



Методы и средства измерений и эталоны

Лекция 4. Методы и средства измерения геометрических размеров, расстояния, массы, деформаций, силы

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 4. МЕТОДЫ и СИ РАССТОЯНИЯ, МАССЫ



Фазлыяхматов Марсель Галимзянович

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

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

mfazlyjy@kpfu.ru
+7 (927) 676-58-87



Измерительные металлические рулетки

Металлические рулетки изготавливаются из инвара, нержавеющей стали и светлополированной стальной ленты длиной 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75 и 100 м.

Допускаемые отклонения длины не более:

для миллиметровых делений	± 0.15 и ± 0.20 мм,
для сантиметровых делений	± 0.20 и ± 0.30 мм,
для дециметровых делений	± 0.30 и ± 0.40 мм,
для метровых делений	± 0.30 и ± 0.40 мм.

для 2-го и 3-го классов точности соответственно.



Измерительные металлические рулетки





Измерительные металлические рулетки





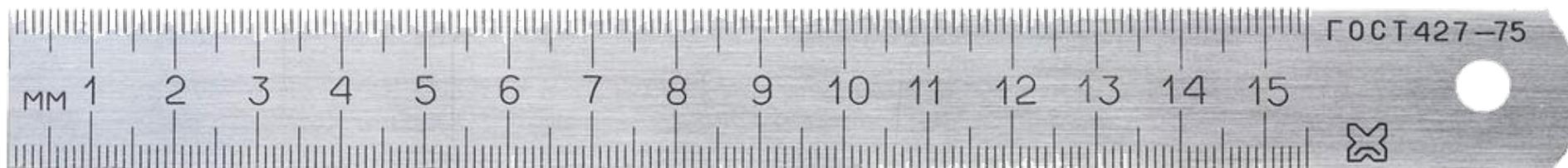
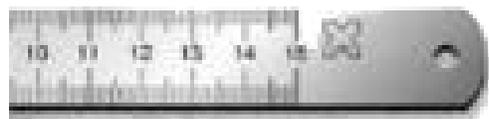
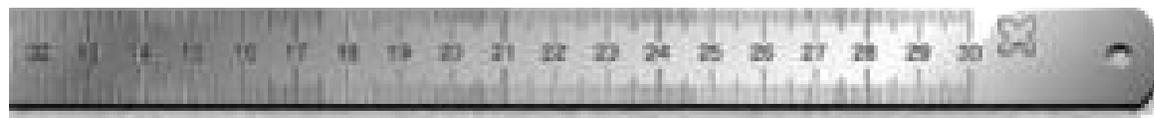
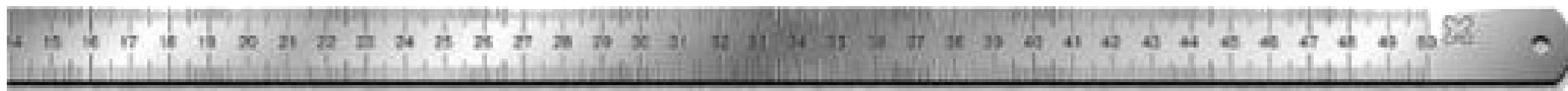
Измерительные металлические линейки

Линейка измерительная представляет собой гибкую стальную полосу с нанесённой на ней прямой шкалой с ценой деления 1 мм. Линейки изготавливают со шкалами от **0** до **150** мм, от **0** до **300** мм, от **0** до **500** мм и от **0** до **1000** мм.

Началом шкалы линейки является плоскость торца полосы; торец расположен перпендикулярно продольному ребру полосы. С торцом совпадает середина нулевого штриха шкалы. Конец штрихов шкалы выходит на продольное ребро. Каждый 5-й и 10-й штрих шкалы удлинён, каждый 10-й снабжён цифрой, показывающей расстояние в сантиметрах от этого штриха до начала шкалы. Второй конец полосы закруглён и снабжён отверстием для подвешивания линейки.



Измерительные металлические линейки





Складные металлические метры

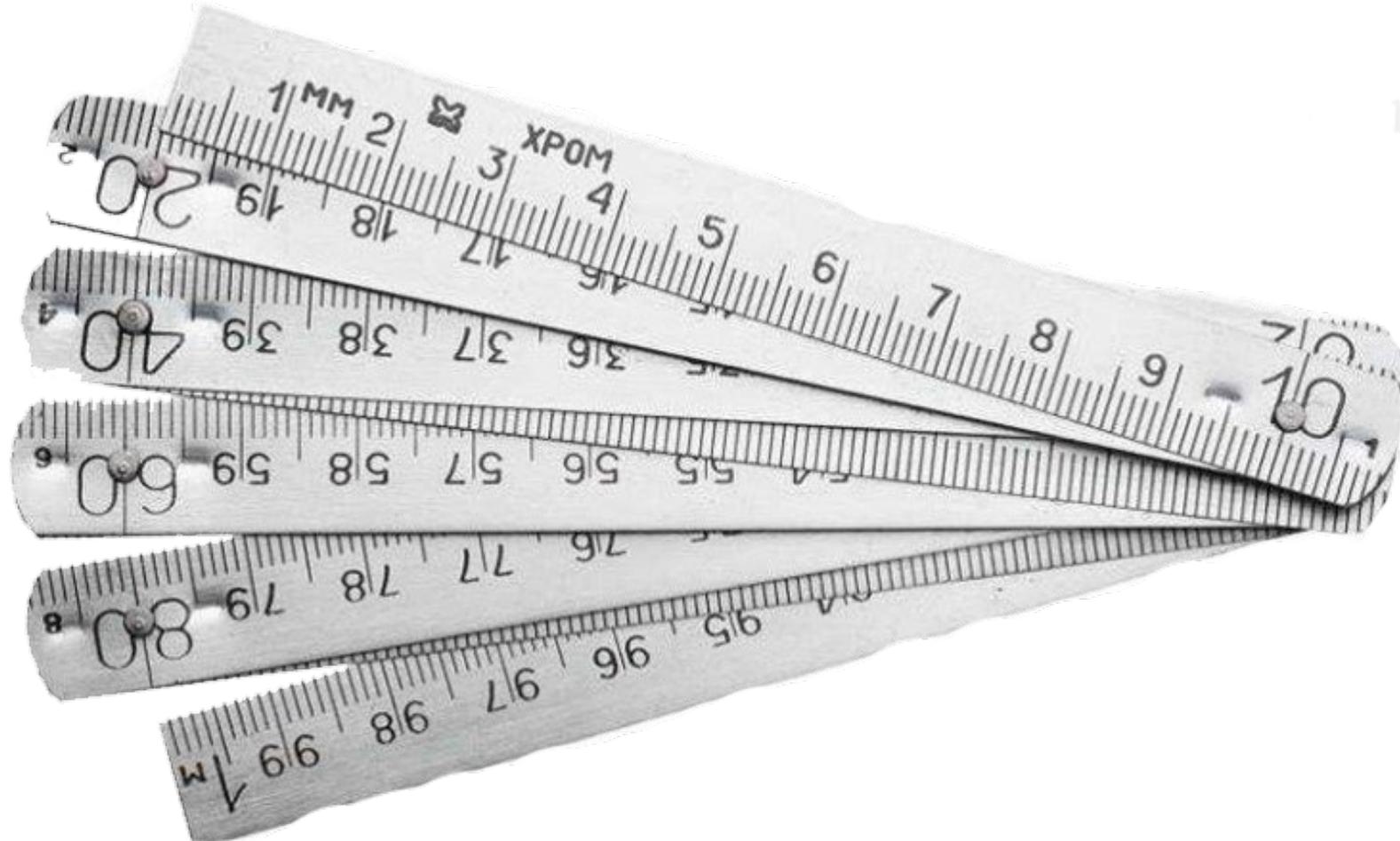
Складные металлические метры изготавливаются длиной 1 м и состоят из 10 стальных упругих пластин, соединённых шарнирно.

