

**Балтийский государственный технический университет  
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова**

***Международный научно-образовательный центр  
БГТУ-ФЕСТО «Синергия»***

# ***Измерительные процессы и средства измерения***

***Малый Максим, асп. каф. К4  
Малыгин Денис, асс. каф. К4***

# Основные понятия

**Измерение** — совокупность операций для определения отношения одной (измеряемой) величины к другой однородной величине, принятой за единицу, хранящуюся в техническом средстве (средстве измерений).

Получившееся значение называется числовым значением измеряемой величины, числовое значение совместно с обозначением используемой единицы называется значением физической величины.

Измерение физической величины опытным путём проводится с помощью различных средств измерений — мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, систем, установок и т. д.

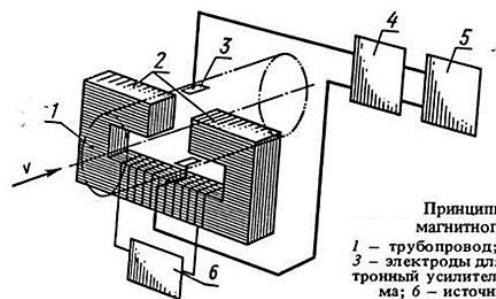
Измерение физической величины включает в себя несколько этапов:

- 1) сравнение измеряемой величины с единицей;
- 2) преобразование в форму, удобную для использования (различные способы индикации).



# Основные понятия

- **Принцип измерений** — физическое явление или эффект, положенное в основу измерений.



Принципиальная схема электромагнитного расходомера:  
1 – трубопровод; 2 – полюса магнита;  
3 – электроды для съема ЭДС; 4 – электронный усилитель; 5 – отсчетная система; 6 – источник питания магнита

*Измерительный преобразователь (ИП)* — техническое средство с нормируемыми метрологическими характеристиками, служащее для преобразования *измеряемой величины* в *другую величину* или *измерительный сигнал*, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации и передачи, но непосредственно не воспринимаемый оператором.

# Основные понятия

- **Метод измерений** — приём или совокупность приёмов сравнения измеряемой физической величины с её единицей в соответствии с реализованным принципом измерений. Метод измерений обычно обусловлен устройством средств измерений.



*Средство измерений* — техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

# Основные понятия

Характеристикой точности измерения является его *погрешность* или *неопределённость*.

*Погрешность измерения* — оценка отклонения измеренного значения величины от её истинного значения. Погрешность измерения является характеристикой (мерой) точности измерения.

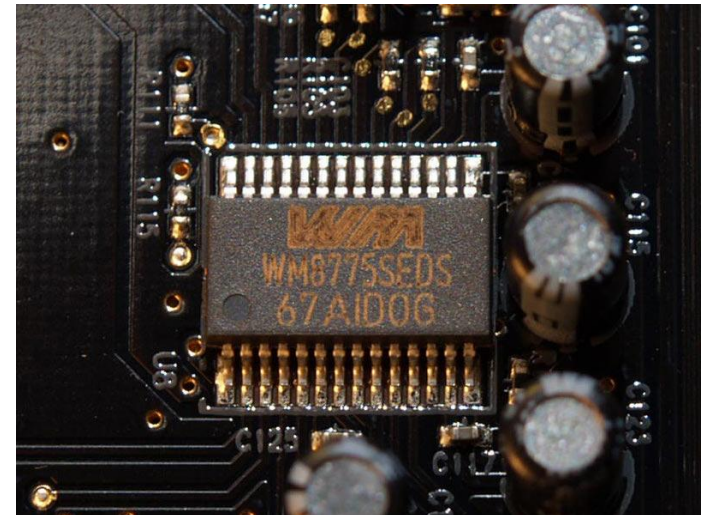
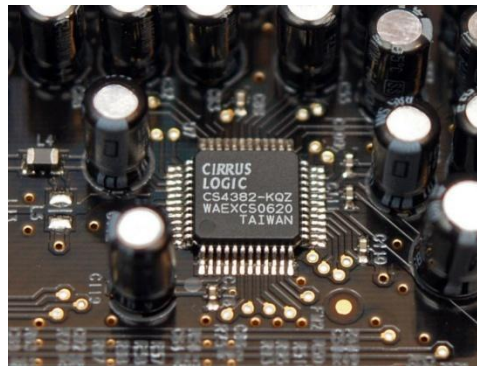
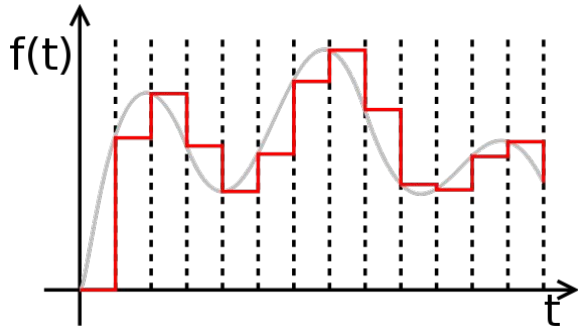
Существует несколько способов записи величины вместе с её абсолютной погрешностью.

