



# Методы и средства измерений и эталоны

## Лекция 7. Методы и средства измерения давления

направление 27.04.01 «Стандартизация и метрология»  
Квалификация (степень) - МАГИСТР  
Форма обучения: очная

г. Казань  
2020-2021



Казанский федеральный  
УНИВЕРСИТЕТ

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ЭТАЛОНЫ  
**ЛЕКЦИЯ 7. МЕТОДЫ И СИ ДАВЛЕНИЯ**



**Фазлыяхматов Марсель Галимзянович**

К.т.н., ст. преподаватель каф. БМИиУИ  
Инженерный институт КФУ

<https://kpfu.ru/Marsel.Fazlyjyahmatov>

[mfazlyjy@kpfu.ru](mailto:mfazlyjy@kpfu.ru)  
+7 (927) 676-58-87



## Основные определения

**Давление** – равномерно распределённая сила, действующая на единицу площади поверхности перпендикулярно этой поверхности:

$$p = \frac{F}{S}$$

При неравномерном распределении сил давление определяется в данной точке как отношение нормальной составляющей силы, действующей на малый элемент поверхности к её площади:

$$p = \frac{dF_n}{dS}$$



## Основные определения

**Атмосферное давление** ( $p_a$ ) создаётся массой воздушного столба земной атмосферы. Оно имеет переменную величину, зависящую от высоты местности над уровнем моря, географической широты и метеорологических условий.

**Абсолютное давление** ( $p$ ) – это полное давление внутри какой-либо системы, под которым находится газ, пар или жидкость, определяется как **сумма атмосферного и избыточного**. Отсчитывается от нуля относительно идеального вакуума с использованием абсолютной шкалы.



## Основные определения

**Избыточное давление** ( $p_{изб}$ ) определяется разностью между абсолютным давлением ( $p$ ) и атмосферным давлением ( $p_a$ ):

$$P_{ИЗБ} = P - P_a.$$

Избыточное давление отсчитывается от давления окружающего воздуха.

**Под вакуумом** (разрежением) понимают такое состояние газа, при котором его давление меньше атмосферного. Количественно **вакуумметрическое давление** ( $p_{вак}$ ) определяется разностью между атмосферным давлением и абсолютным давлением внутри вакуумной системы:

$$P_{ВАК} = P_a - P$$



## Основные определения

**Статическое давление** – это давление, зависящее от запаса потенциальной энергии газовой или жидкостной среды; определяется статическим напором. Оно может быть избыточным или вакуумметрическим, в частном случае может быть равно атмосферному.

**Динамическое давление** – это давление, обусловленное скоростью движения потока газа или жидкости. Определяется оно через скоростной (динамический) напор по следующей формуле:

$$P_d = \rho \frac{v^2}{2}$$



## Основные определения

**Полное давление** ( $p_n$ ) движущейся среды складывается из статического ( $p_{ст}$ ) и динамического ( $p_d$ ) давлений:

$$P_n = P_{ст} + P_d$$

**ГОСТ 8.271-77** Государственная система обеспечения единства измерений. Средства измерения давления. Термины и определения

**ГОСТ 2405-88** Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры. Общие технические условия



## Классификация СИ давления





## СИ давления

В основном в промышленности и технике для большинства жидкостей и газов в замкнутой системе преобладает измерение **избыточного давления**.

Например: давление в автомобильных шинах, в газопроводе или артериальное давление.

В некоторых случаях измеряется **абсолютное давление**.

**Например:** экстремальное давление вакуума или давление, которое измеряет альтиметр (барометрический высотомер).

Также может измеряться **дифференциальное давление**, то есть разность давлений.