Допускаемые отклонения между любыми штрихами:

для линеек до 300 мм:	± 0.10 мм,
для линеек от 300 до 500 мм:	± 0.15 мм,
для линеек от 500 до 1000 мм:	± 0.20 мм.

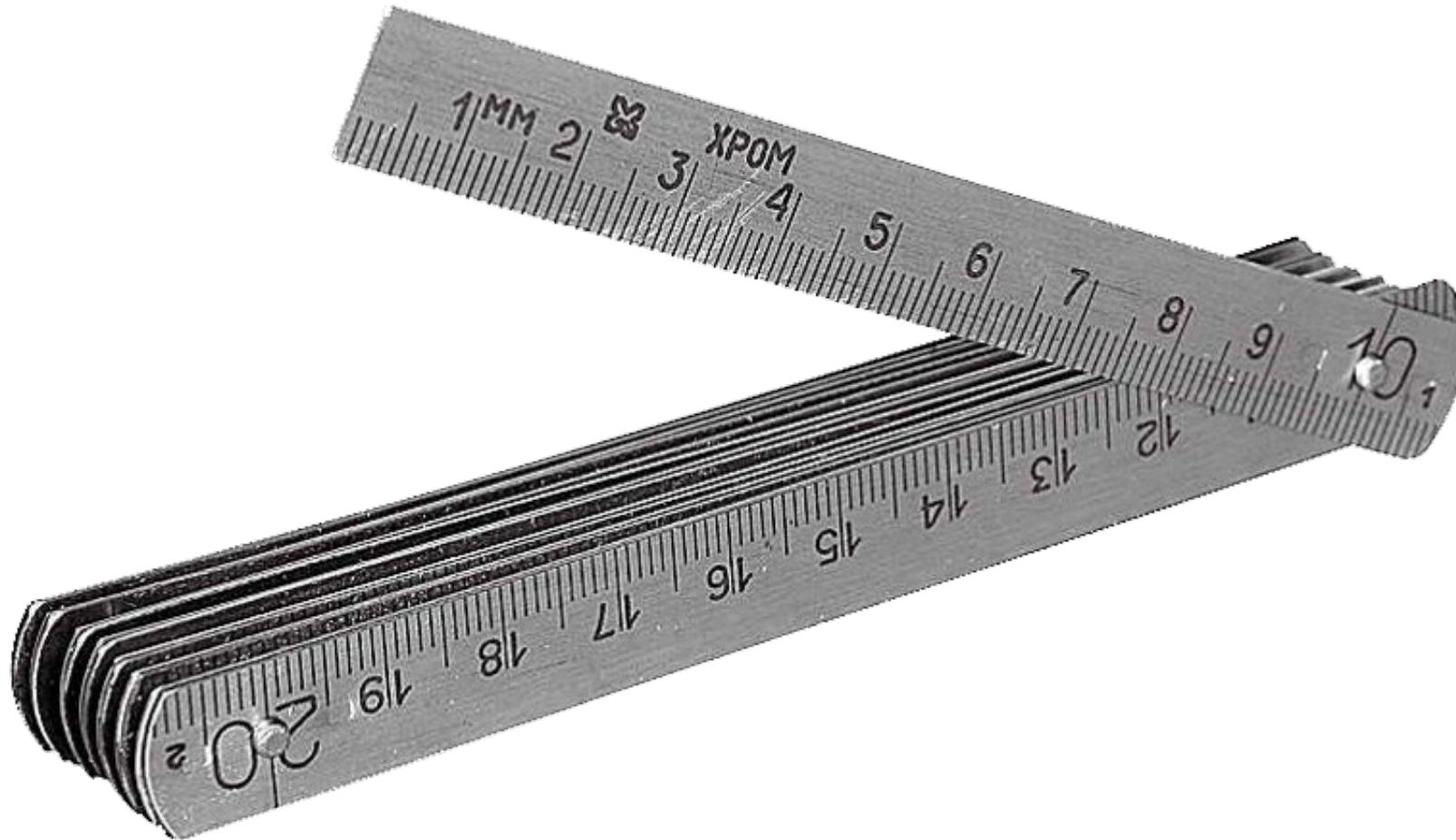


Складные металлические метры





Складные металлические метры





Штангенинструменты

Штангенинструменты представляют собой две измерительные губки, одна из которой связана с направляющей штангой, имеющей основную шкалу, а другая – с подвижной рамкой, несущей нониус.

К ним относятся:

- Штангенциркули;
- Штангенрейсмасы (штангенвысотомеры);
- Штангенглубиномеры;
- Штангензубомеры.



