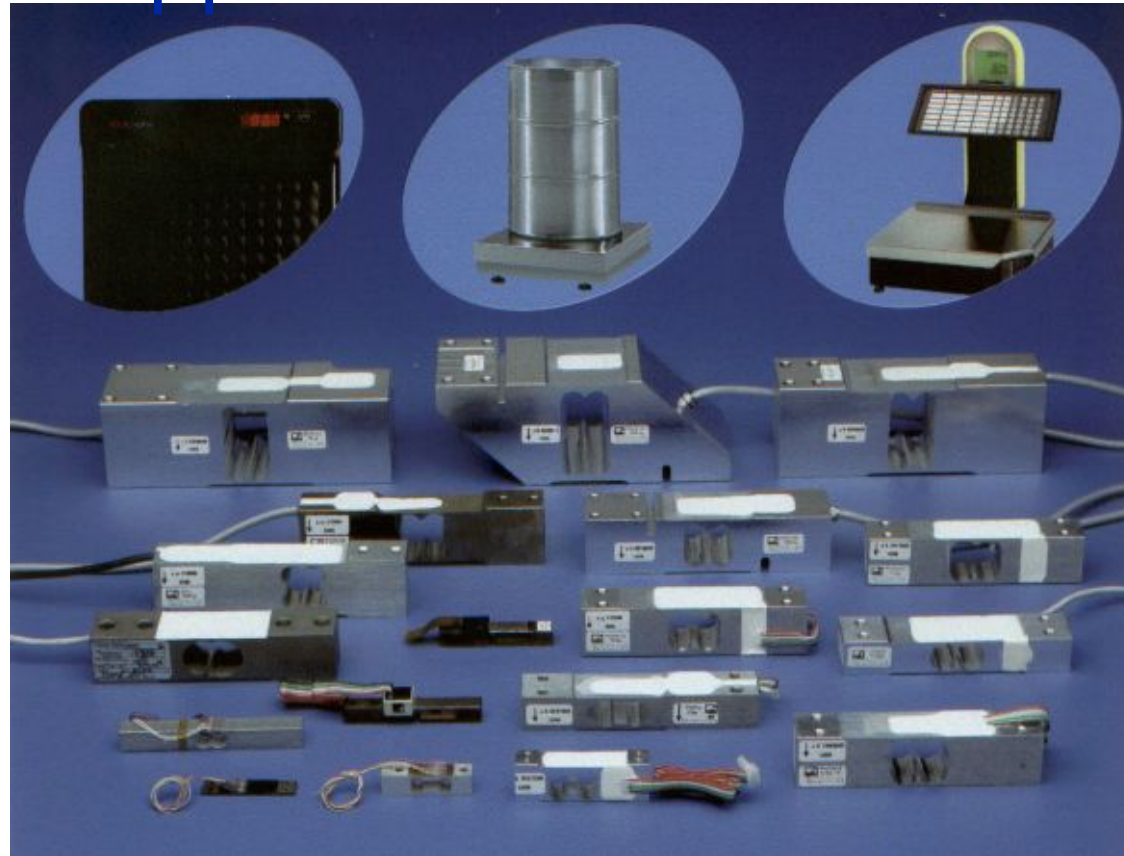


# Что такое «тензометрические датчики веса»?



И как они работают?

# Почему мы используем тензорезисторы?

Меньше деталей = Дешевле

Меньше движущихся частей = Выше надёжность

Возможность применения для больших нагрузок

Большое количество вариаций

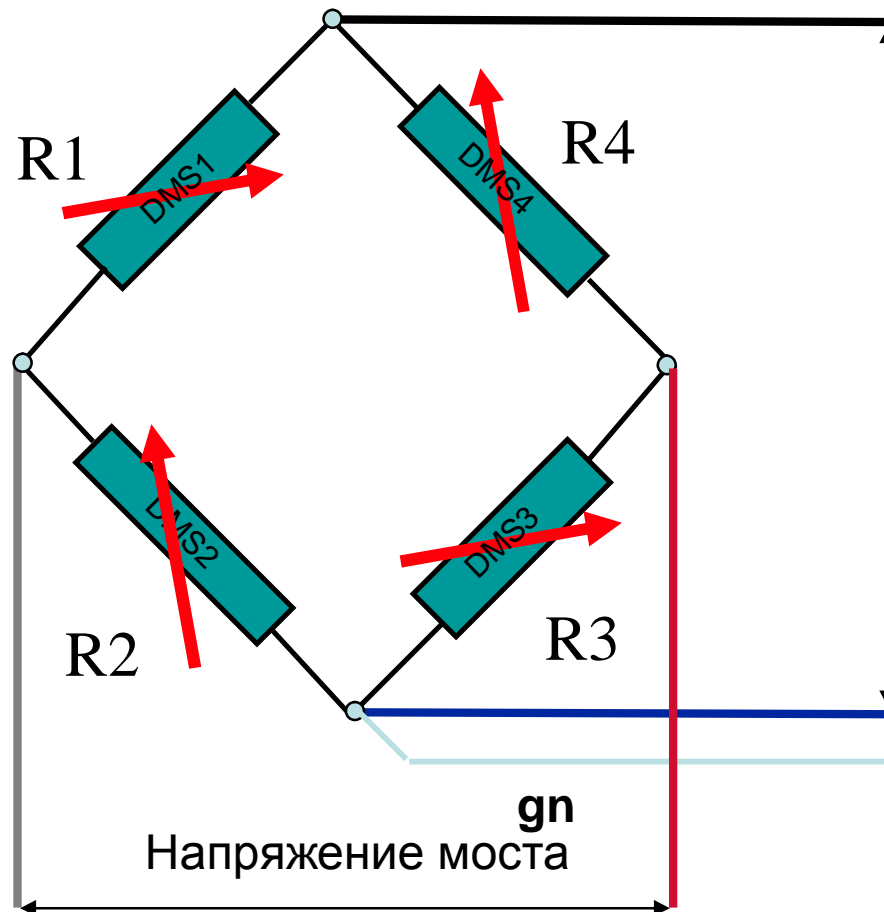
# Тензорезисторный датчик веса состоит из трёх компонентов

1. Тензорезистор

2. Упругий элемент

3. Кабель

# Wheatstone мост



Напряжение питания

**1843 Charles  
Wheatstone  
изобрёл  
'Wheatstone Bridge'**

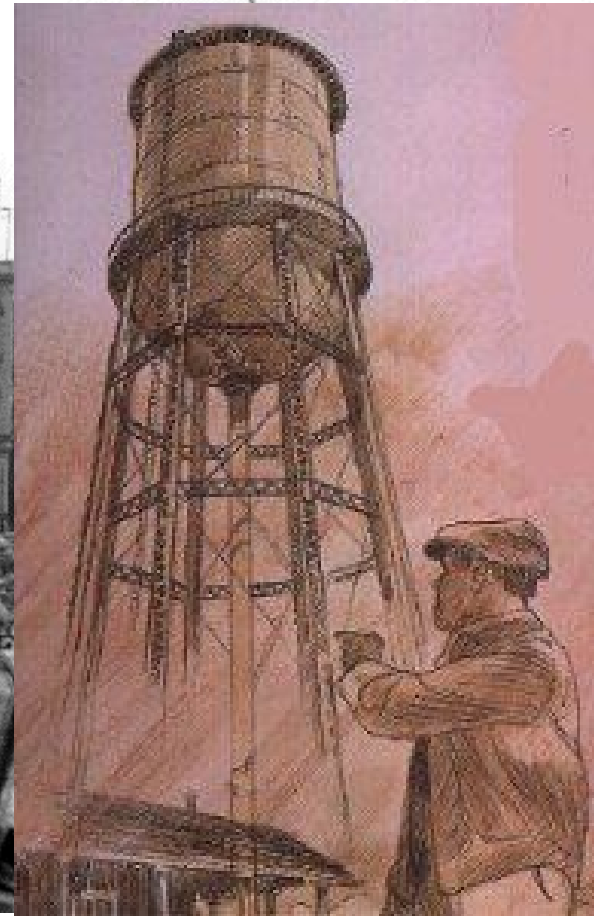
# История создания тензорезисторов

**1843 Charles Wheatstone изобрёл 'Wheatstone Bridge'**

**1938 Arthur C Rouge задумался о применении тензорезисторов...**

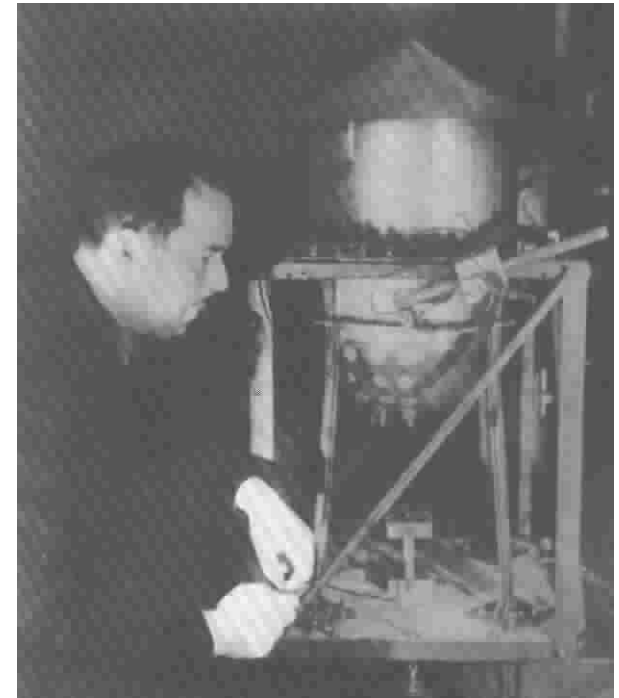
**В результате .....**

# San Francisco 1909



# Rouge's Strain Sensor

- Проблема 1:
- Как построить устойчивую к землетрясениям водонапорную башню?
- Проблема 2:
- Как измерить динамическую нагрузку?

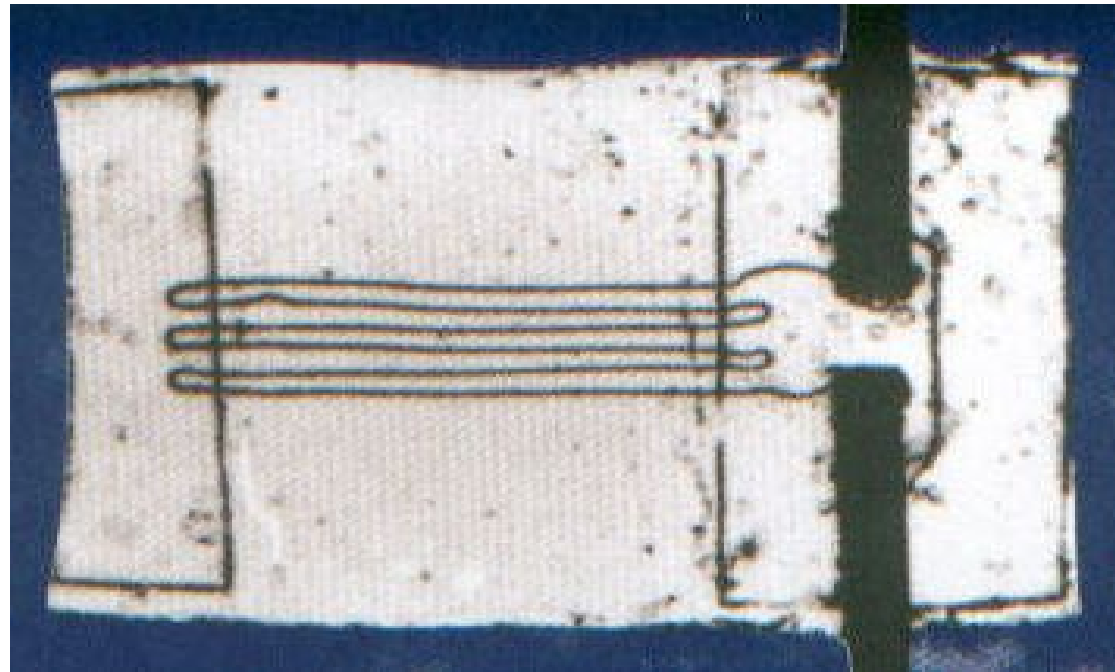


Arthur Claude Rouge

# Rouge's Тензорезистор

Он взял очень тонкий провод, придал ему извилистую форму и наклеил его на китайскую шёлковую бумагу, затем на модель