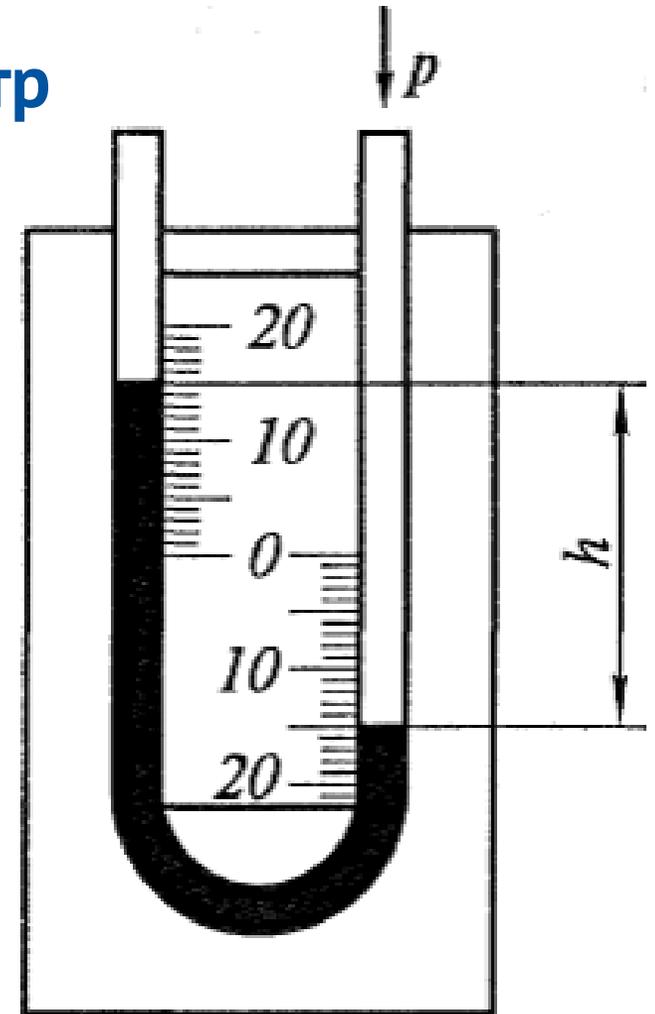


## Двухтрубный жидкостный манометр

$$p = \rho g h$$

Верхний предел измерения двухтрубных манометров составляет 1...10 кПа при приведённой погрешности измерения 0.2...2%.

Точность измерения давления этим средством будет определяться точностью отсчёта величины  $h$ , точностью определения плотности рабочей жидкости  $\rho$  и не зависит от сечения трубки.





## Двухтрубный жидкостный манометр





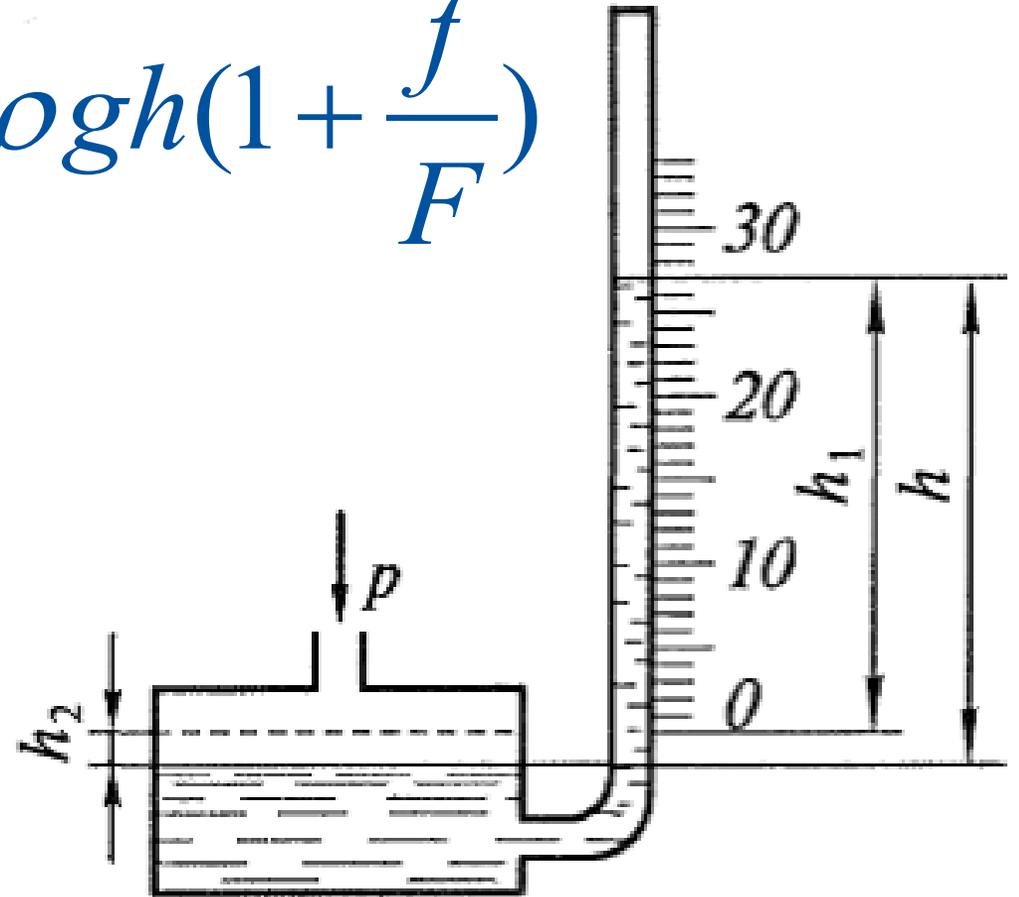
## Однотрубный жидкостный манометр

$$p = \rho gh \left(1 + \frac{f}{F}\right)$$

где  $F, f$  – сечения сосуда и трубки.

Так как соотношение диаметров или сечений трубки и сосуда значительны, понижением уровня  $h_2$  при изменении давления можно пренебречь и отсчёт вести только по стеклянной трубке, т.е. по  $h_1$ .

Однотрубные манометры имеют верхний предел измерения 1.6...10 кПа, приведённая погрешность измерения составляет 0.25...0.4%.