Штангенциркуль

ГОСТ 166–89 предусматривает изготовление и использование трёх типов штангенциркулей:

- **ШЦ-1** с ценой деления 0.1 мм,
- **ШЦ-2** с ценой деления 0.05 мм,
- **ШЦ-3** с ценой деления 0.05 и 0.1 мм.

Кроме того, на заводах применяют ранее изготовленные штангенциркули с ценой деления нониуса 0.02 мм, а также индикаторные штангенциркули с ценой деления индикатора 0.1; 0.05; 0.02 мм.

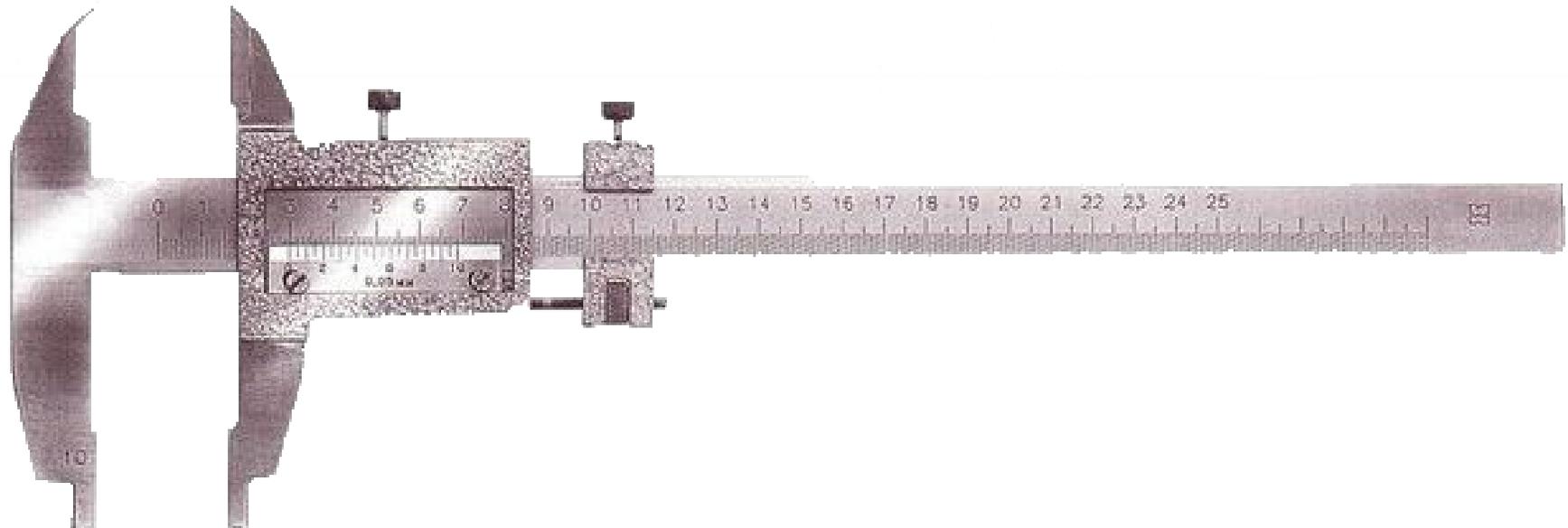
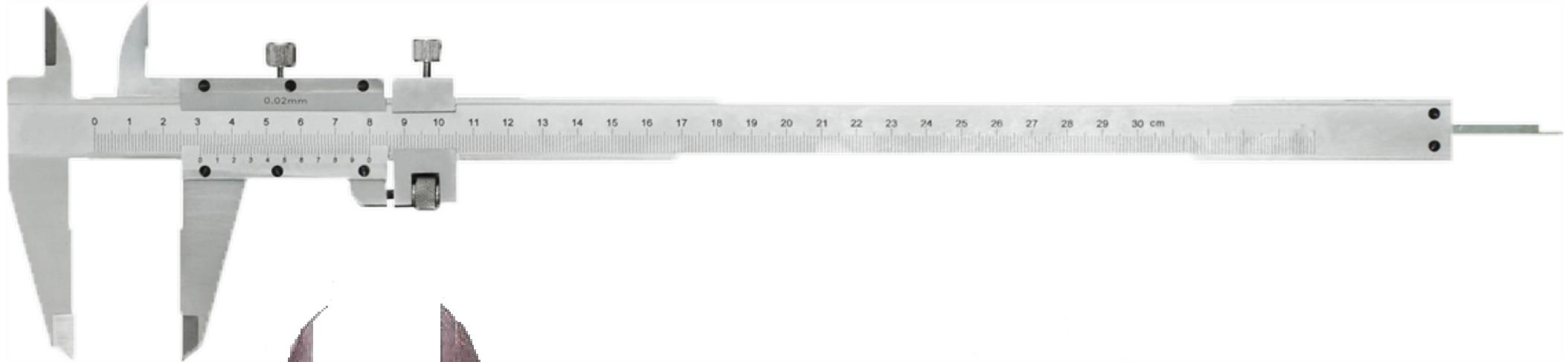