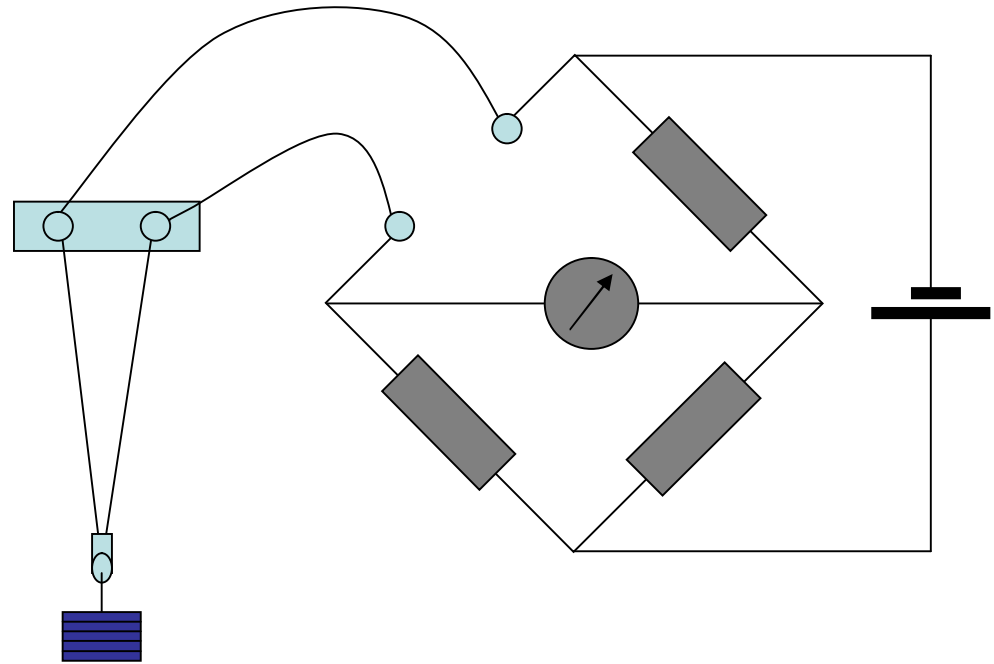
Первый константановый  
проволочный тензорезистор





## История создания тензорезисторов

Хорошее  
соотношение  
между  
напряжением и  
изменением  
сопротивления



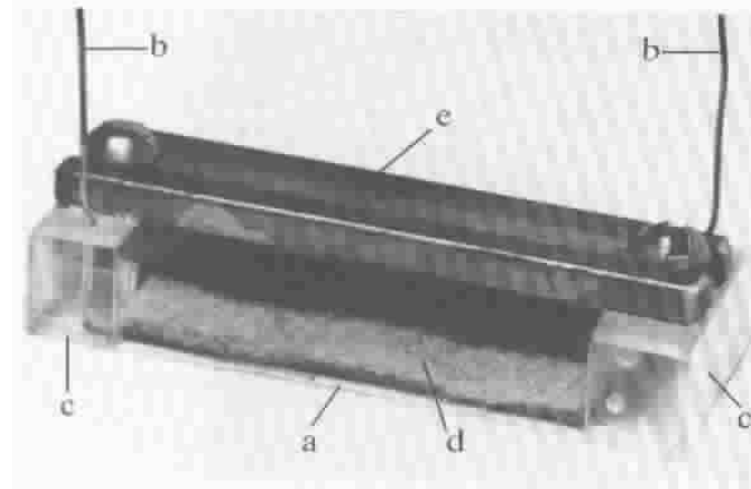
# Rouge's Тензорезистор

- Успешно разработал новую конструкцию водонапорной башни
- Предложил законченный вариант тензорезистора для патентования
- Предложение было отклонено с формулировкой:

***“Мы не видим коммерческой ценности данного устройства”!***

Rouge разрабатывает промышленный образец  
Karl Hottinger обучался с Rouge в это время по теории и дизайну

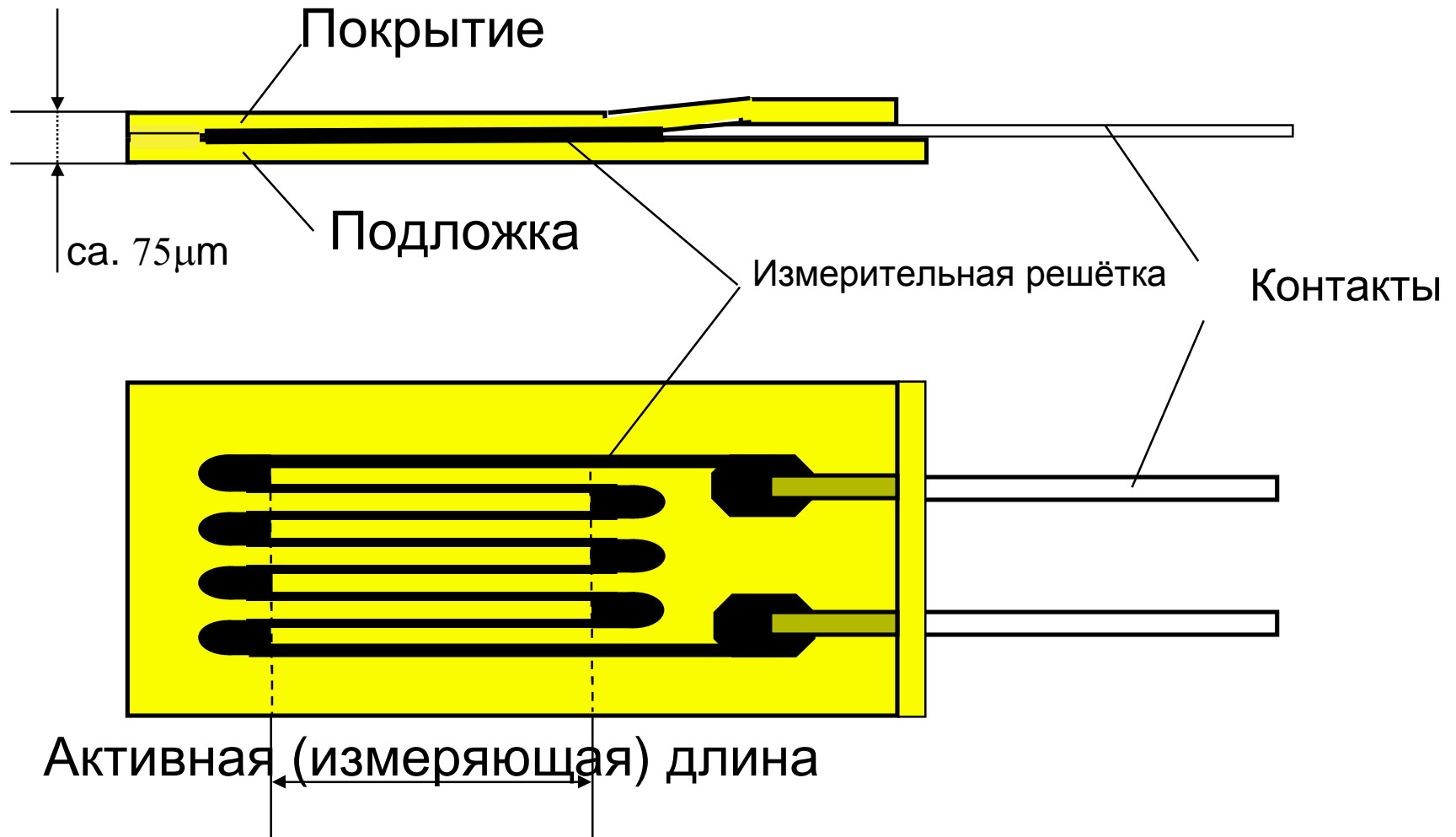
Первый промышленный тензорезистор Rouge's



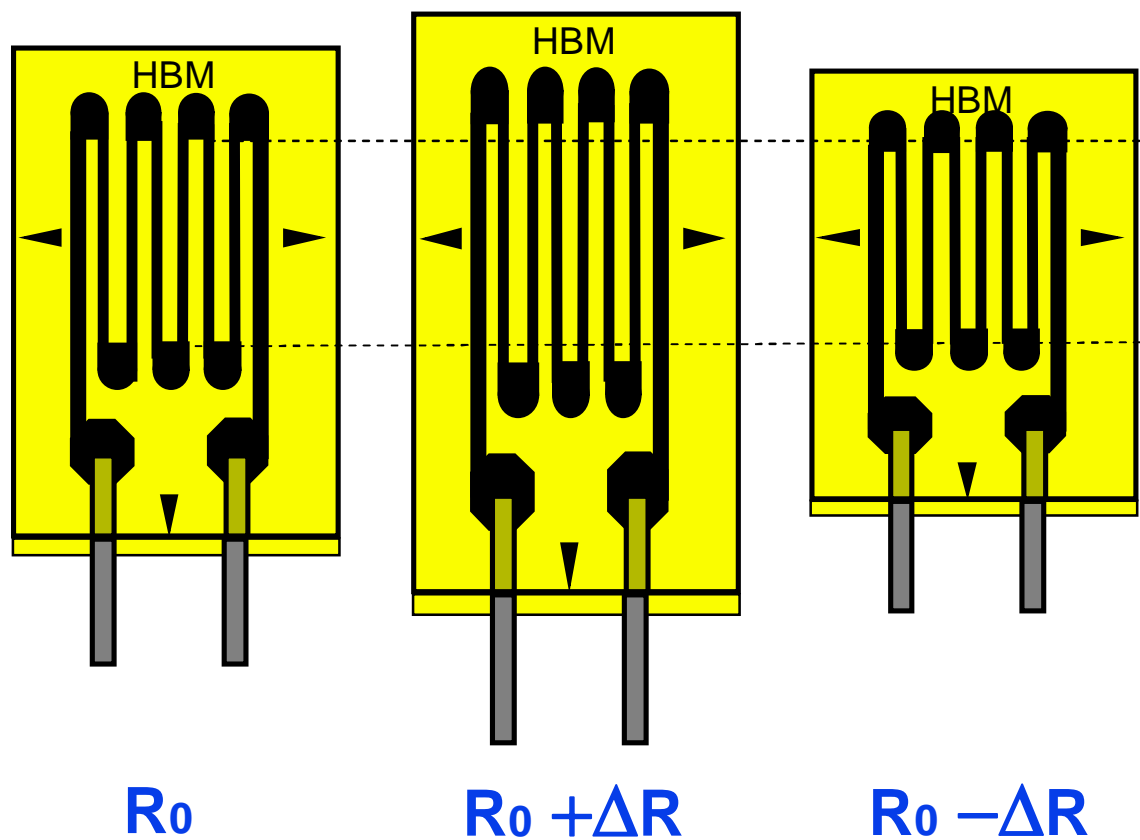
- a measuring grid bonded to paper with cellulose lacquer
- b connecting wires
- c insulating supports
- d felt cover for protecting the measuring grid
- e temporary bracket which is removed after application