## Однотрубный жидкостный манометр

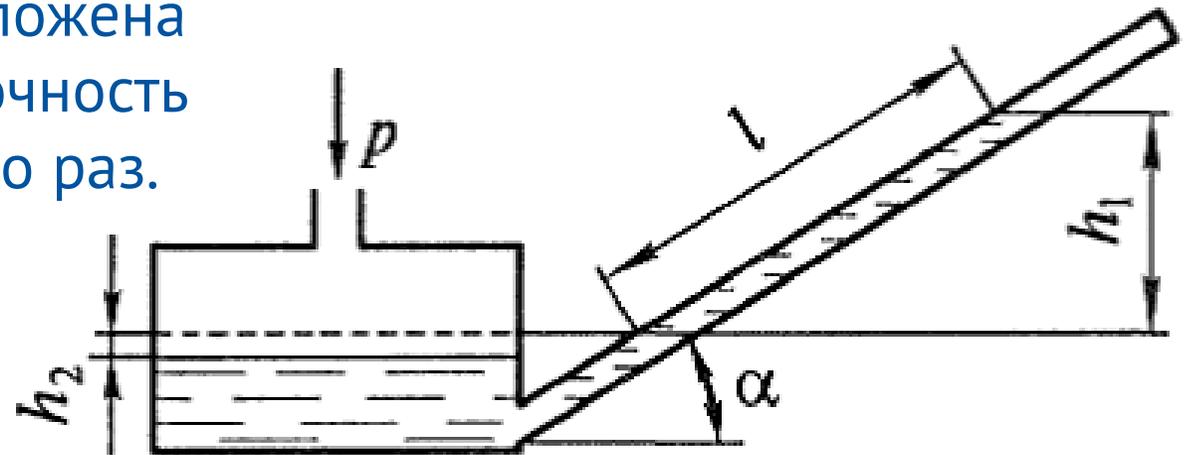




## Однотрубный микроманометр

Применяется для измерения малых величин давления (до 2 кПа). В этом манометре стеклянная трубка расположена под углом  $\alpha$  к горизонту. При этом точность измерения увеличивается в несколько раз.

$$p = l \rho g \sin \alpha$$





## Однотрубный микроманометр





## Деформационные СИ давления

**Деформационные СИ давления** основаны на уравнивании силы, создаваемой давлением или вакуумом контролируемой среды на чувствительный элемент, силами упругих деформаций различного рода упругих элементов.

Эта деформация в виде линейных или угловых перемещений передаётся регистрирующему устройству (показывающему или самопишущему) или преобразуется в электрический или пневматический сигнал для дистанционной передачи.



## Деформационные СИ давления

В качестве чувствительных элементов используют:

- одновитковые трубчатые пружины;
- многовитковые трубчатые пружины;
- упругие мембраны;
- упругие мембранные коробки;
- двойные упругие мембранные коробки;
- пружинно-мембранные с гибкой мембраной;
- сильфонные;
- пружинно-сильфонные.



## Трубчато-пружинные СИ давления

**Трубчато-пружинные приборы** – наиболее распространённые СИ давления.

Трубчатая пружина представляет собой тонкостенную, согнутую по дуге окружности, трубку (одно- или многовитковую) с запаянным одним концом (трубка Бурдона). При увеличении или уменьшении давления внутри трубки пружина раскручивается или скручивается на определённый угол.

Манометры имеют верхние пределы измерений 60...160 кПа.

Вакуумметры имеют пределы измерений от 0 до 100 кПа.

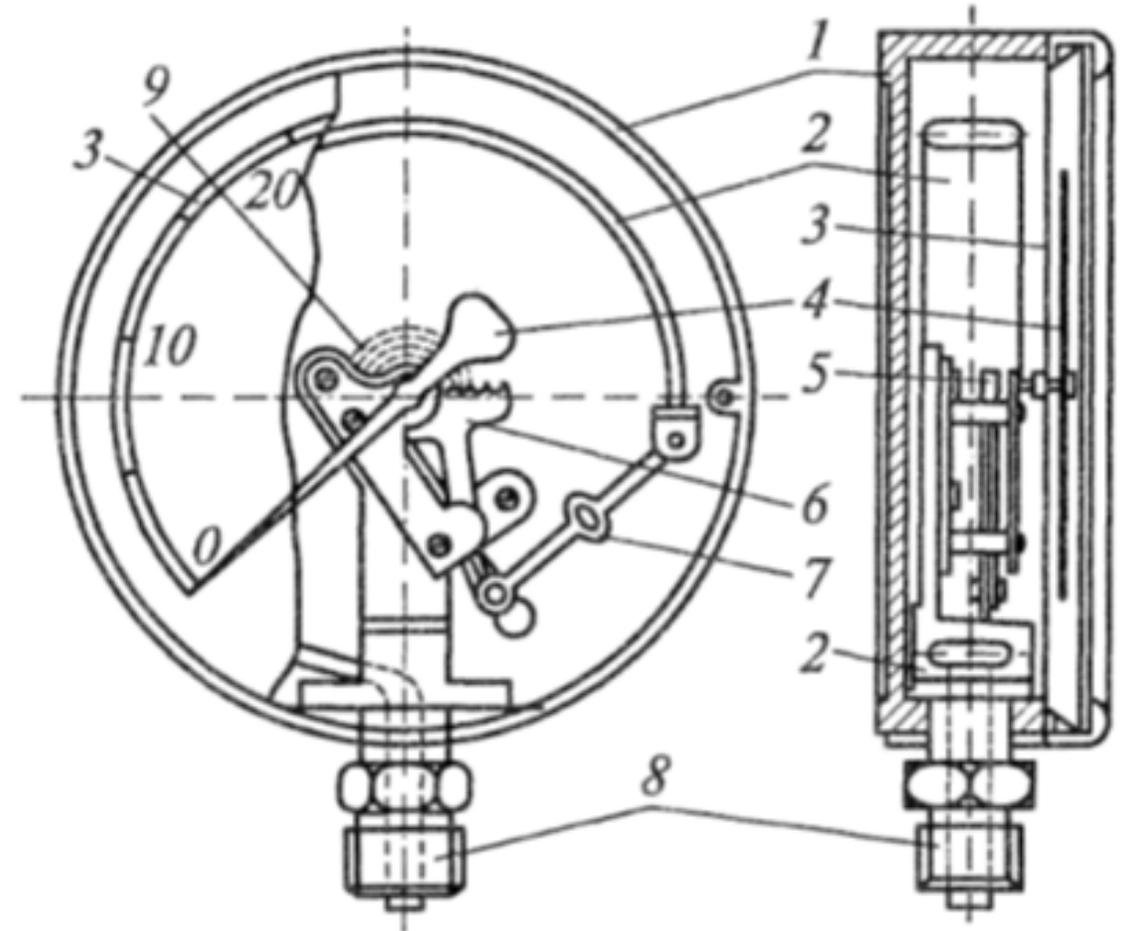
Мановакуумметры имеют пределы измерений от –100 до 60 кПа...2.4 МПа.