Штангенциркуль ШЦ-1



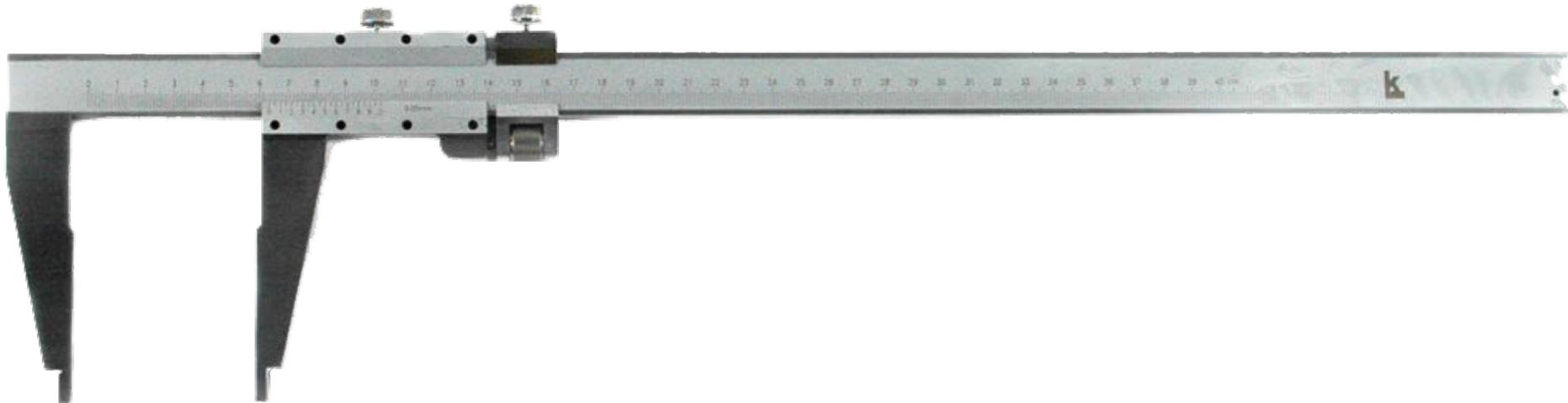


Штангенциркуль ШЦ-2





Штангенциркуль ШЦ-3





Штангенциркуль со стрелочным отсчётным устройством



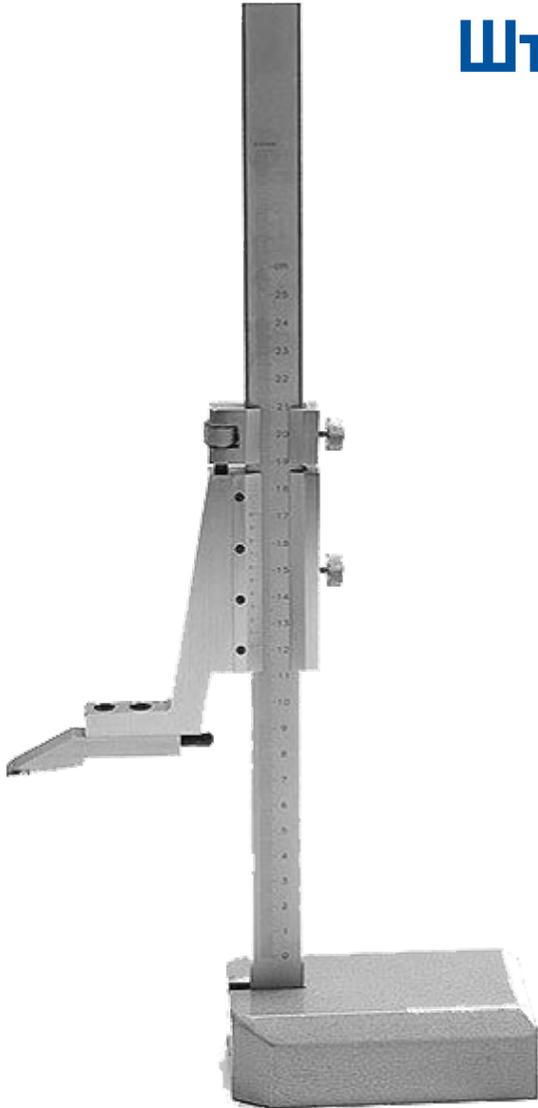


Штангенциркуль с цифровым отсчётным устройством





Штангенрейсмас (штангенвысотомер)





Штангенглубиномер





Микрометрические приборы

К ним относятся:

- Микрометр гладкий;
- Микрометр рычажный;
- Микрометр зубомерный;
- Нутромер;
- Глубиномер.



Микрометрический нутромер





Микрометрический глубиномер





Тензорезистивные преобразователи

Тензорезистивный преобразователь – проводник (или полупроводник), изменяющий своё сопротивление при деформации сжатия-растяжения.

Тензодатчик – измерительный преобразователь деформации твёрдого тела, вызываемой механическими напряжениями в электрический сигнал, предназначенный для последующей обработки.

Бывают металлические (проволочные, фольговые, плёночные) и полупроводниковые (пластинчатые).

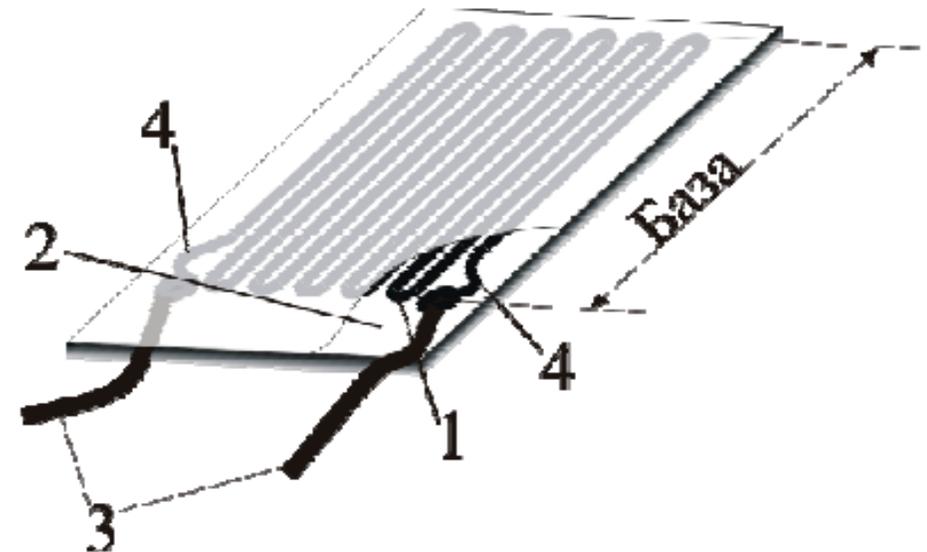
ГОСТ 21616-91 Тензорезисторы. Общие технические условия.



Проволочные тензорезисторы

Устройство **проволочного тензорезистора** показано на рисунке. Его решётка выполнена из зигзагообразно уложенной проволоки 1 диаметром 20...50 мкм, размещённой на бумажной или плёночной основе 2. Для предохранения от разрыва при деформации, проволока имеет петли 4.