- Например, рекорд в беге на 100 метров, установленный в 1983 году, равен  $9,930 \pm 0,005$  с.
- Измеренное значение постоянной Больцмана равно  $1,380\ 6488(13) \times 10^{-23}$  Дж/К, что также можно записать значительно длиннее как  $1,380\ 6488 \times 10^{-23} \pm 0,000\ 0013 \times 10^{-23}$  Дж/К.

# Классификация измерительных преобразователей (ИП)

По характеру преобразования:

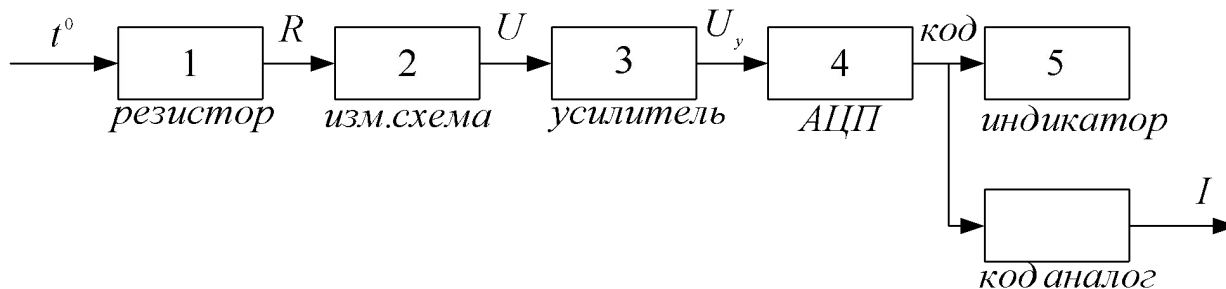
- *Аналоговый измерительный преобразователь*
- *Аналого-цифровой измерительный преобразователь*
- *Цифро-аналоговый измерительный преобразователь*



# Классификация измерительных преобразователей (ИП)

По месту в измерительной цепи:

- *Первичный измерительный преобразователь, датчик, детектор*
- *Промежуточный измерительный преобразователь*



По принципу действия ИП делятся на генераторные (активные) и параметрические (пассивные).

# Датчик

## Определения:

- чувствительный элемент, преобразующий параметры среды в пригодный для технического использования сигнал, обычно электрический, хотя возможно и иной по природе, например — пневматический сигнал;
- законченное изделие на основе указанного выше элемента, включающее, в зависимости от потребности, устройства усиления сигнала, линеаризации, калибровки, аналого-цифрового преобразования и интерфейса для интеграции в системы управления. В этом случае чувствительный элемент датчика сам по себе может называться сенсором.
- датчиком называется часть измерительной или управляющей системы, представляющая собой конструктивную совокупность измерительных преобразователей, включающую преобразователь вида энергии сигнала, размещенную в зоне действия влияющих факторов объекта и воспринимающий естественно закодированную информацию от этого объекта.
- конструктивно обособленная часть измерительной системы, содержащая один или несколько первичных преобразователей, а также один или несколько промежуточных преобразователей.