Классы точности для рабочих СИ – 0.6...4, для образцовых – 0.16; 0.25; 0.4.



## Пружинный манометр

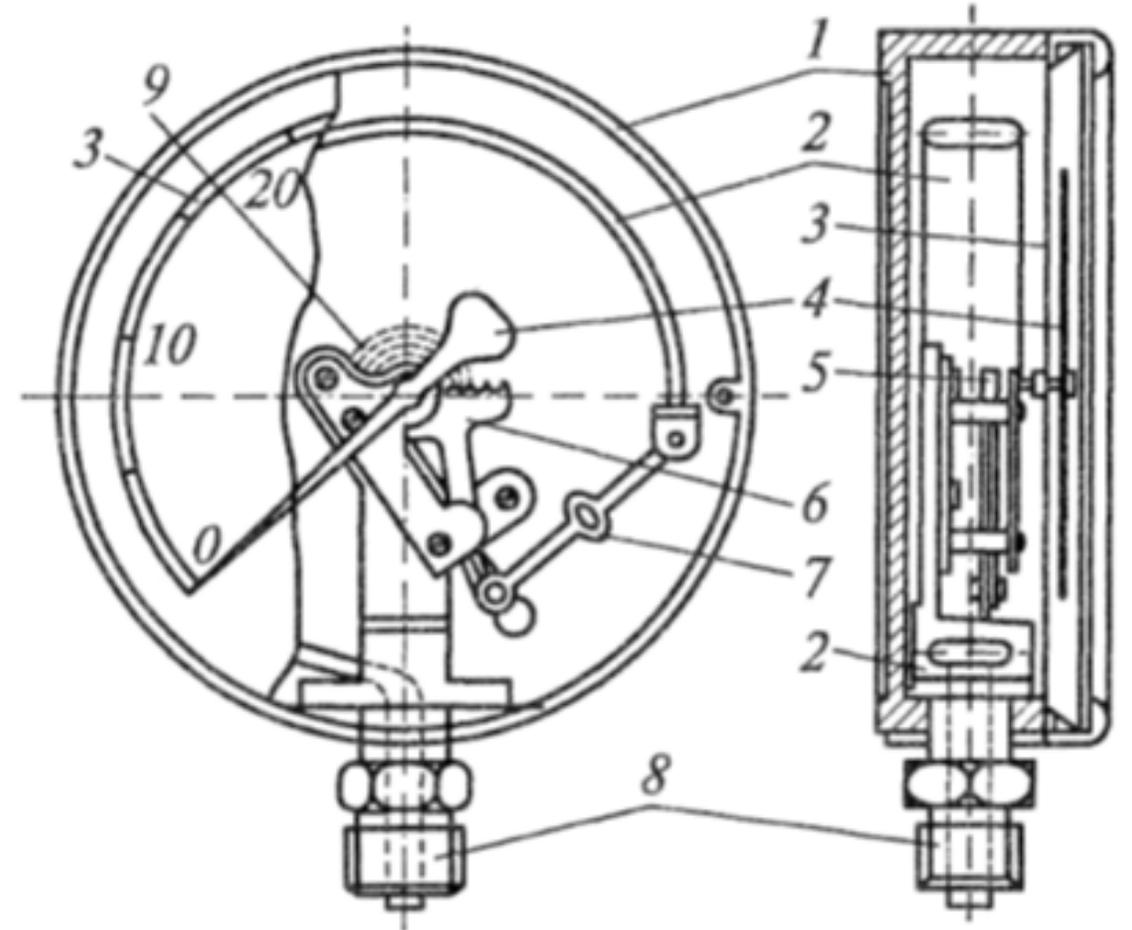
Манометр содержит корпус 1, полу трубку 2, выполненную в форме согнутой по кругу на угол  $270^\circ$  с поперечным овальным сечением, с одной стороны свободна и наглухо закрыта, а с другой – впаяна в держатель, который присоединён к источнику измеряемого давления при помощи штуцера 8. Закрытый конец трубки поводком 7 соединён с зубчатым сектором 6, который зацеплен с шестернёй 5, установленной на одной оси с показывающей стрелкой 4.