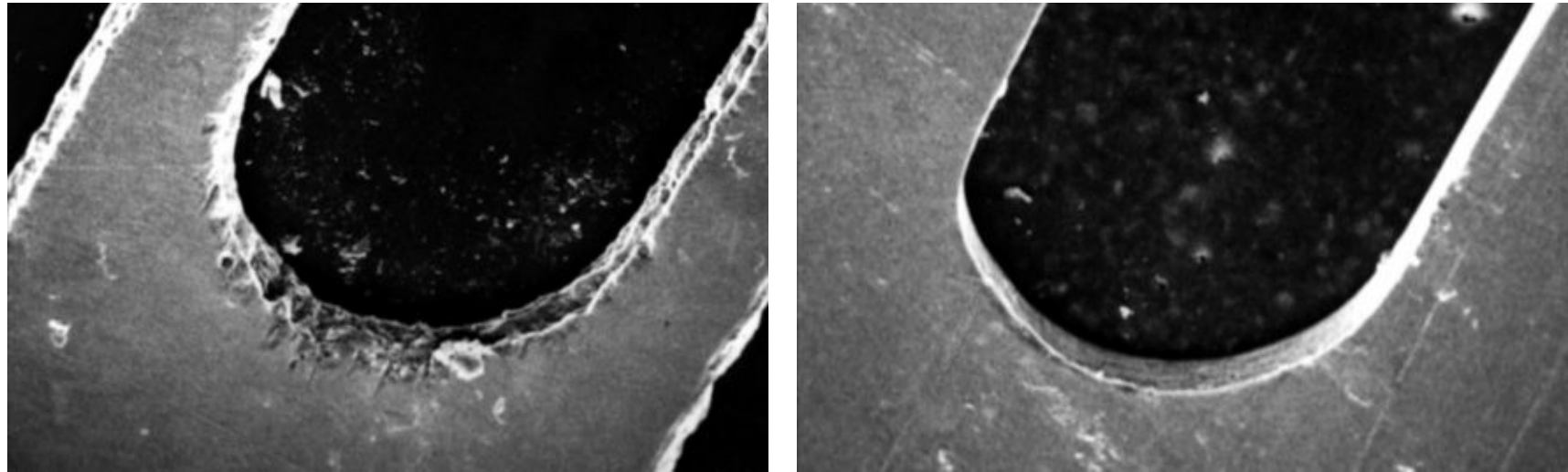
# Структура тензорезистора



# Как он работает?



# Что такое качество тензорезистора?



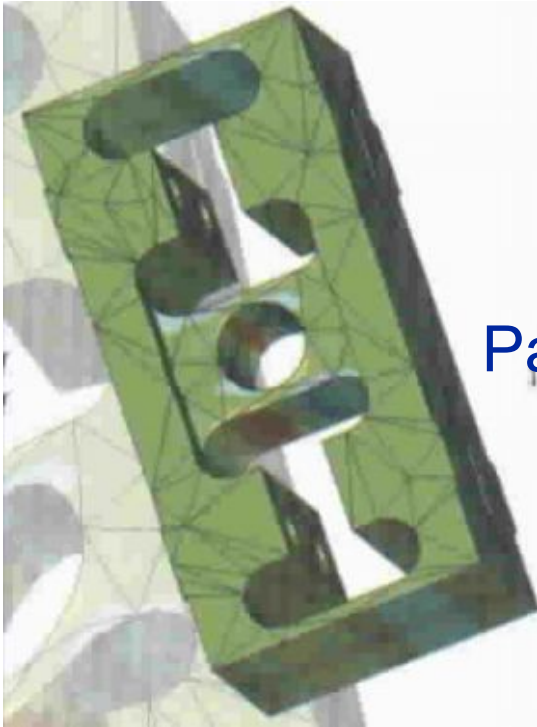
10,000x фото сделано электронным микроскопом

Хороший тензорезистор способен  
определить изменение длины размером  
0.0000000015 м

или

1% диаметра атома гелия!!

# Упругий элемент



Размер и форма определяются:

Нагрузкой и точностью



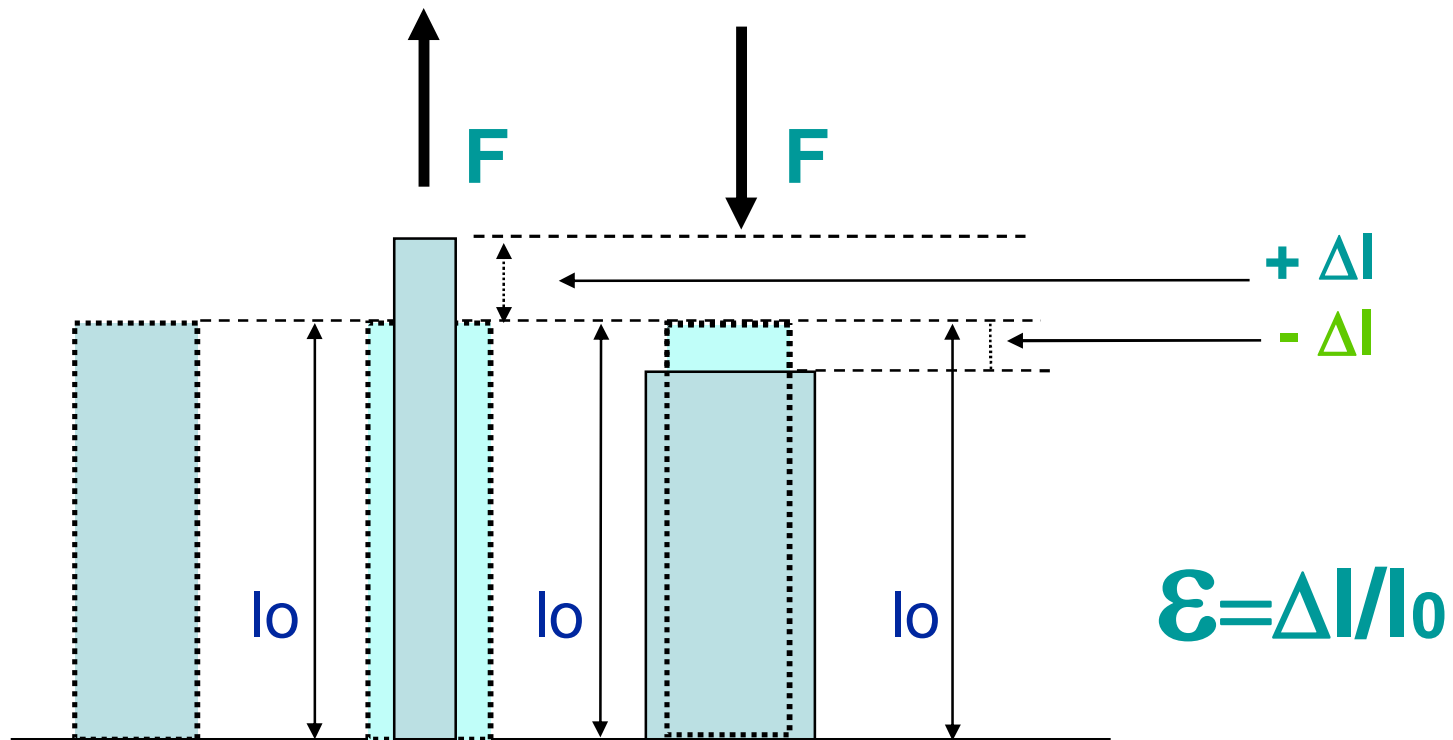
Применение: сжатие, растяжение или изгиб

Конструкция весов

Алюминий или нержавеющая сталь

## Выбор тензодатчика

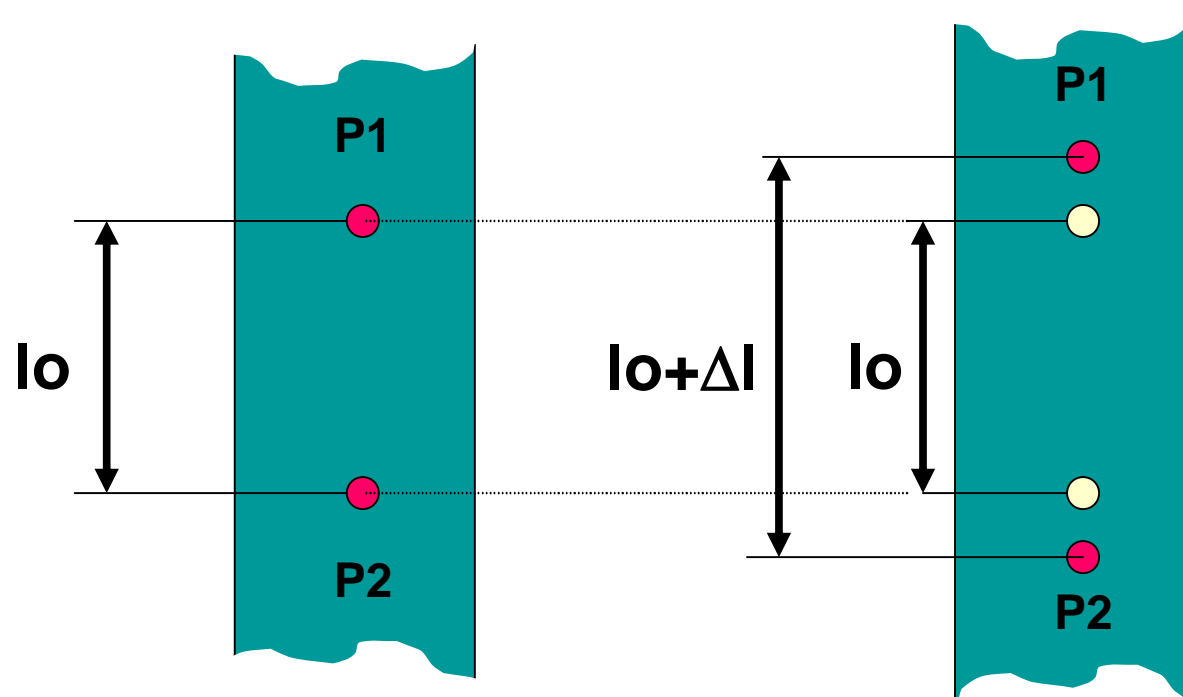
# Принцип действия (механический)