# Классификация датчиков

## По виду выходных величин:

- Активные
- Пассивные

## По характеру выходного сигнала

- Дискретные
- Аналоговые

## По среде передачи сигналов

- Импульсные
- Проводные
- Беспроводные

## По количеству входных величин

- Одномерные
- Многомерные

## По технологии изготовления

- Элементные
- Интегральные

## По измеряемому параметру

- Давления
- Расхода
- Уровня
- Температуры
- Концентрации
- Радиоактивности
- Перемещения
- Положения
- Фотодатчики
- Углового положения
- Вибрации
- Механических величин
- Дуговой защиты

## По принципу действия

- Оптические
- Магнитоэлектрические
- Пьезоэлектрические
- Тензопреобразователь
- Емкостные
- Потенциометрические
- Индуктивный

# ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ



# Датчики давления

Датчик давления — устройство, физические параметры которого изменяются в зависимости от давления измеряемой среды (жидкости, газы, пар). В датчиках давление измеряемой среды преобразуется в унифицированный пневматический, электрический сигналы или цифровой код.



# Датчики давления

Датчик давления состоит из первичного преобразователя давления, в составе которого чувствительный элемент и приемник давления, схемы вторичной обработки сигнала, различных по конструкции корпусных деталей и устройства вывода.

Основным отличием одних приборов от

других является точность регистрации давления, которая зависит от принципа преобразования

давления в электрический сигнал: *тензометрический, пьезорезистивный, емкостной, индуктивный, резонансный, ионизационный.*

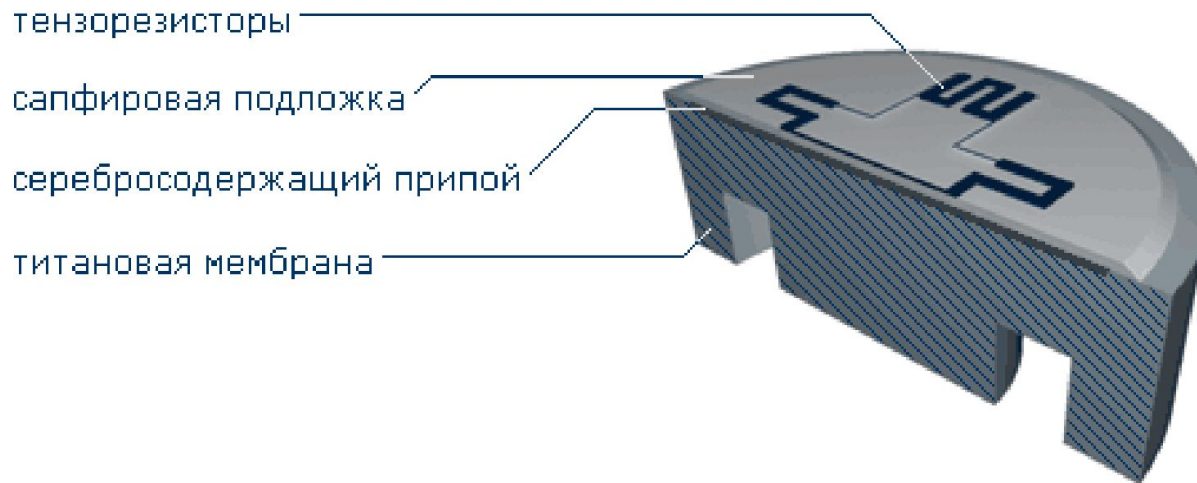


- 1 - чувствительный элемент
- 2 - приемник давления
- 3 - преобразователь давления
- 4 - измерительный преобразователь давления

# Принципы реализации *Тензометрический*

В настоящее время основная масса датчиков давления выпускаются на основе чувствительных элементов, принципом которых является измерение деформации тензорезисторов, сформированных в пленке кремния на подложке из сапфира (КНС), припаянной твердым припоем к титановой мембране.