## Пружинный манометр

Под действием избыточного давления трубка разгибается, её свободный конец перемещается и тянет поводок 7, который поворачивает связанный с ним зубчатый сектор 6. Последний вращает связанную с ним шестерню 5 и стрелку 4, указывающую по шкале 3 величину измеряемого давления. Для устранения мёртвого хода между зубьями сектора и шестерни применена спиральная пружина 9.





## Пружинный манометр





## Мембранные СИ давления

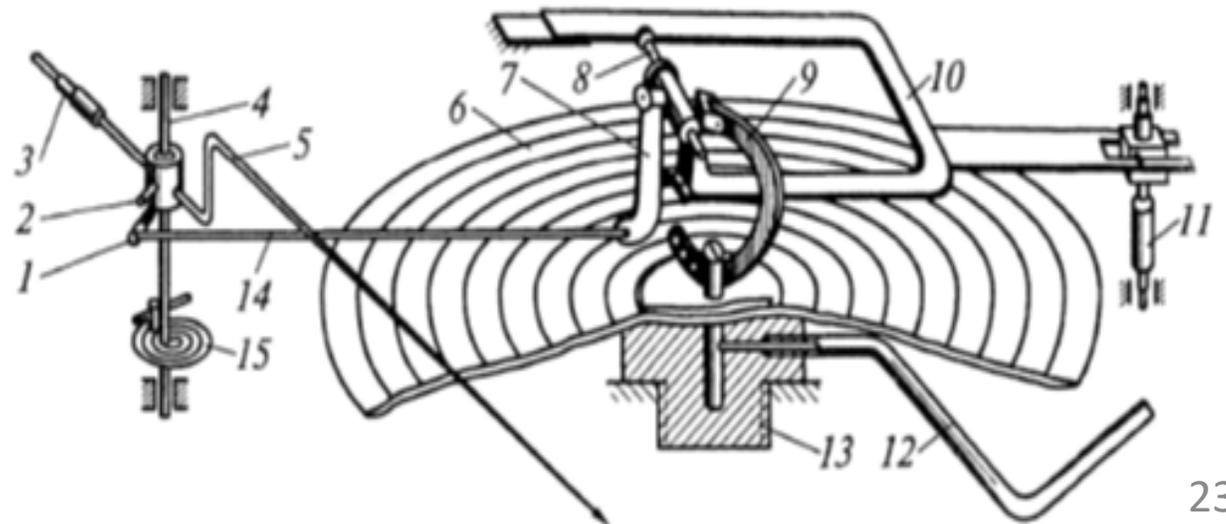
**Мембранные приборы** применяются для измерения небольших давлений (до 40 кПа) нейтральных газовых сред.

Класс точности данных приборов – 2.5.



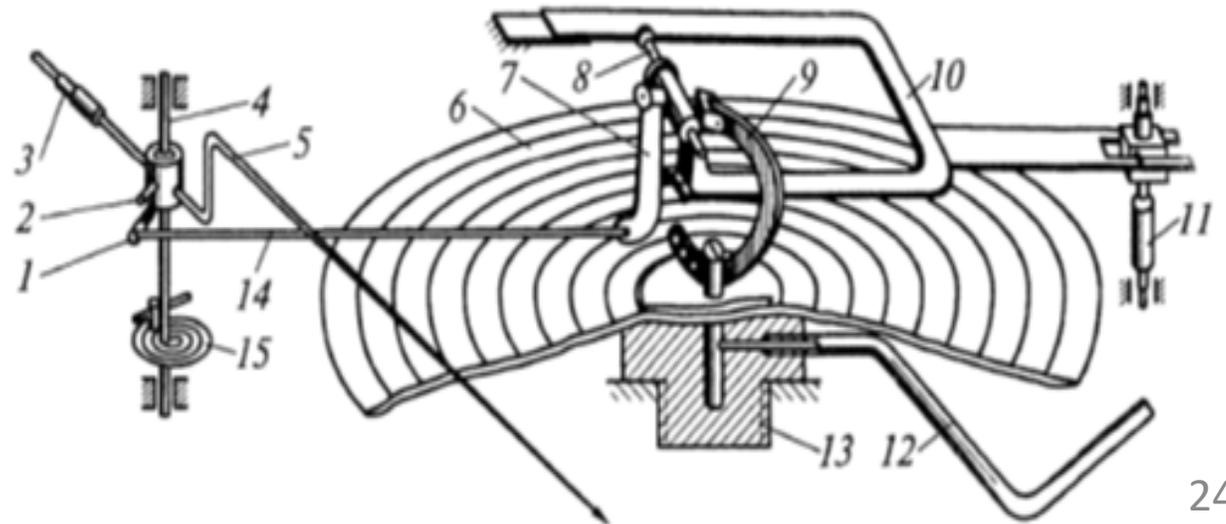
## Мембранные СИ давления

Чувствительным элементом служит мембранная коробка 6, соединённая с изменяемой средой с помощью трубки 12. Мембрана прикреплена к корпусу прибора с помощью штуцера 13. Изменение давления измеряемой среды вызывает соответствующее изменение прогиба мембранной коробки 6. При этом поводок 9, прикреплённый к верхней части мембранной коробки 6, поворачивает рычаг 7, установленный на оси 8.



