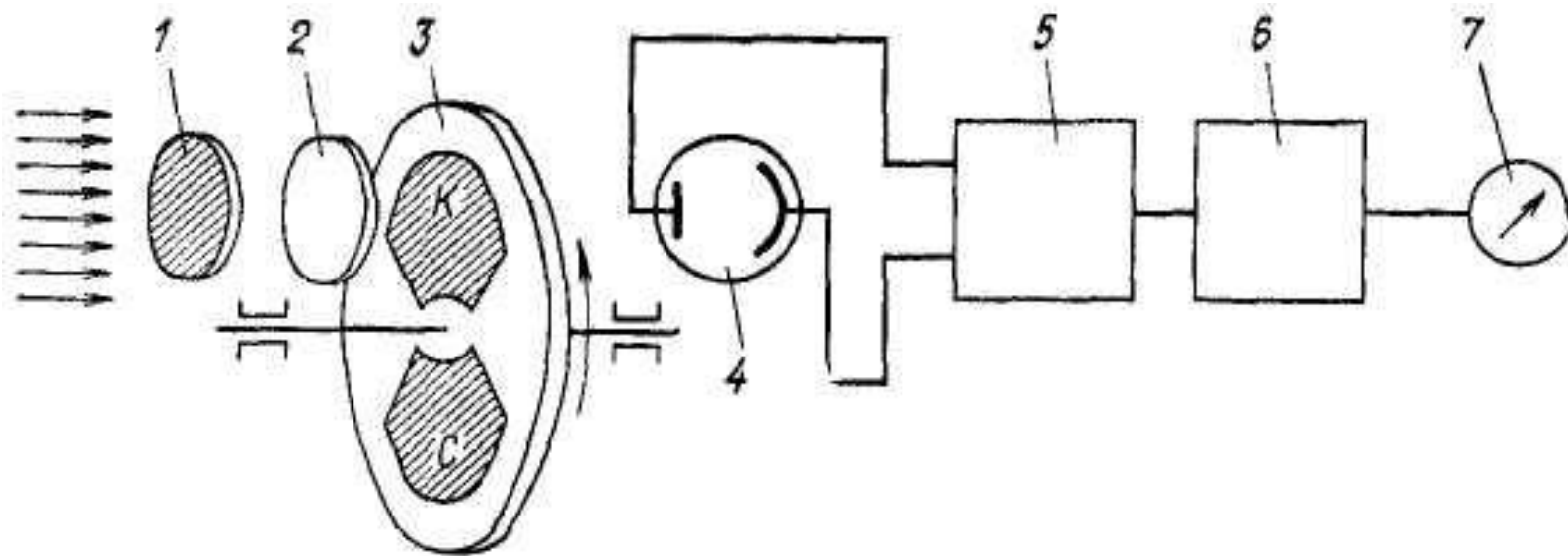
- измерение основано на бесконтактном способе, следовательно, отсутствует искажение температурного поля, вызванное введением преобразовательного элемента прибора в измеряемую среду;
- верхний предел измерения температуры теоретически не ограничен;
- имеется возможность измерения температур пламени и высоких температур газовых потоков при больших скоростях, когда трудно использовать другие методы.



Принцип действия квазимонохроматических пирометров основан на сравнении яркости монохроматического излучения двух тел: эталонного тела и тела, температуру которого измеряют.

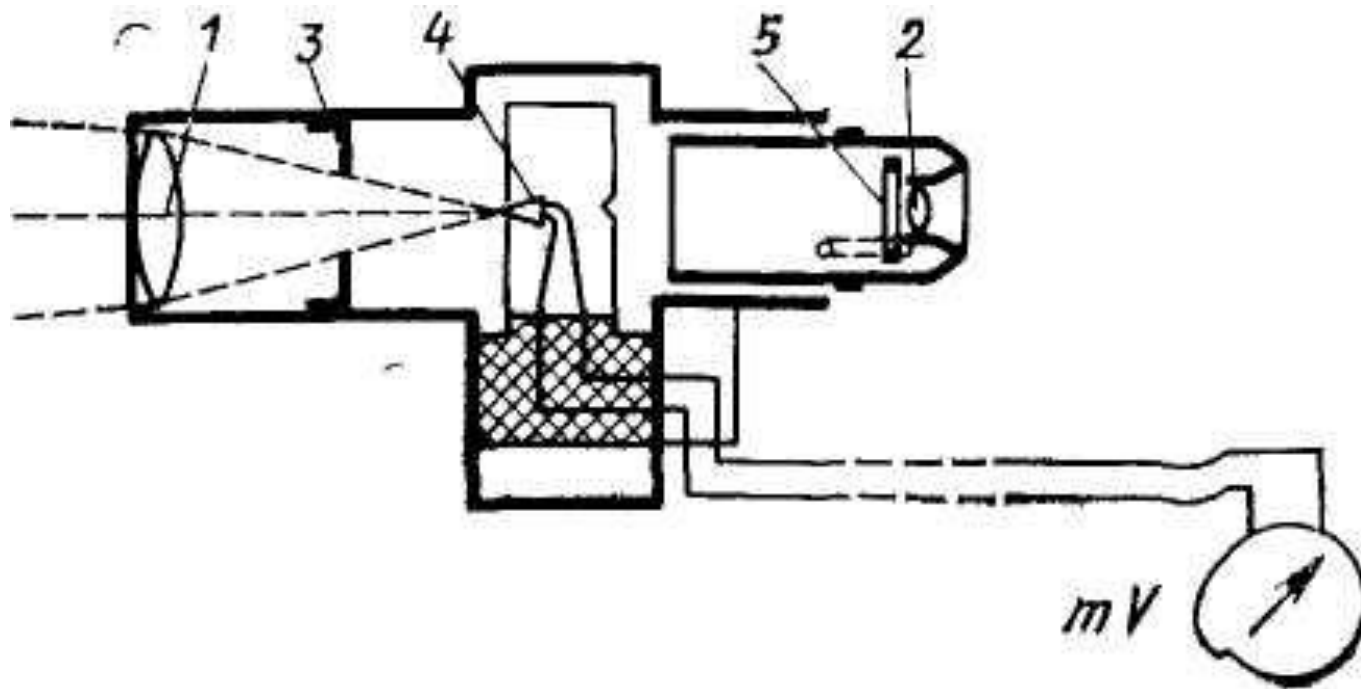
В качестве эталонного тела обычно используют нить лампы накаливания, яркость излучения которой регулируют.

Наиболее распространенным прибором этой группы является квазимонохроматический (оптический) пирометр с исчезающей нитью



ПИРОМЕТРЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ОТНОШЕНИЯ (ЦВЕТОВЫЕ)

В цветных пирометрах, применяемых для промышленных измерений, определяется отношение спектральной энергетической яркости реального тела в лучах двух заранее выбранных длин волн, т. е. показания пирометра являются функцией $f(E_{\lambda 1} / E_{\lambda 2})$. Это отношение для каждой температуры различно, но вполне однозначно. 151



ПИРОМЕТРЫ ПОЛНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Пирометры полного излучения измеряют температуру по мощности излучения нагретого тела.

Пирометр снабжен оптической системой (линзой, зеркалом), собирающей испускаемые нагретым телом лучи на каком-либо теплоприемнике.

Теплоприемник обычно состоит из миниатюрной термоэлектрической батарей (из нескольких малоинерционных последовательно соединенных ТЭП), термометра сопротивления или полупроводникового терморезистора.

В качестве измерительных приборов применяют милливольтметры, автоматические потенциометры и уравновешенные мосты.