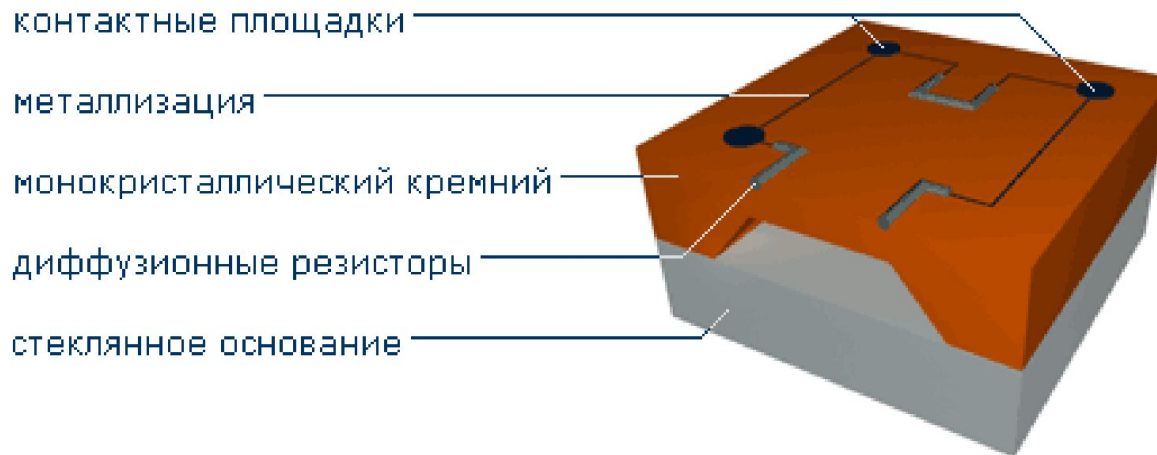
Иногда вместо кремниевых тензорезисторов используют металлические: медные, никелевые, железные и др.



# Принципы реализации *Пьезорезистивный*

Кремниевый интегральный преобразователь давления (ИПД) представляет собой мембрану из монокристаллического кремния с диффузионными пьезорезисторами, подключенными в мост Уитстона.

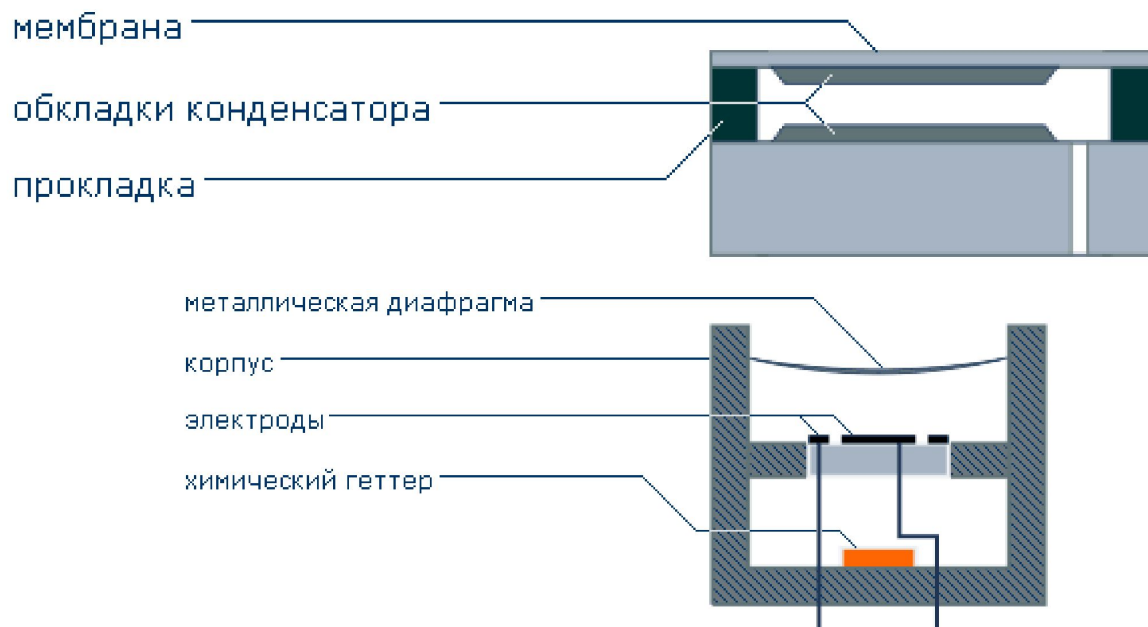
Чувствительным элементом служит кристалл ИПД, установленный на диэлектрическое основание с использованием легкоплавкого стекла или методом анодного сращивания.



# Принципы реализации *Емкостный*

Емкостные преобразователи используют метод изменения емкости конденсатора при изменении расстояния между обкладками. Известны керамические или кремниевые емкостные первичные преобразователи давления и преобразователи, выполненные с использованием упругой металлической мембраны. При изменении давления мембрана с электродом деформируется и происходит изменение емкости.