## Мембранные СИ давления

Для увеличения жёсткости упругой системы ось 8 закреплена на плоской пружине 10. Поворот рычага 7 вызывает перемещение тяги 14 и рычага 1, установленного на оси 4. На этой же оси с помощью стопорного винта 2 закреплена указательная стрелка 5 с противовесом 3. Конец указательной стрелки 5 перемещается вдоль горизонтальной профильной шкалы. Спиральная пружина 15 служит для устранения влияния зазоров в сочленениях рычажного механизма. Для установки стрелки на начальную отметку шкалы служит винт 11 корректора нуля.





## Мембранные СИ давления





## Сильфонные СИ давления

**Сильфонные** приборы предназначены для измерения избыточного и вакуумметрического давления неагрессивных газов с пределами измерений до 40 кПа, до 400 кПа (как манометры), до –100 кПа (как вакуумметры), в интервале от –100 до 300 кПа (как мановакуумметры).

Чувствительным элементом является сильфон, представляющий собой тонкостенную цилиндрическую ёмкость с поперечной гофрировкой, которая изменяет свои линейные размеры при перепаде давлений внутри и вне её.

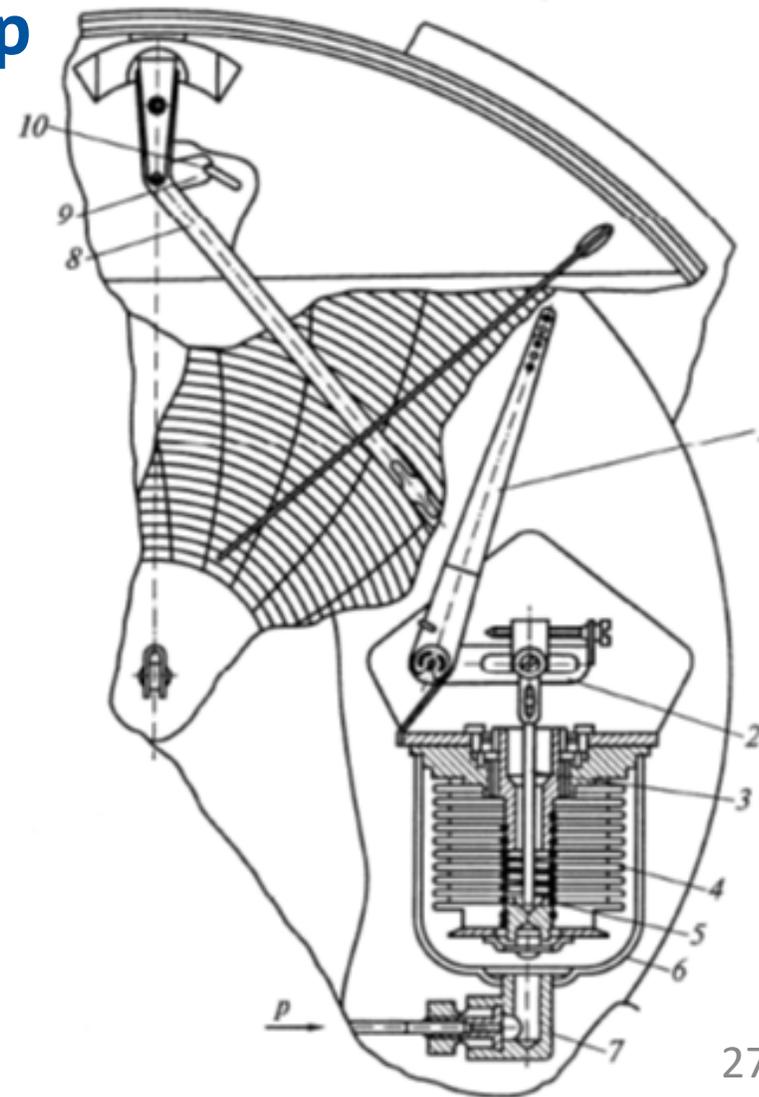
Применяют сильфоны диаметром от 8 до 150 мм, толщиной стенки от 0.1 до 0.3 мм, с числом волн 4; 6; 10 и 16.

Класс точности – 1 или 1.5.



## Сильфонный вакуумметр

Измеряемое давление через штуцер 7 подаётся в камеру 6, где размещается сильфон 4. Внутренняя область сильфона 4 сообщается с атмосферой. Внутри сильфона 4 установлена пружина 5, противодействующая его сжатию. В доньшко сильфона 4 упирается штифт 3, соединённый с рычагом 2, передающим перемещение от сильфона 4 рычагу 1. Этот рычаг тягой 10 соединён с рычагом 9, передающим перемещение стрелке 8 с укреплённым на ней пером.





## Сильфонный вакуумметр





## Деформационные СИ давления





## Деформационные СИ давления





## Грузопоршневые СИ давления

**Грузопоршневые манометры** применяются для поверки механических манометров среднего и высокого давления. Давление в них измеряется при калиброванных грузах, перемещающихся внутри поршней.

Класс точности – 0.05 и 0.02%.



## Грузопоршневые СИ давления





## Электронные СИ давления

Действие таких приборов основано на свойстве некоторых материалов изменять свои электрические параметры под действием давления.