# Влияние растяжения

Изменение материала



$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

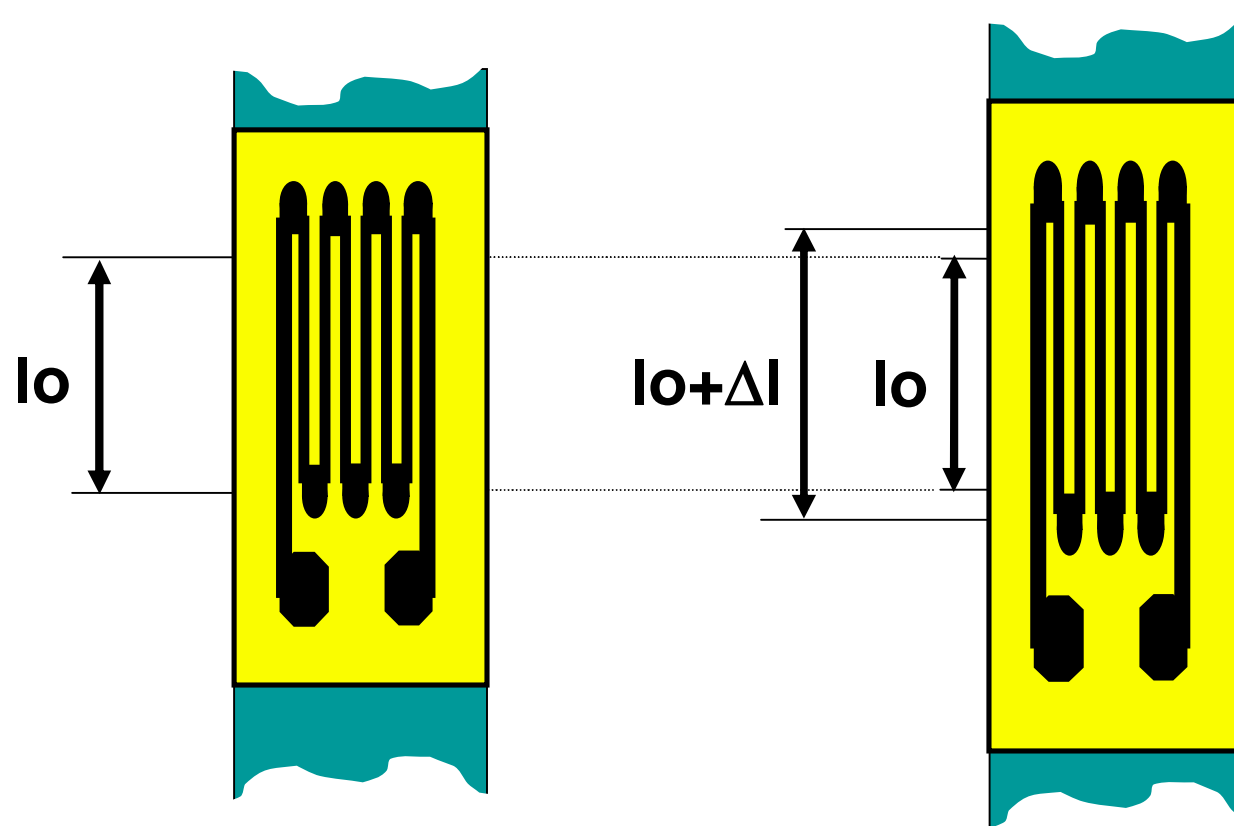
Единицы - ‰

лучше: mm/m или μm/m

**Причины:**

- Механические нагрузки
- Температурные изменения

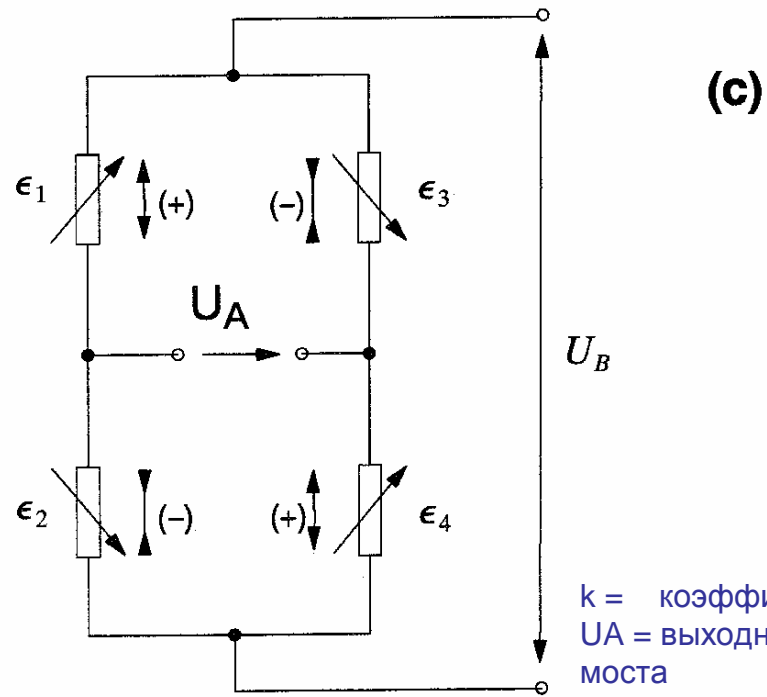
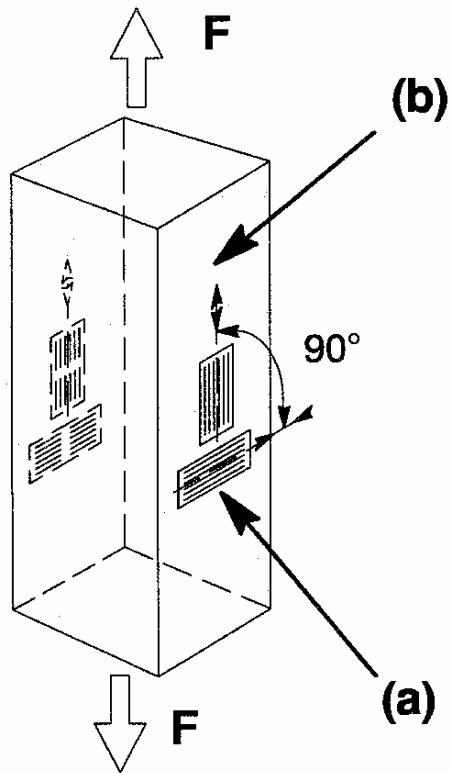
## Механические основы



$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta R/R_0}{k}$$

# Выбор датчиков веса



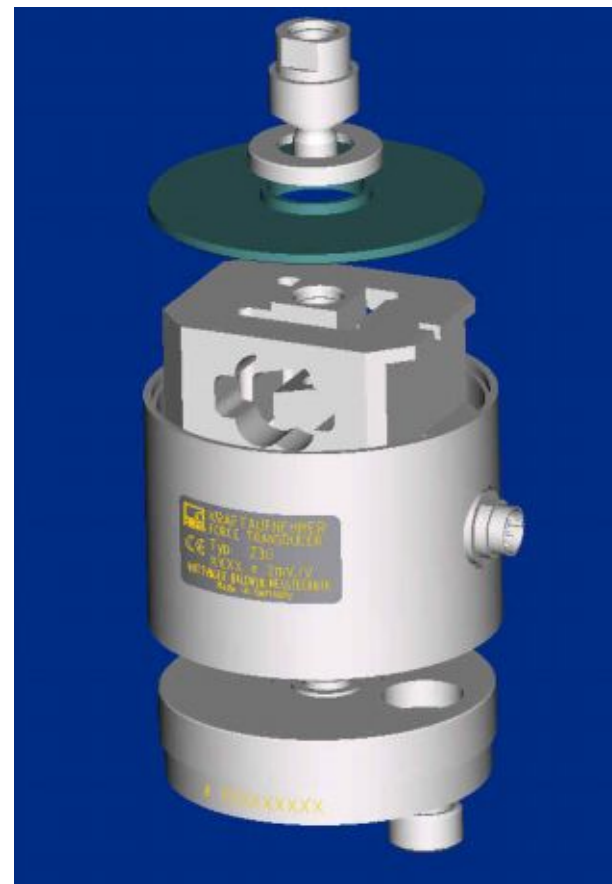
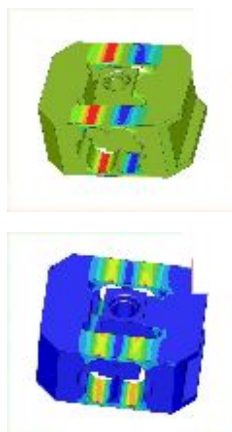
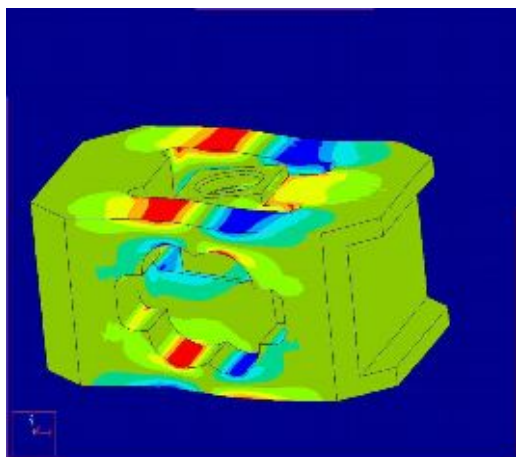
$k$  = коэффициент  
 $U_A$  = выходное напряжение моста  
 $U_B$  = входное напряжение моста

$$\frac{U_A}{U_B} = \frac{k}{4} \cdot (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4)$$

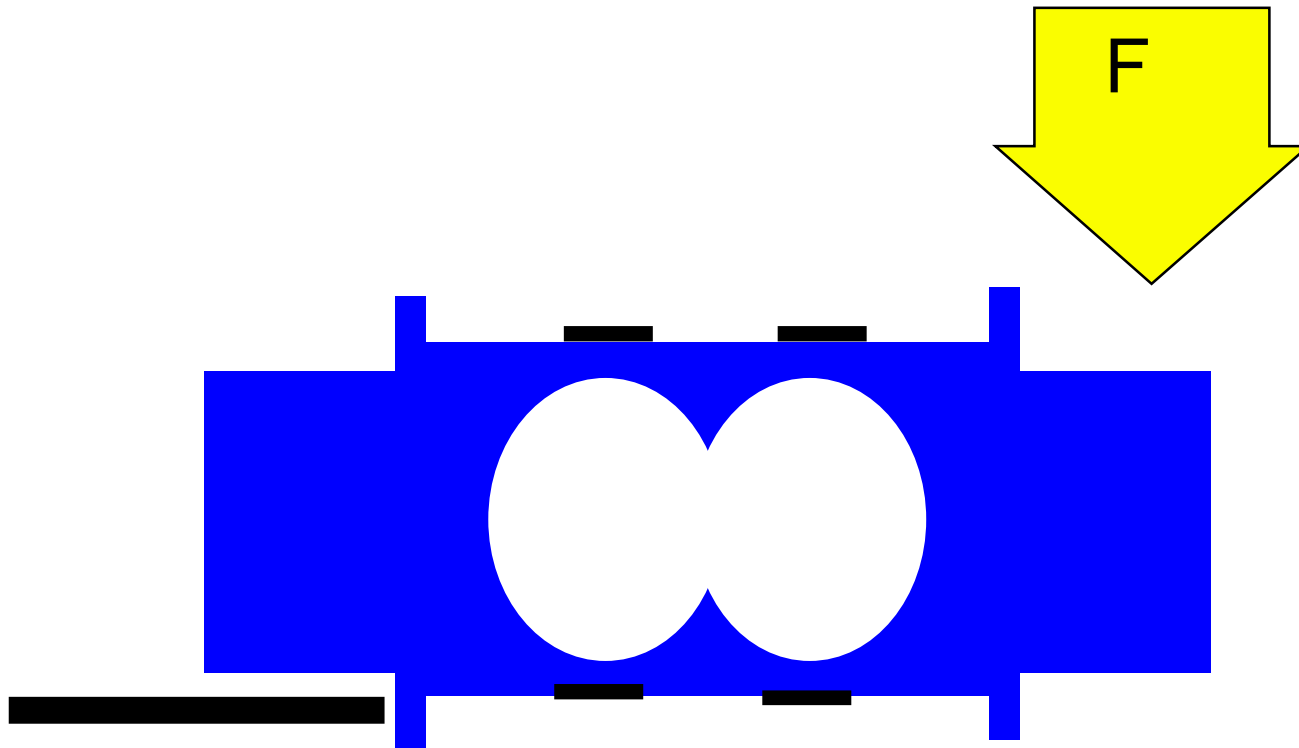
$k$  = DMS-spezifische Angabe  
 $U_A$  = Brückenausgangsspannung  
 $U_B$  = Brückenspeisespannung

## Внутреннее устройство датчика веса

В основе конструкции упругий элемент (балка изгиба) с вертикальным центральным приложением силы и оптимизированными участками растяжений