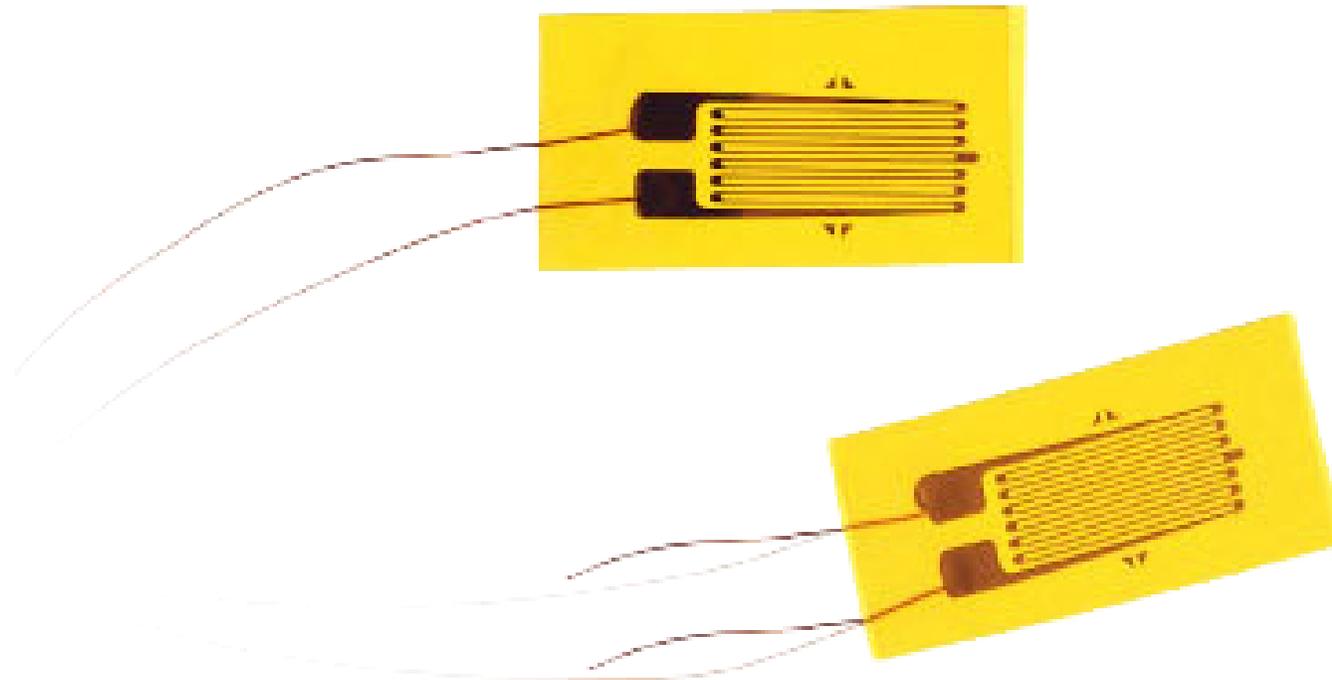
Подключение в измерительную схему осуществляется при помощи медных проводников 3 большего сечения, присоединённых к концам проволоки сваркой или пайкой. Для защиты от агрессивного воздействия окружающей среды константановая проволока покрывается лаком или заклеивается бумагой.





Тензорезистивные преобразователи

Наиболее часто используются преобразователи с базами 5...20 мм, обладающие сопротивлением 30...500 Ом. Минимальная погрешность проволочных резисторов может быть 0.1...0.2%.