Основные типы электронных СИ давления:

- тензометрические;
- пьезоэлектрические;
- термопроводные;
- ионизационные.



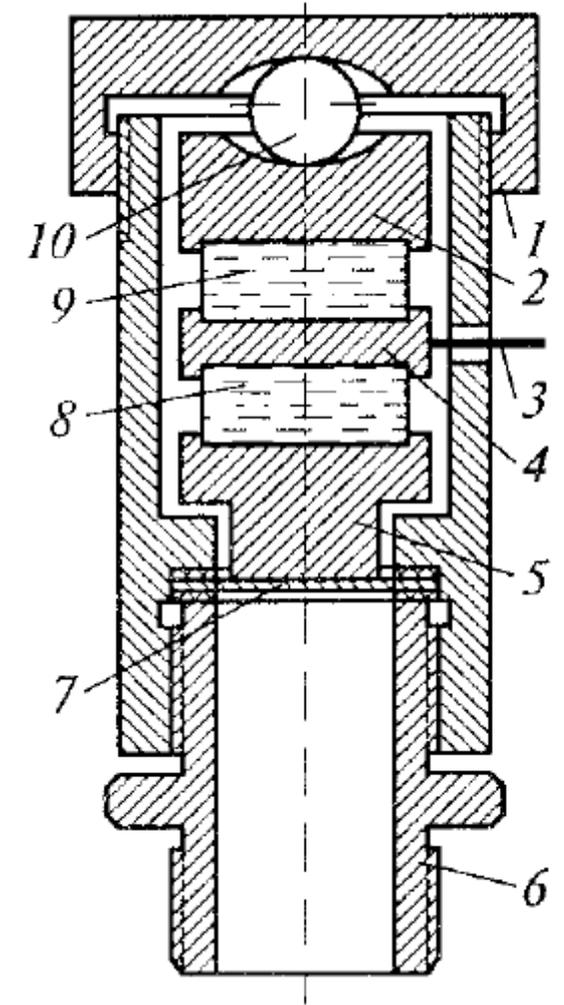
## Пьезоэлектрические СИ давления

**Пьезоэлектрические манометры** применяют при измерении пульсирующего с высокой частотой давления в механизмах с допустимой нагрузкой на чувствительный элемент до  $8 \cdot 10^3$  ГПа.

Чувствительным элементом, преобразующим механические напряжения в колебания электрического тока, являются пластины цилиндрической или прямоугольной формы толщиной в несколько миллиметров из кварца, титаната бария или керамики типа ЦТС (цирконат–титанат свинца).

## Пьезоэлектрический манометр

Измеряемое давление через мембрану 7 действует на пьезоэлементы 9 и 8, расположенные так, что на их внутренних гранях, соприкасающихся с металлической прокладкой 4, возникают одноименные заряды. Потенциал с внутренней граней пластинок снимается изолированным проводником 3, присоединённым к прокладке 4, а с внешних граней пьезоэлементов – через корпус и металлические прокладки 2 и 5, мембрану 7 и шарик 10, крышку 1. Штуцер 6, зажимающий мембрану 7, служит для присоединения чувствительного элемента к объекту измерения.





## Тензометрические СИ давления

**Тензометрические манометры** имеют малые габаритные размеры, простое устройство, высокую точность и надёжность в работе.

Верхний предел показаний от 0.1 до 40 МПа.

Класс точности – 0.6; 1 и 1.5.