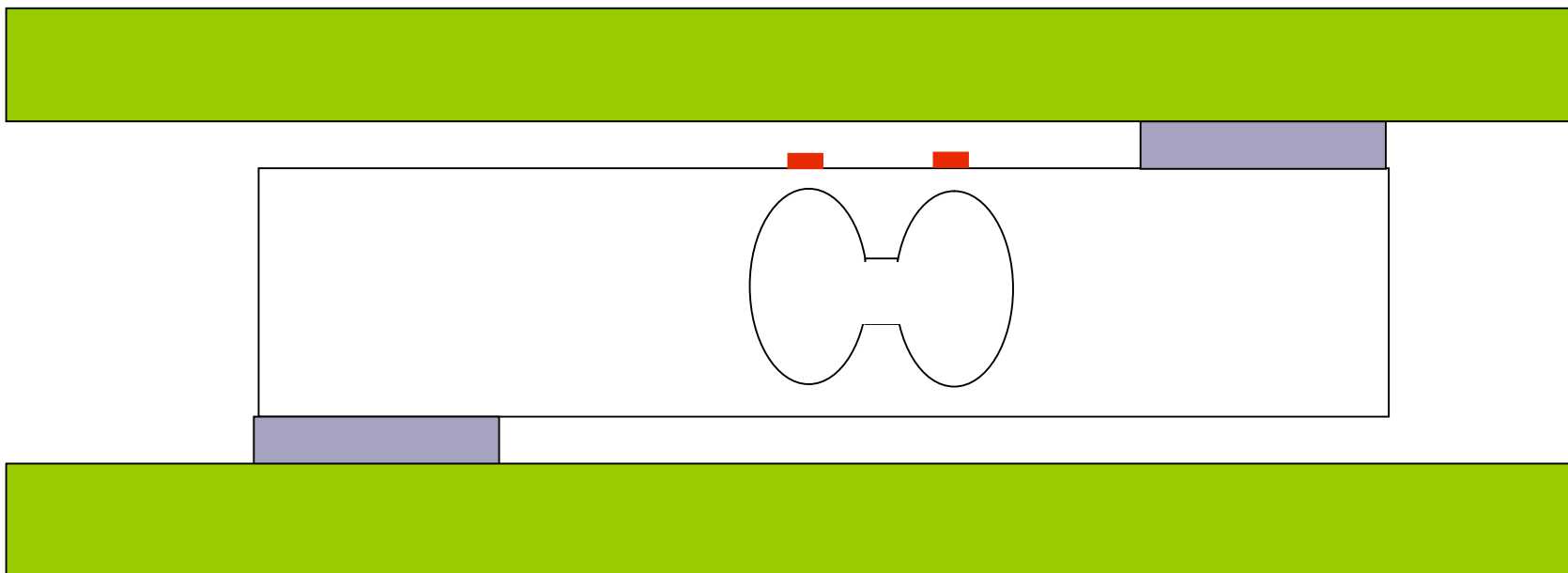


# Двойная балка изгиба



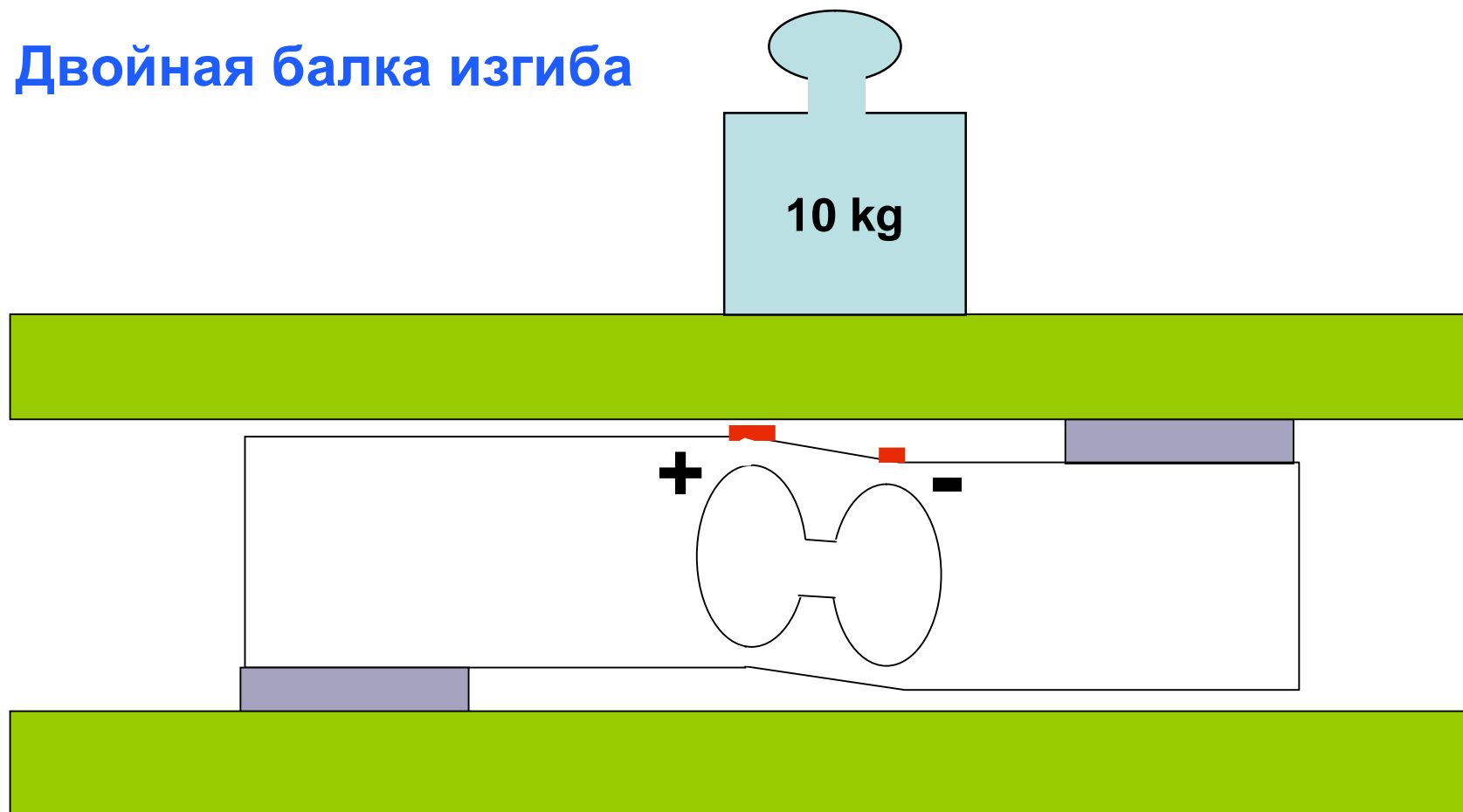
# Как работает датчик веса

## Двойная балка изгиба

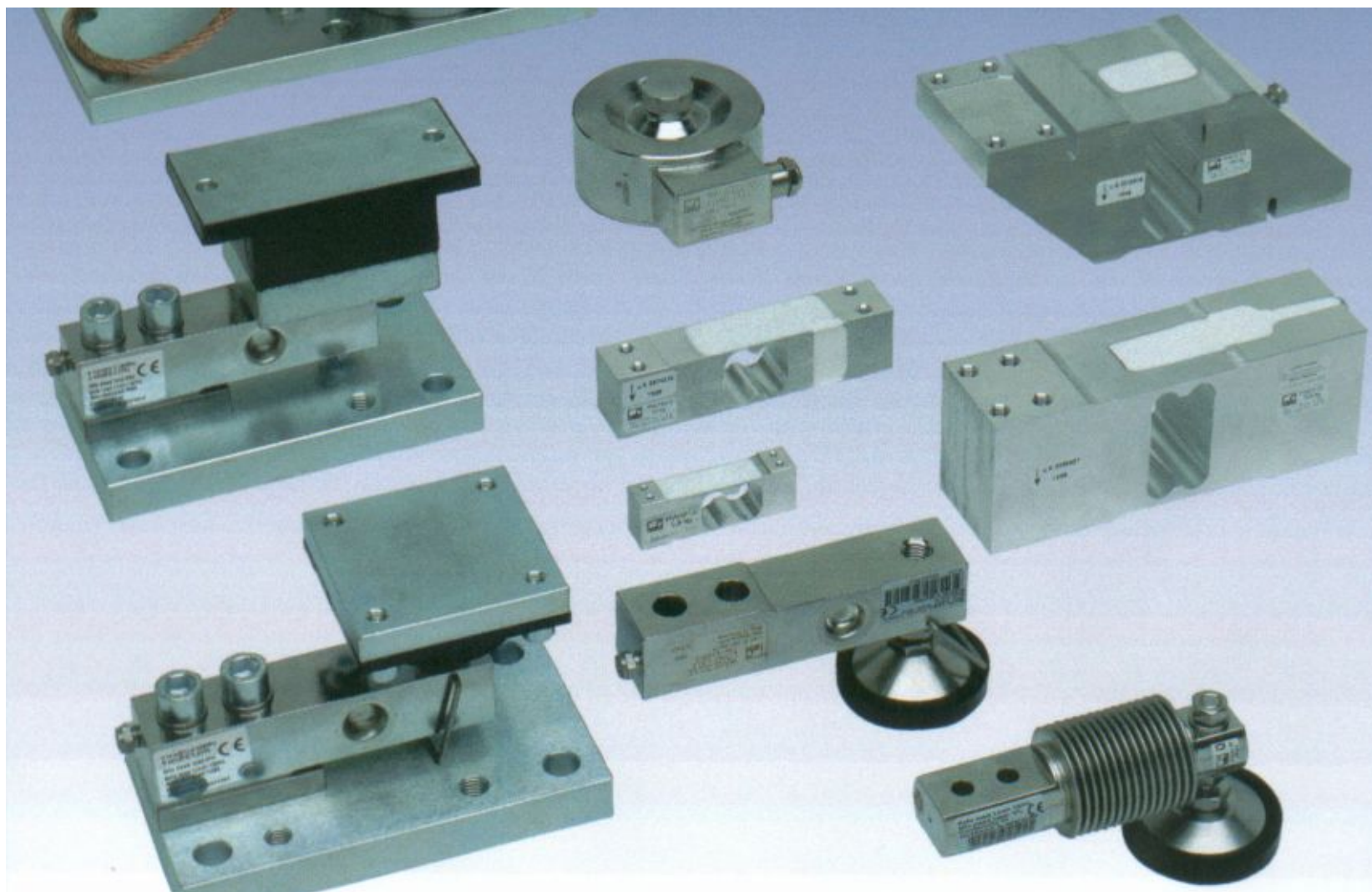


# Как работает датчик веса

Двойная балка изгиба

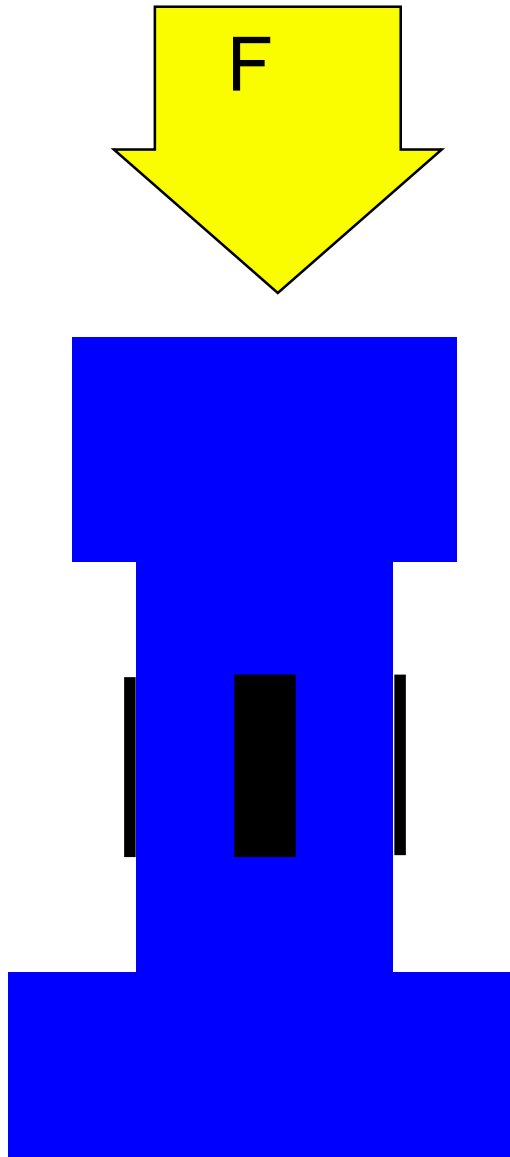


# Датчики веса балочного типа

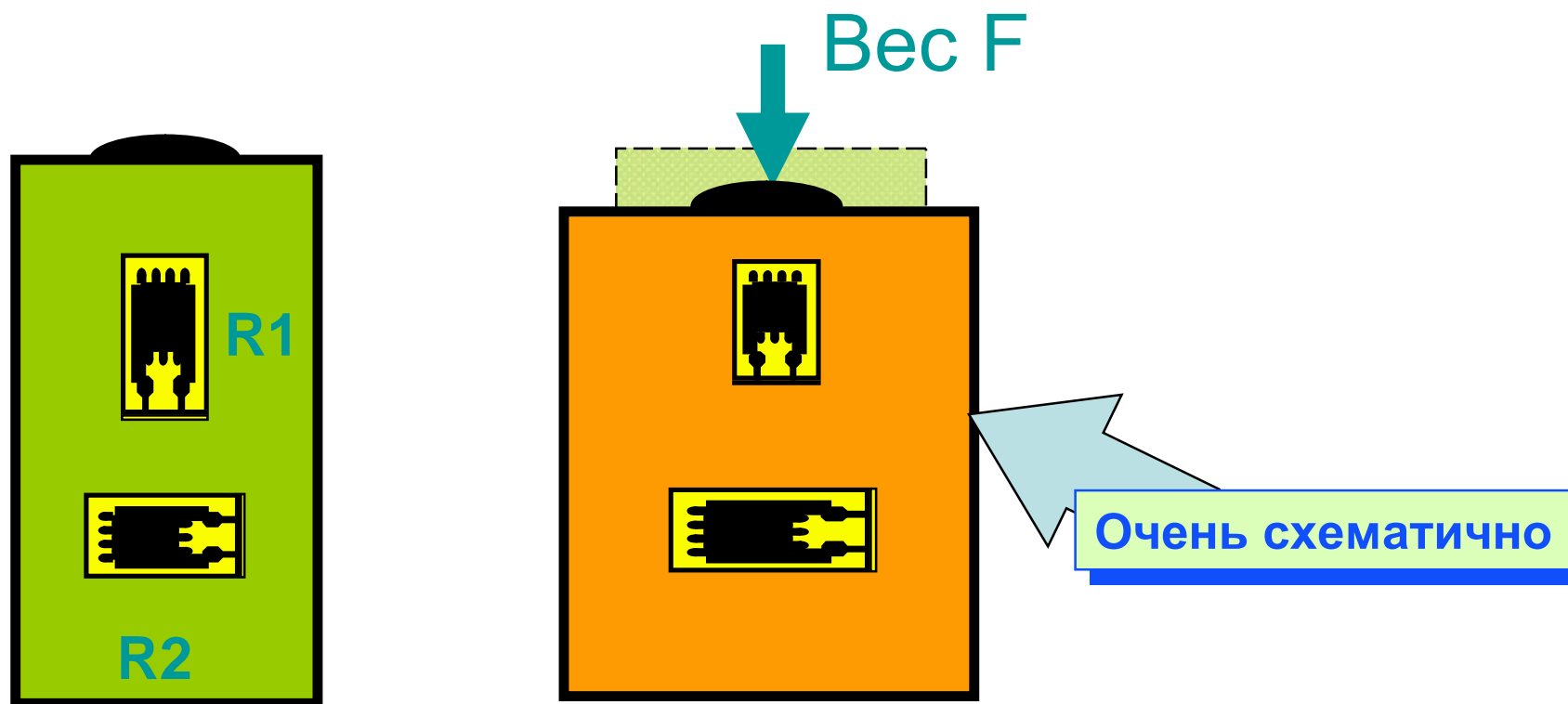