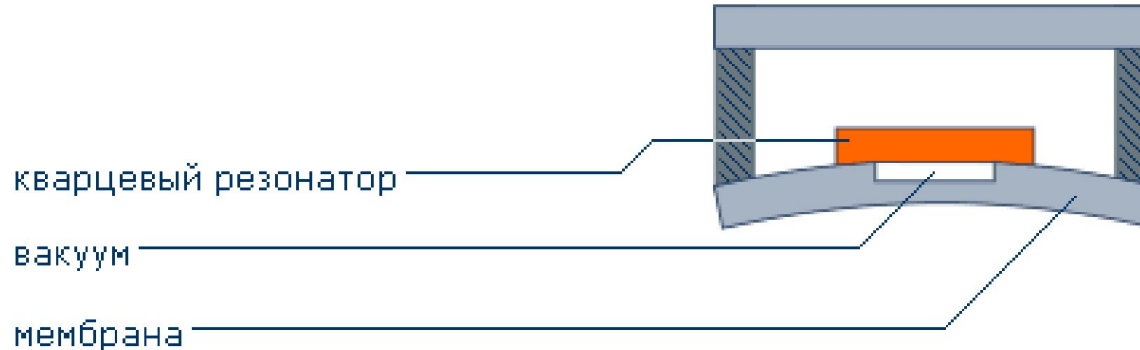
В элементе из керамики или кремния, пространство между обкладками обычно заполнено маслом или другой органической жидкостью.



# Принципы реализации *Резонансный*

Резонансный принцип используется в датчиках давления на основе вибрирующего цилиндра, струнных датчиках, кварцевых датчиках, резонансных датчиках на кремнии. В основе метода лежат волновые процессы: акустические или электромагнитные. Это и объясняет высокую стабильность датчиков и высокие выходные характеристики прибора.

Частным примером может служить кварцевый резонатор. При прогибе мембраны, происходит деформация кристалла кварца, подключенного в электрическую схему и его поляризация. В результате изменения давления частота колебаний кристалла меняется. Подобрав параметры резонансного контура, изменяя емкость конденсатора или индуктивность катушки, можно добиться того, что сопротивление кварца падает до нуля – частоты колебаний электрического сигнала и кристалла совпадают - наступает резонанс.





# Принципы реализации *Индуктивный*

Индукционный способ основан на регистрации вихревых токов (токов Фуко). Чувствительный элемент состоит из двух катушек, изолированных между собой металлическим экраном. Преобразователь измеряет смещение мембраны при отсутствии механического контакта.

В катушках генерируется электрический сигнал переменного тока таким образом, что заряд и разряд катушек происходит через одинаковые промежутки времени.

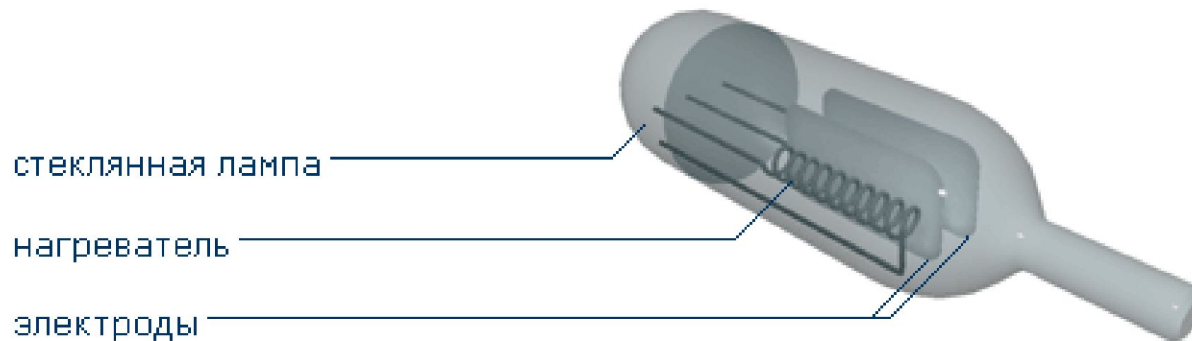
При отклонении мембраны создается ток в фиксированной основной катушке, что приводит к изменению индуктивности системы. Смещение характеристик основной катушки дает возможность преобразовать давление в стандартизованный сигнал, по своим параметрам прямо пропор-



# Принципы реализации *Ионизационный*

В основе лежит принцип регистрации потока ионизированных частиц. Аналогом являются ламповые диоды. Лампа оснащена двумя электродами: катодом и анодом, - а также нагревателем.