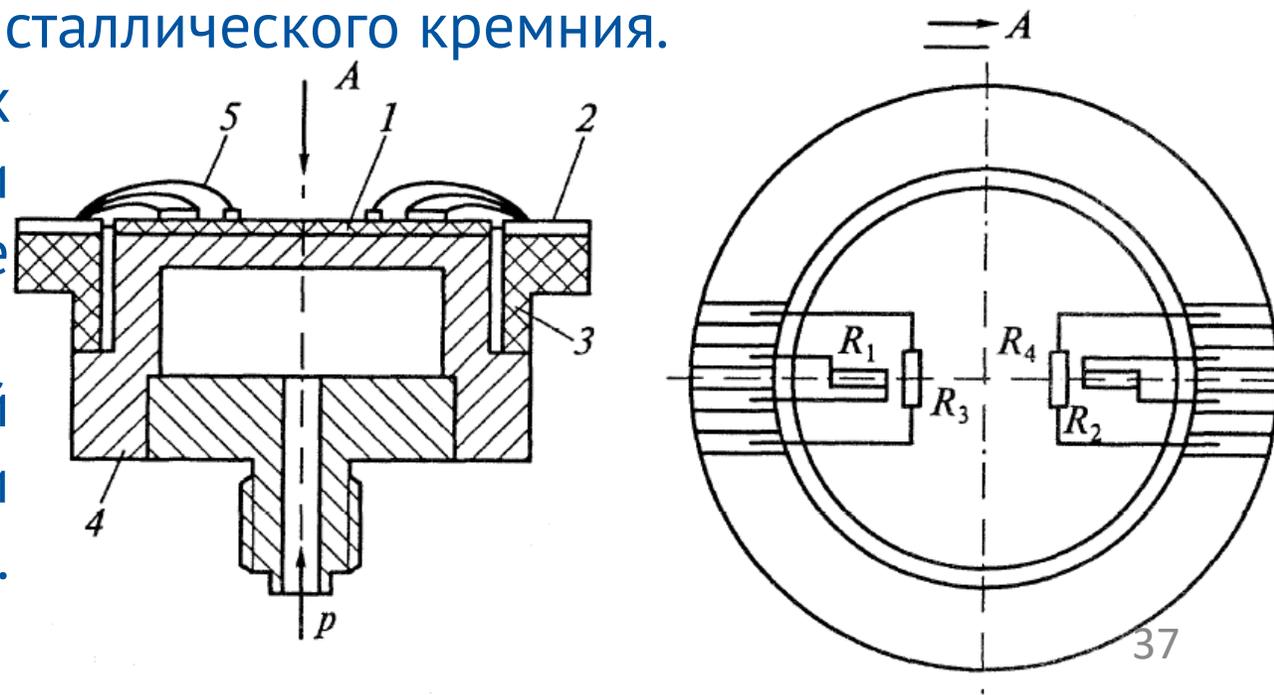


## Пьезоэлектрический манометр

Манометр имеет цилиндрический корпус 4, образующий в верхней части упругую мембрану, а в нижней – штуцер для подвода измеряемого давления  $p$ . К мембране припаяна круглая сапфировая пластина 1, на поверхность которой нанесены тонкопленочные полупроводниковые тензорезисторы  $R_1...R_4$  из монокристаллического кремния.

Тензорезисторы с помощью выводных проводов 5, соединены со сборными пластинками 2, закрепленными на кольце из диэлектрика 3.

Давление измеряется схемой неуравновешенного моста, плечами которого являются тензорезисторы  $R_1...R_4$ .





## Термопроводные СИ давления

**Термопроводные манометры** основаны на зависимости теплопроводности газа от давления. В таких манометрах встроена нить накала, которая нагревается при пропускании через неё тока. Для определения температуры используется термопара или термосопротивление. Температура нити накала зависит от скорости с которой она отдаёт тепло окружающему газу и, таким образом, от термопроводности.

Часто используется **манометр Пирани**, в котором используется единственная нить накала из платины одновременно как нагревательный элемент и как термосопротивление.



## Термопроводные СИ давления

**Манометр Пирани** состоит из металлической проволоки, открытой к измеряемому давлению. Проволока нагревается протекающим через неё током и охлаждается окружающим газом. При уменьшении давления газа охлаждающий эффект тоже уменьшается и равновесная температура проволоки увеличивается.





## Датчики давления

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

**ГОСТ 22520-85** Датчики давления, разрежения и разности давлений с электрическими аналоговыми выходными сигналами ГСП. Общие технические условия.

**ГОСТ 22521-85** Датчики давления, разрежения и разности давлений с пневматическим аналоговым выходным сигналом ГСП. Общие технические условия.



## Датчики давления

Датчик давления состоит из первичного преобразователя давления, в составе которого чувствительный элемент, схем вторичной обработки сигнала и устройств вывода информационного сигнала.

Принципы преобразования давления в электрический сигнал:

- тензометрический;
- пьезорезистивный;
- ёмкостный;
- индуктивный;
- резонансный;
- ионизационный;
- пьезоэлектрический и другие.



## Датчики давления

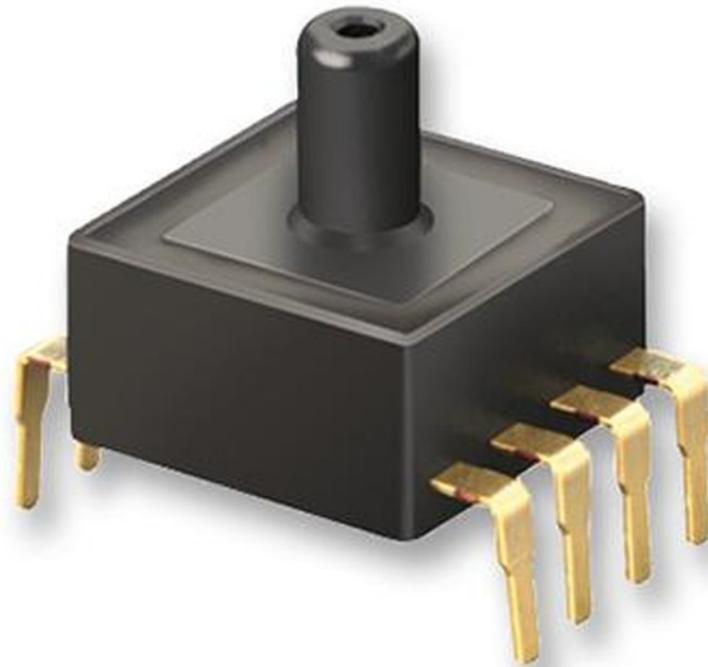
В настоящее время в промышленности наибольшее распространение имеют датчики давления, разрежения и разности давлений с **электрическими аналоговыми выходными сигналами.**

Выходные сигналы:

- токовые сигналы: 0-5; 0-20; 4-20 мА;
- сигналы напряжения: 0-10; 0-5; 0-1 В.



## Датчики давления





## Датчики давления