# Упругий элемент большой номинальной нагрузки



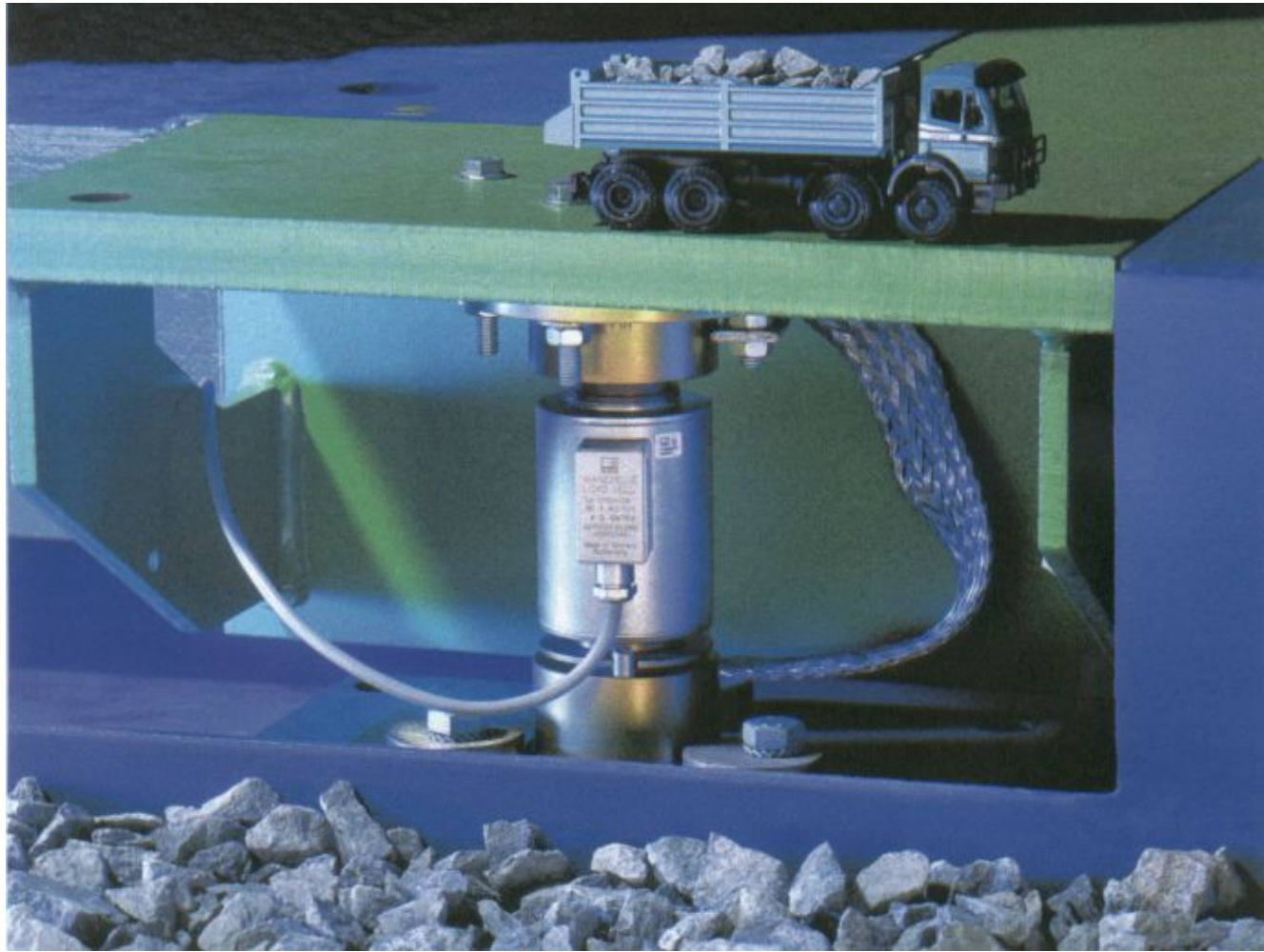
## Действие веса да датчик



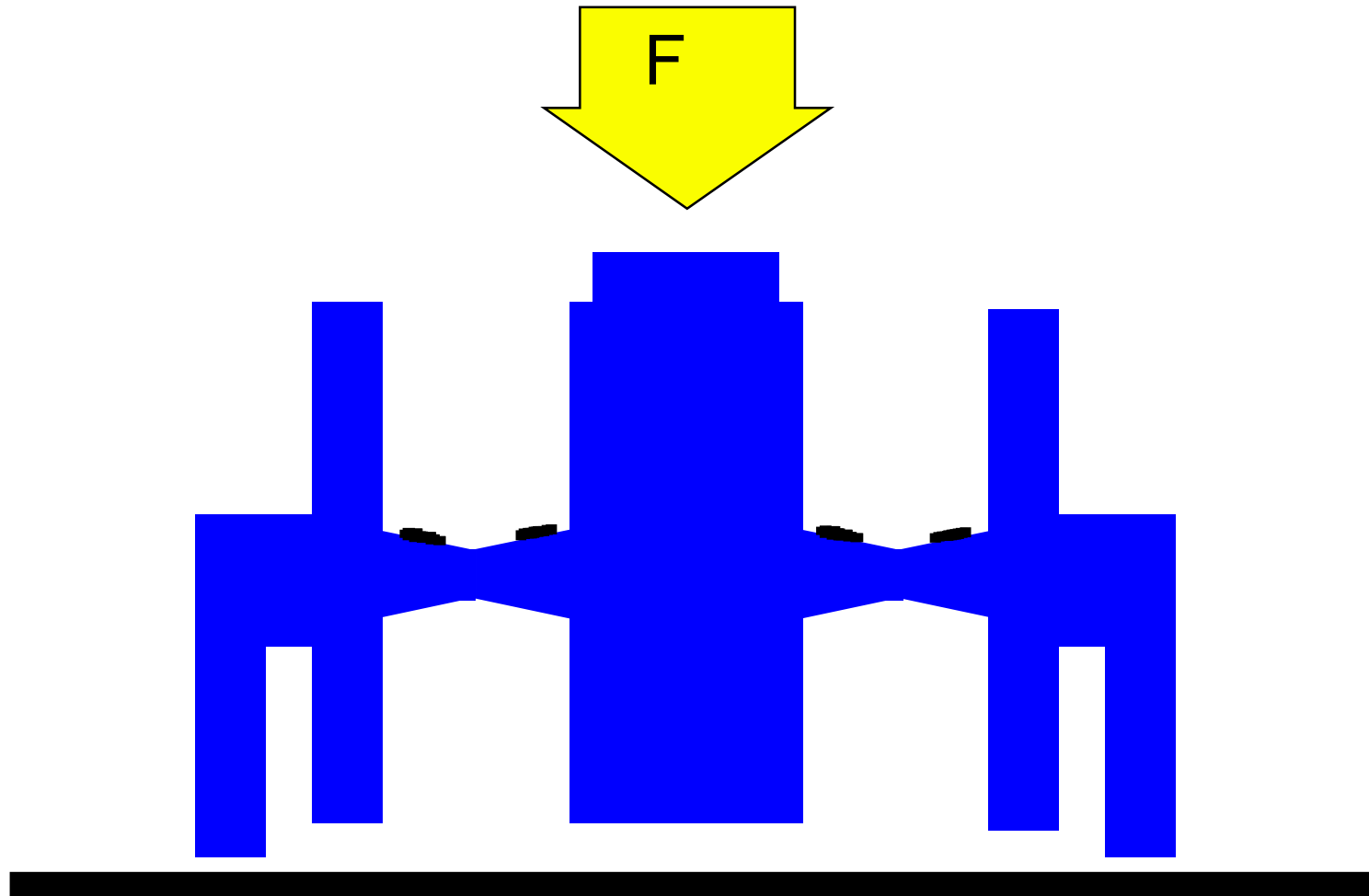
Ненагруженный

нагруженный

# Сжатие



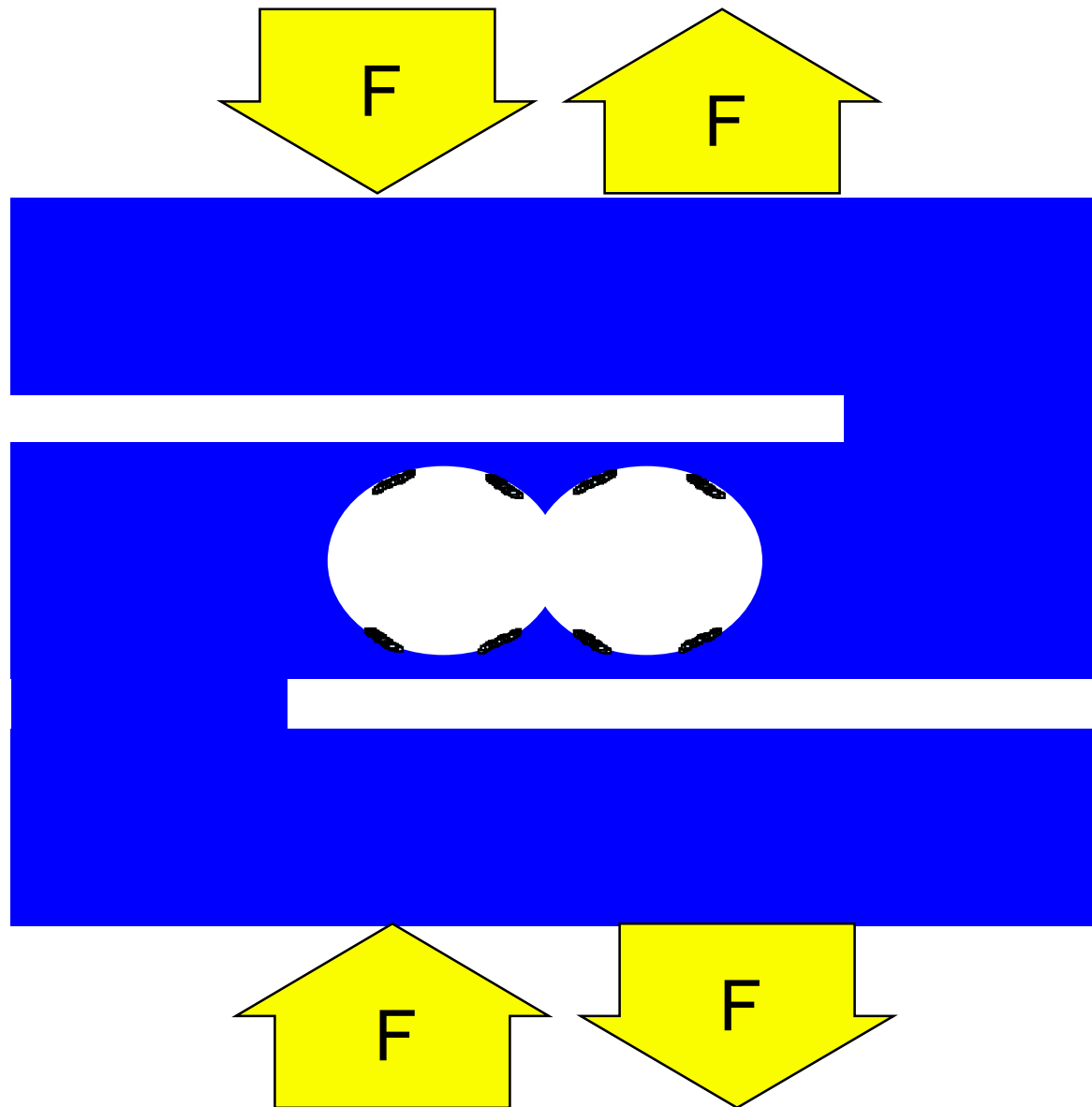
# Упругий элемент – кольцо скручивания



Упругий элемент (кольцо скручивания) больших  
номинальных нагрузок



Упругий элемент типа S (сжатие/растяжение)