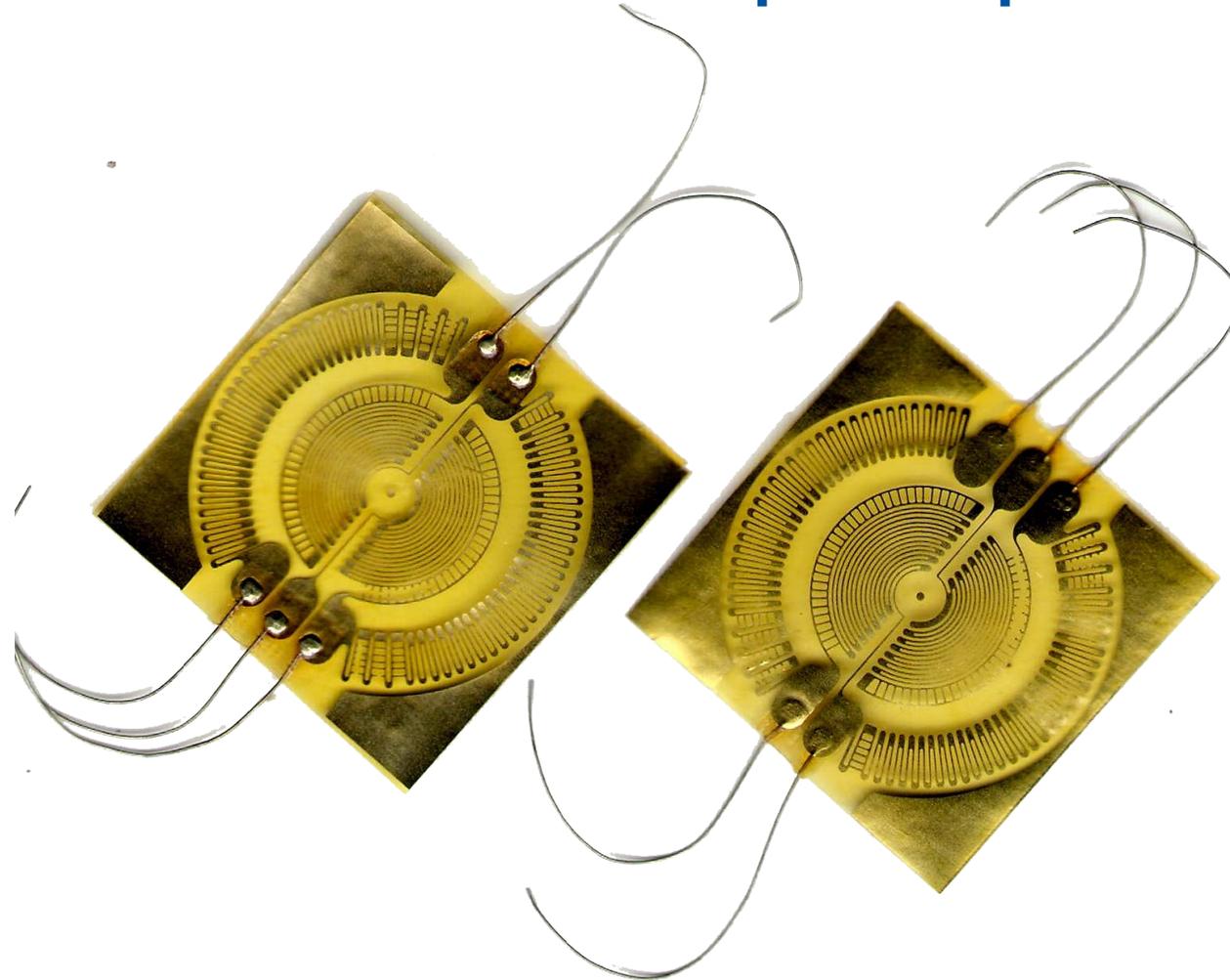


Фольговые тензорезисторы

Фольговые тензорезисторы представляют собой тонкую лаковую плёнку, на которую нанесена фольговая тензочувствительная решётка из константана толщиной 4...12 мкм. Решётка сверху покрыта лаком. Фольговые тензорезисторы нечувствительны к поперечной деформации вследствие малого сопротивления перемычек, соединяющих тензочувствительные элементы. При изготовлении таких преобразователей путём травления можно получить любой рисунок решётки, что является достоинством фольговых преобразователей.



Фольговые тензорезисторы





Плёночные тензорезисторы

Металлические **плёночные тензорезисторы** изготавливаются путём вакуумной возгонки тензочувствительного материала с последующим осаждением его на основу (подложку). Форма тензорезистора задаётся маской, через которую производится напыление. Плёночные тензорезисторы имеют толщину меньше 1 мкм.



Полупроводниковые тензорезисторы

Полупроводниковые тензорезисторы представляют собой пластинку монокристалла кремния или германия длиной 5...10 мм, шириной 0.2...0.8 мм, выращенную на тонкой мембране из диэлектрика (например, сапфира). К торцам пластинки приварены выводные проводники.



Пьезоэлектрические датчики

Пьезоэлектрические преобразователи выполняются из материалов, обладающих пьезоэлектрическими свойствами. Самые распространённые материалы: кварц, титанат бария, цирконат-титанат свинца.

Прямой пьезоэффект заключается в возникновении электрических зарядов на гранях пьезоэлектрика при воздействии на него механической силы, вызывающей механическое напряжение в материале. При устранении силы заряды исчезают.

Обратный пьезоэффект заключается в изменении геометрических размеров пьезоэлектрика при изменении в нём параметров электрического поля.



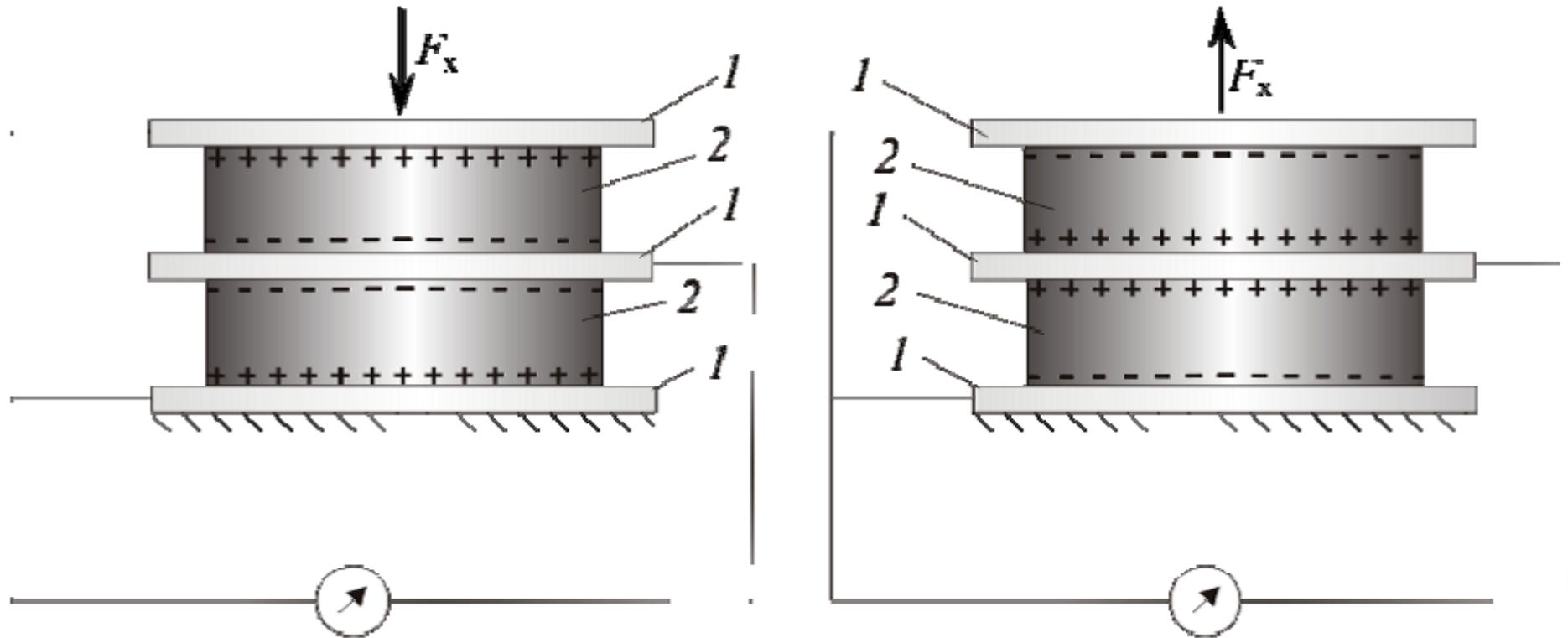
Пьезоэлектрические датчики

На пьезоматериалов изготавливают пьезоэлектрические первичные преобразователи и датчики. Они состоят из набора пластин, выполненных из этого материала, и применяются для измерения динамических сил, моментов, вибраций, толчков и т.п.

Недостатками являются хрупкость, необходимость применения усилителей, возможность изменения только динамических сил.



Пьезоэлектрические датчики





Пьезоэлектрические датчики





Магнитоупругий эффект

Эффект изменения магнитных свойств ферромагнитных материалов под влиянием механических деформаций называют **магнитоупругим эффектом**.

Существует и обратное явление: ферромагнитное тело, внесённое в магнитное поле, изменяет свои размеры, иначе говоря, внешнее магнитное поле вызывает механические деформации ферромагнитного тела. Изменение формы и размеров ферромагнитного тела при намагничивании носит название **магнитострикционного эффекта**.