В некоторых лампах последний отсутствует, что связано с использованием более совершенных материалов для электродов. Корпус лампы выполнен из высококачественного стекла.



# ДАТЧИКИ РАСХОДА



# Датчики расхода (расходомеры)

*Расходомер* — прибор, измеряющий расход вещества, проходящего через данное сечение трубопровода в единицу времени. Если прибор имеет интегрирующее устройство со счетчиком и служит для одновременного измерения и количества вещества, то его называют расходомером со счетчиком.



# Датчики расхода (расходомеры)

Существующие расходомеры и счетчики количества можно условно разделить на приведенные ниже группы.

Приборы, основанные на гидродинамических методах:

- переменного перепада давления,
- переменного уровня,

Приборы с непрерывно движущимся телом:

- парциальные,
- тахометрические,
- силовые (и в том числе вибрационные),
- с автоколеблющимся телом.

Приборы, основанные на различных физических явлениях:

- тепловые,
- электромагнитные,
- акустические,
- оптические,
- ядерно-магнитные,
- ионизационные.

Приборы, основанные на особых методах:

- меточные,
- корреляционные,
- концентрационные.

# Метод переменного перепада давлений

Метод переменного перепада давлений основан на использовании сужающего устройства (диафрагма, сопло, труба Вентури и т.п.), создающего перепад давления, измеряемый дифференциальным манометром прямого или уравновешивающего преобразования.

В зависимости от принципа действия преобразователя расхода данные расходомеры подразделяются на шесть самостоятельных групп, внутри которых имеются конструктивные разновидности преобразователей.

Расходомеры с сужающими устройствами

Расходомеры с гидравлическим сопротивлением

Центробежные расходомеры

Расходомеры с напорным устройством

Расходомеры с напорным усилителем

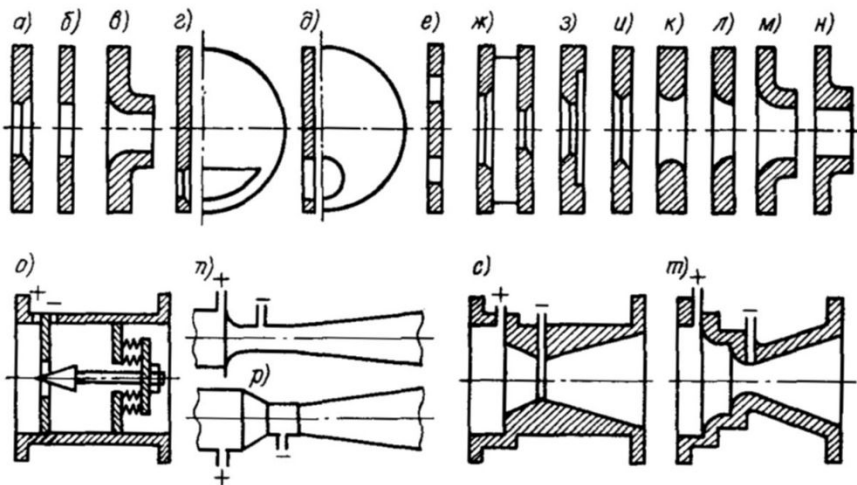
Расходомеры ударно-струйные

# Расходомеры с сужающими устройствами

Нашли применение в качестве основных промышленных приборов для измерения расхода жидкости, газа и пара.

Они основаны на зависимости от расхода перепада давления, создаваемого сужающим устройством, в результате которого происходит преобразование части потенциальной энергии потока в кинетическую.

Имеется много разновидностей сужающих устройств.