# Упругий элемент типа S

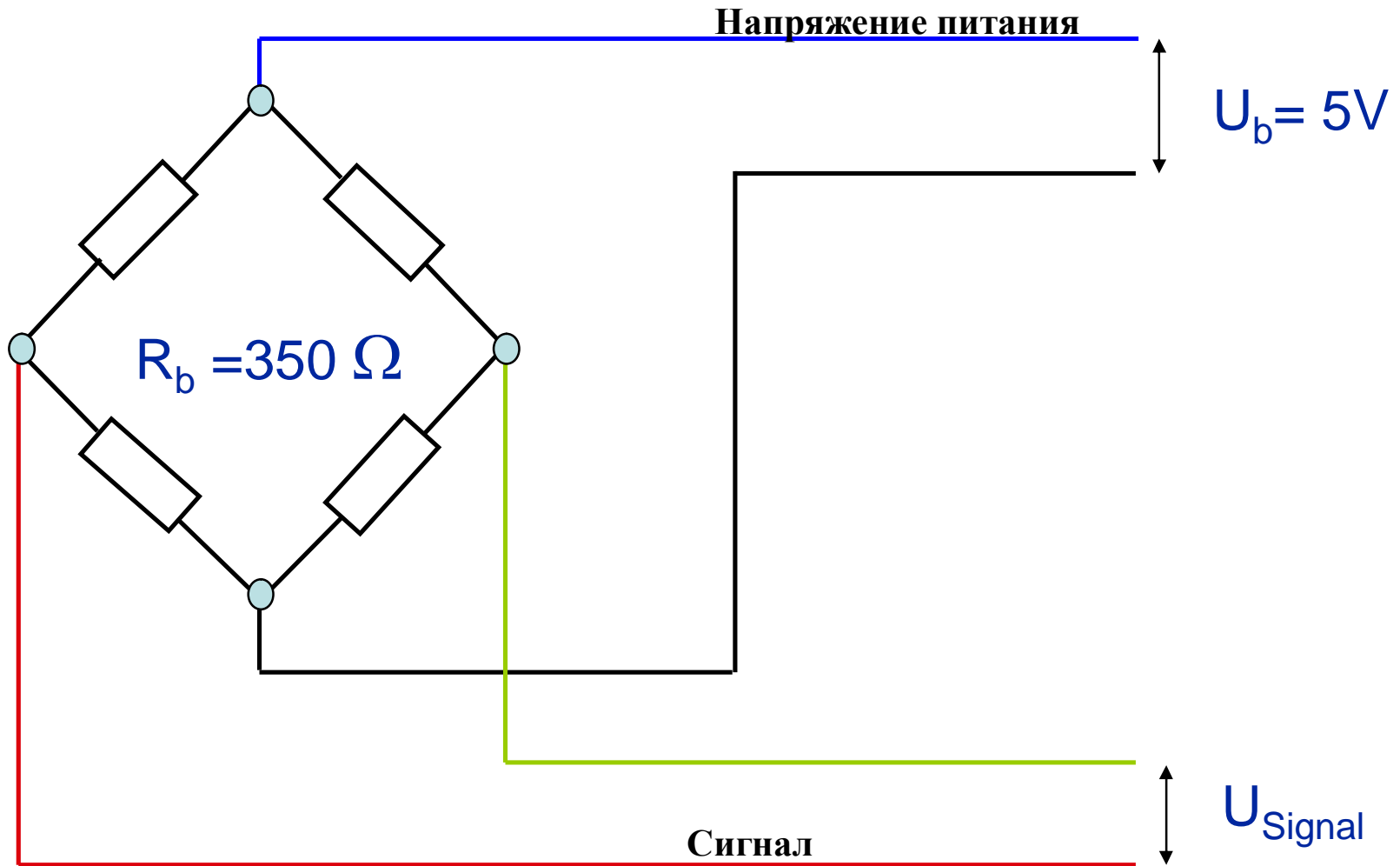


# Измерительный кабель

**4-х или 6-ти проводный?**



# 4-х проводный



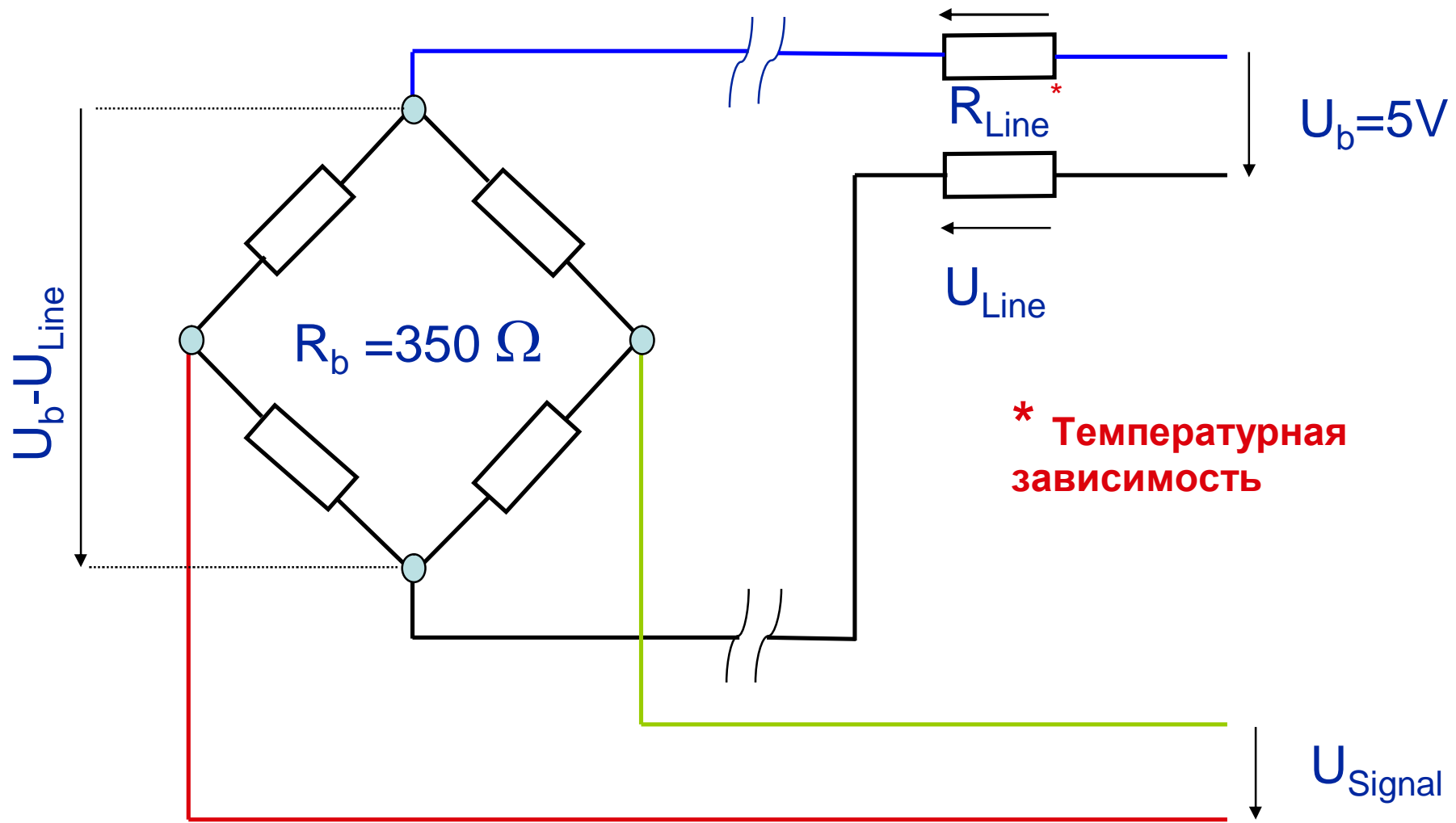
## 4-х проводный кабель

**Сопротивление кабеля учтено при  
калибровке**

**Воздействие температуры не  
скорректировано**

**Длина кабеля не должна изменяться**

# Характеристики 4-х проводной схемы



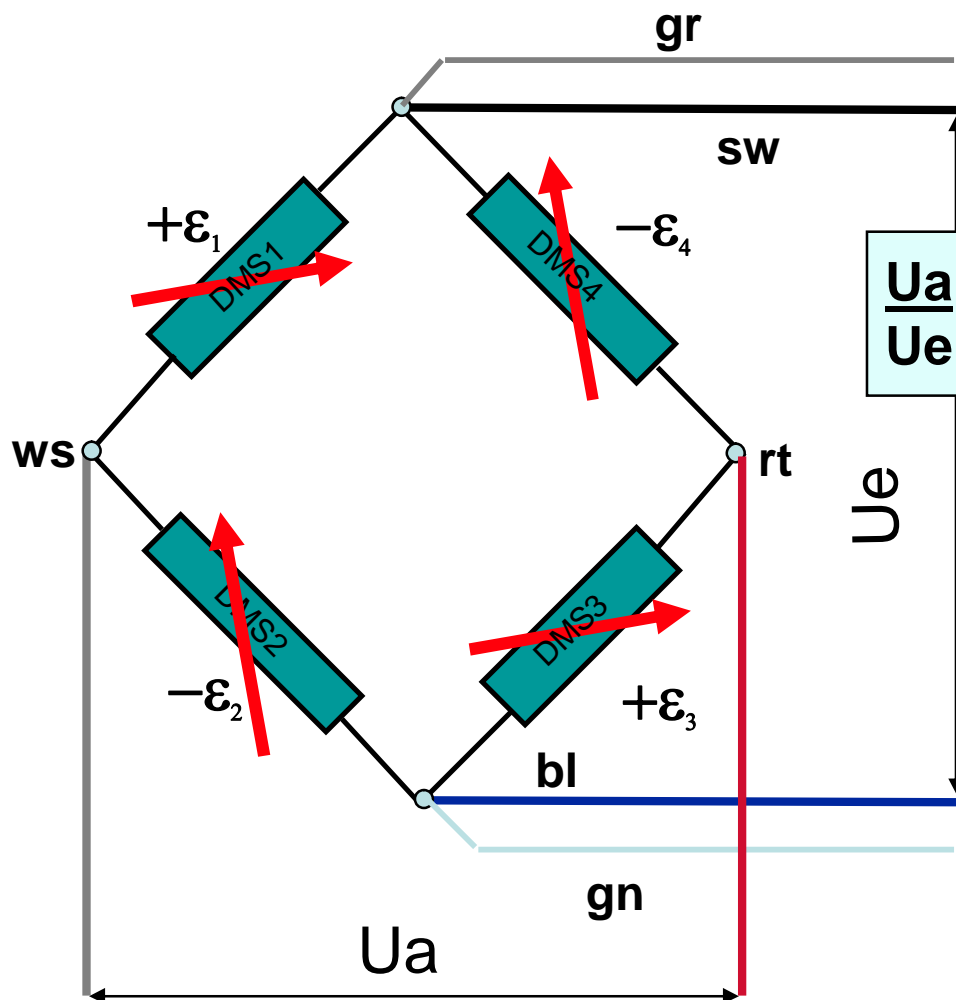
## 6-ти проводный кабель

**Добавлены две сенсорные жилы**

**Длина кабеля может быть изменена**

**Влияние температуры компенсировано**

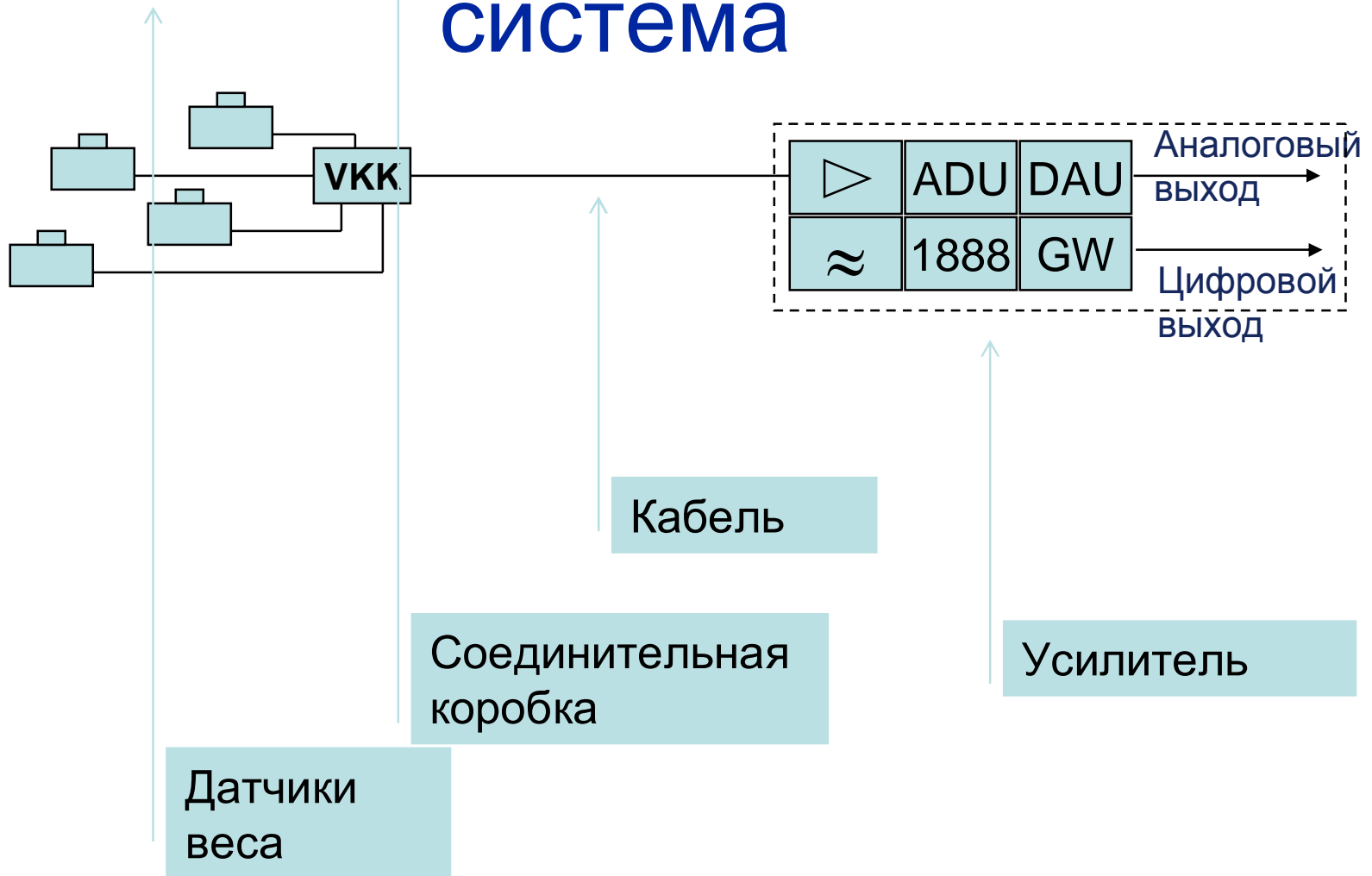
# Характеристики 6-ти проводной схемы



$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{1}{4} \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{k}{4} (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4)$$