Магнитоупругий эффект

Под численным значением магнитострикции понимают относительное изменение $\frac{\Delta l}{l} = \lambda$ длины l стержня, обусловленное воздействием внешнего магнитного поля.

Некоторые ферромагнитные тела имеют положительную магнитострикцию, то есть увеличивают размеры в направлении магнитного поля, некоторые – отрицательную, то есть тела уменьшают свои размеры в направлении магнитного поля.

Величина магнитострикции, а также её знак зависят от материала магнитной цепи, его термообработки, температуры и напряжённости магнитного поля.



Магнитоупругие датчики

Магнитоупругий датчик – это измерительный преобразователь механических усилий или давления в электрический сигнал.

Магнитоупругие преобразователи являются разновидностью электромагнитных преобразователей. Они основаны на явлении изменения магнитной проницаемости μ ферромагнитных тел в зависимости от возникающих в них механических напряжений σ , связанных с воздействием на ферромагнитные тела механических сил P (растягивающих, сжимающих, изгибающих, скручивающих).



Магнитострикционный датчик линейного перемещения





Магнестрикционный датчик линейного положения





Средства измерения массы

Весы – прибор для измерения массы.

Измерение массы основано на использовании Закона Всемирного Тяготения, согласно которому гравитационное поле Земли притягивает массу с силой, пропорциональной этой массе.



Классификация весов

По виду уравновешивающего устройства:

- механические;
- электронномеханические;
- электронные.

ГОСТ OIML R 76-1-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания



Классификация весов

Механические весы в зависимости от принципа действия:

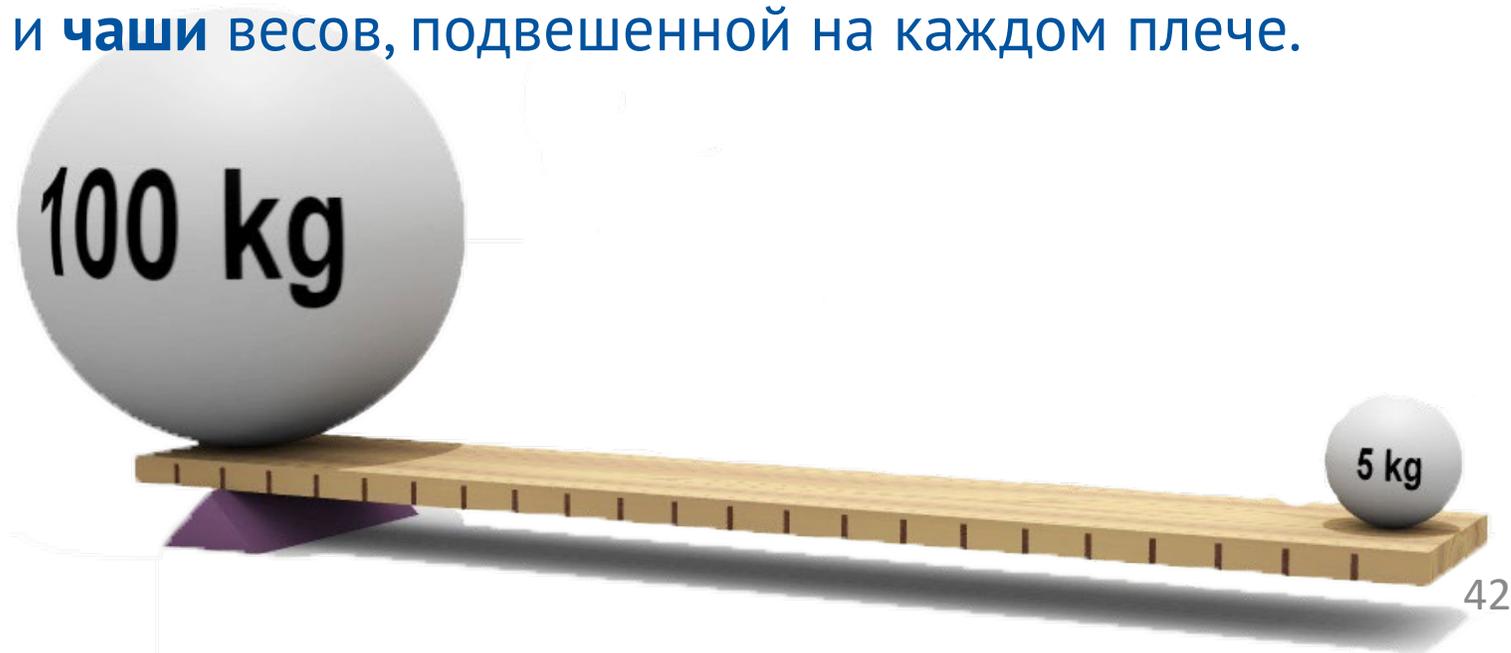
- рычажные;
- пружинные;
- пневматические;
- гидравлические;
- гидростатические.



Рычажные весы

Рычаг – простейшее механическое устройство, представляющее собой твёрдое тело, вращающееся вокруг точки опоры. Стороны перекладины по бокам от точки опоры называются **плечами** рычага.

Рычажные весы состоят из горизонтального **рычага** с двумя плечами, называемыми **балками**, и **чаши** весов, подвешенной на каждом плече.





Рычажные весы

Могут быть:

- **Равноплечные** – точки подвеса грузов и точка опоры образуют равнобедренный треугольник (коромысло) с вершиной в точке опоры. При нулевой высоте треугольника коромысло из треугольника превращается в прямую линию.
- **Разноплечные**
со скользящей гирей (**пуаз**).