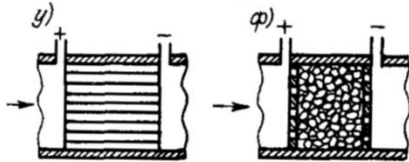


- а), б) – стандартные диафрагмы
- в) – стандартное сопло
- г), д), е) – диафрагмы для измерения загрязненных веществ
- ж) – двойная
- з) – с входным конусом
- и) – с двойным конусом
- к) – сопло с сечением полукругом
- л) – сопло с сечением четверть круга
- м) – комбинированное
- н) – цилиндрическое
- о) – диафрагма с переменной площадью отверстия
- п) – труба Вентури
- р) – сопло Вентури
- с) – труба Далла
- т) – сопло Вентури с двойным сужением

# Расходомеры с гидравлическим сопротивлением

Основаны на зависимости от расхода перепада давления, создаваемого гидравлическим сопротивлением.

Применяются подобные расходомеры преимущественно для измерения малых расходов.

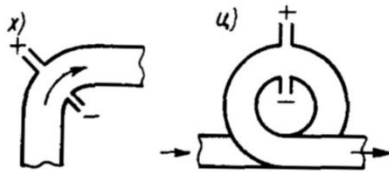


у) – капиллярные трубки  
φ) – сопротивление с шариковой набивкой



# Центробежные расходомеры

Созданы на основе зависимости от расхода перепада давления, образующегося в закруглении трубопровода в результате действия центробежной силы в потоке.

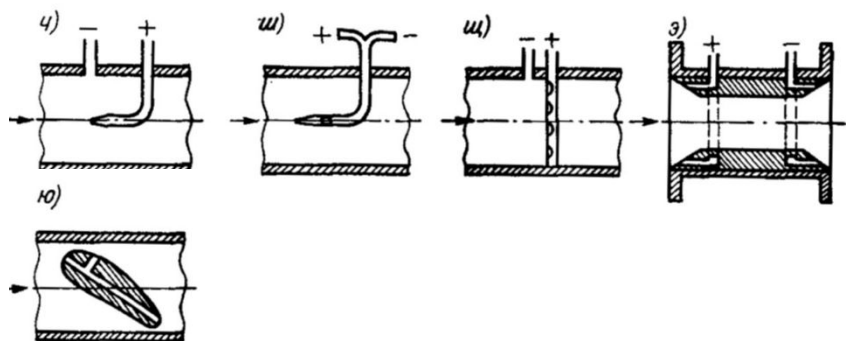


х) – колено

ц) – кольцевой участок  
трубы

# Расходомеры с напорным устройством

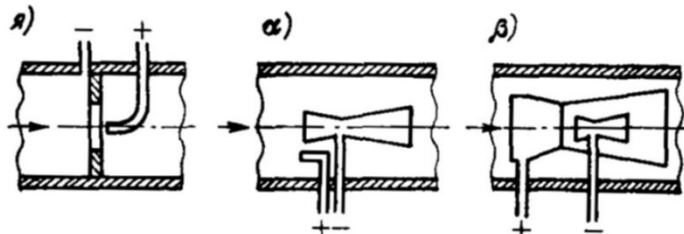
В напорном устройстве создается перепад давления в зависимости от расхода в результате местного перехода кинетической энергии струи в потенциальную.



- ч) – трубка Пито
- ш) – дифференциальная трубка Пито
- щ) – усредняющая по диаметру трубка
- э) – кольцевая усредняющая вставка
- ю) – напорное поворотное крыло с двумя отверстиями

# Расходомеры с напорным усилителем

Расходомеры с напорным усилителем имеют преобразователь расхода, в котором сочетаются напорное и сужающее устройство. Перепад давления в них создается как в результате местного перехода кинетической энергии струи в потенциальную, так и частичного перехода потенциальной энергии в кинетическую.



- я) – диафрагма и трубка Пито
- а) – комбинация трубок Пито и Вентури
- б) – сдвоенная трубка Вентури

# *Расходомеры ударно-струйные*

Расходомеры ударно-струйные основаны на зависимости от расхода перепада давления, возникающего при ударе струи.

Струя, вытекающая из суженного отверстия входной трубки, создает давление  $p_1$  во внутренней полости сиффона, снаружи которого действует меньшее давление  $p_2$ , равное давлению уходящей жидкости в выходной трубке.

Ударно-струйные расходомеры применяются лишь для измерения малых расходов жидкости и газа.