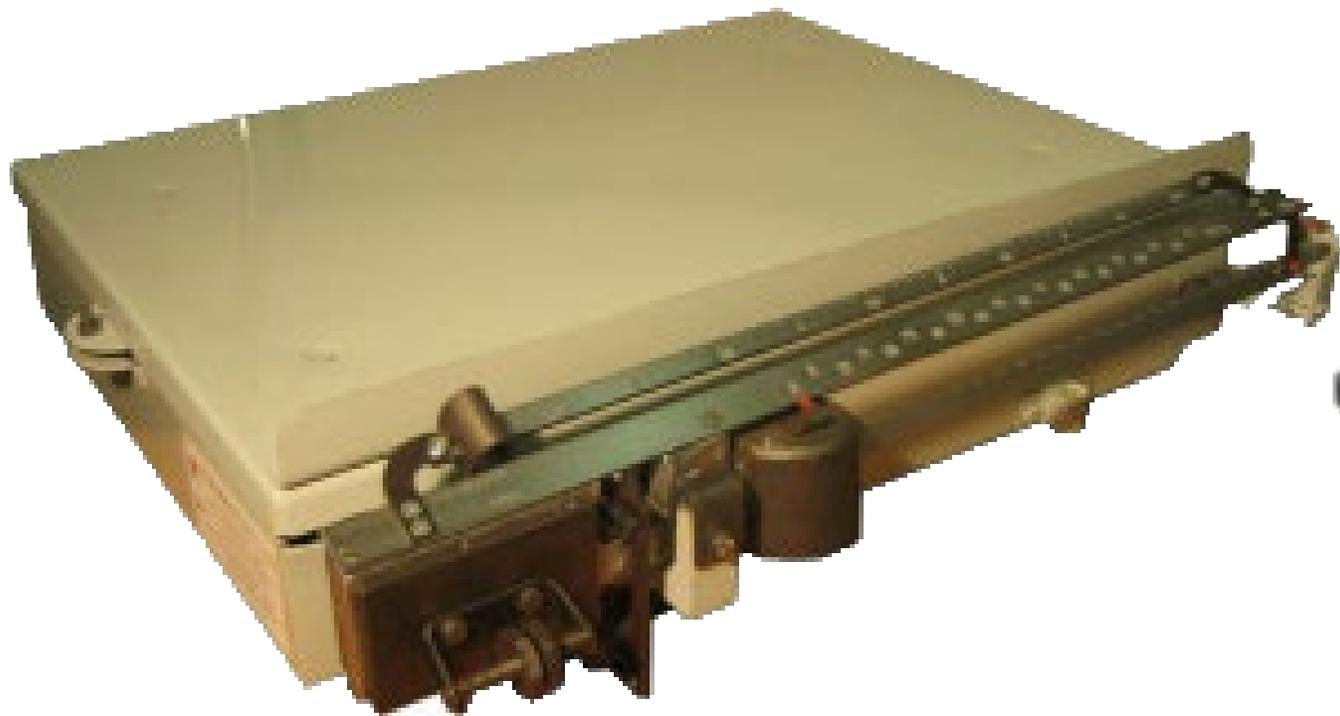


Рычажные весы





Рычажные весы





Рычажные весы





Пружинные весы

Представляют собой достаточно жёсткую пружину, которая помещается в корпус со шкалой. К пружине прикрепляется стрелка.

Удлинение или сжатие пружины описывается **законом Гука**.

Закон Гука: деформация, возникающая в упругом теле (пружине, стержне, балке и т. п.), пропорциональна приложенной к этому телу силе:

$$F = k\Delta l.$$

Δl – абсолютное удлинение (сжатие) стержня, а k – коэффициент упругости (или жёсткости).

Коэффициент упругости зависит как от свойств материала, так и от размеров стержня.



Пружинные весы





Пружинные весы





Пружинные весы





Пневматические и гидравлические весы

Пневматические весы — весы с уравнивающим устройством в виде преобразователя силы тяжести в пневматический сигнал.

Гидравлические весы — весы с уравнивающим устройством в виде преобразователя силы тяжести в гидравлический сигнал.

Отсчёт показаний производится по манометру, градуированному в единицах массы.



Гидростатические весы

Гидростатическое взвешивание — метод определения плотности, использующий закон Архимеда.

Закон Архимеда: на тело, погружённое в жидкость (или газ), действует выталкивающая сила, равная весу жидкости (или газа) в объёме тела. Эта сила называется **силой Архимеда**.

Определение плотности методом гидростатического взвешивания осуществляют по результатам двух измерений массы исследуемого предмета. Сначала в воздухе, затем в жидкости, с известной плотностью.

Обычно в качестве жидкости используют дистиллированную воду.



Гидростатические весы





Электронные весы

Принцип действия основан на измерении силы, воздействующей на первичный датчик, посредством преобразования этого воздействия в пропорциональный выходной электрический сигнал.

Различают три типа датчиков, применяемых сегодня в весовом оборудовании:

- вибродатотные (струнные);
- пьезокварцевые;
- тензометрические.



Электронные весы

Виброчастотный (струнный) – действие основано на изменении частоты натянутой металлической струны, установленной на упругом элементе, в зависимости от величины силы, приложенной к нему.

Недостаток: Влияние внешних факторов (влажность, температура, атмосферное давление, вибрации) на точность измерения.

Достоинство: относительно недорогая стоимость.



Электронные весы

Пьезокварцевый – датчик действует по принципу изменения частоты кварцевого кристалла, механически связанного с упругим элементом, под воздействием приложенной к нему силы.

Недостаток: Влияние внешних факторов (влажность, температура, атмосферное давление, вибрации) на параметры кристалла.

Достоинство: относительно недорогая стоимость.



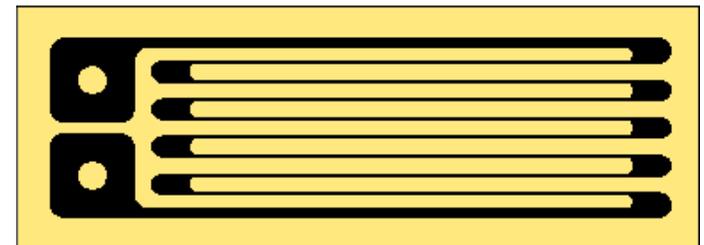
Электронные весы

Тензометрический – основан на принципе преобразования деформации их упругих элементов в изменение величины электрического сопротивления.

В качестве таких элементов используются специальные устройства, а роль преобразователя выполняет спираль высокой чувствительности, производимая из специальных сплавов (пример – константан). Спираль крепится к упругому элементу на том участке, где наблюдается максимально выраженная деформация.

$$R = 150 \text{ Ом}$$

Достоинство: высокая точность и надёжность.





Электронные весы





Электронные весы





Электронные весы





Классы точности весов

Метрологические свойства и характеристики весов определяются согласно **ГОСТ Р 53228-2008 Весы неавтоматического действия.**

Класс точности	Обозначение, наносимое на весы	Обозначение, применяемое в документации
Специальный		I
Высокий		II
Средний		III
Обычный		IIII