# Типичная весоизмерительная система



# Общие понятия

**E<sub>max</sub>**

**Максимальная номинальная нагрузка  
датчика веса в КГ**

**Например, 100 КГ**



## Vmin

**Установлена в % от Emax. (номинальная нагрузка) и является минимальным поверочным интервалом датчика веса.**

**Пример: может быть 0.009%  
или указывается как деление 100g**

## Чувствительность

**Чувствительность датчика веса происходит из разницы в выходном сигнале преобразователя при максимальной нагрузке и при отсутствии нагрузки.**

**Обычно указывается в мВ/В**

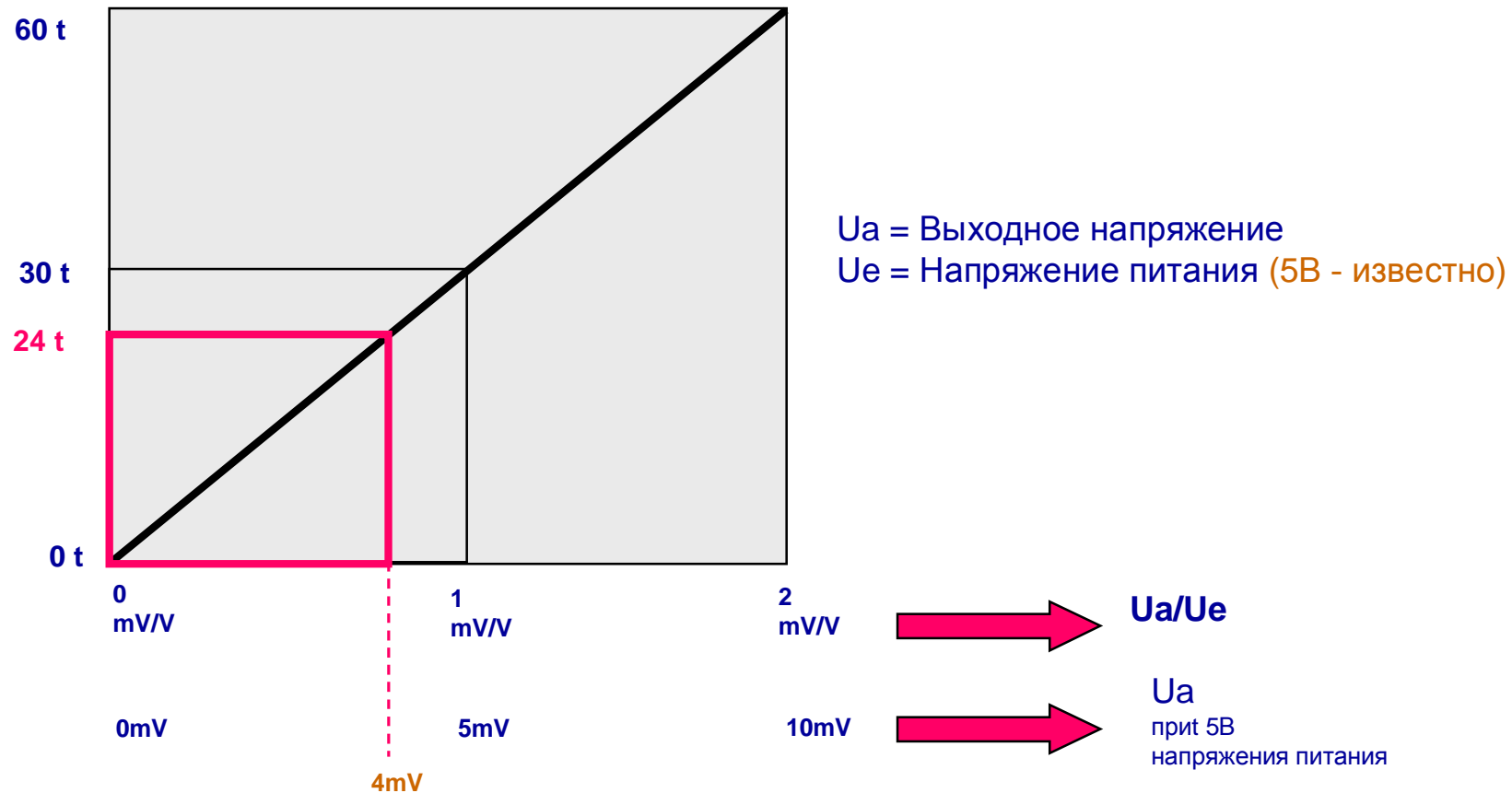
# Использование данных ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Пример: C16/60тн

Номинальная нагрузка по данным производителя 2мВ/В (при 60т)

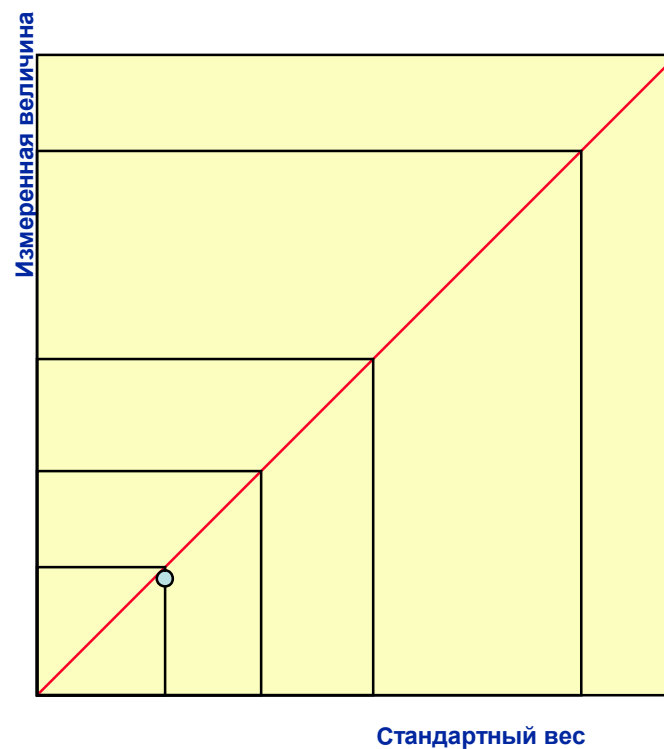
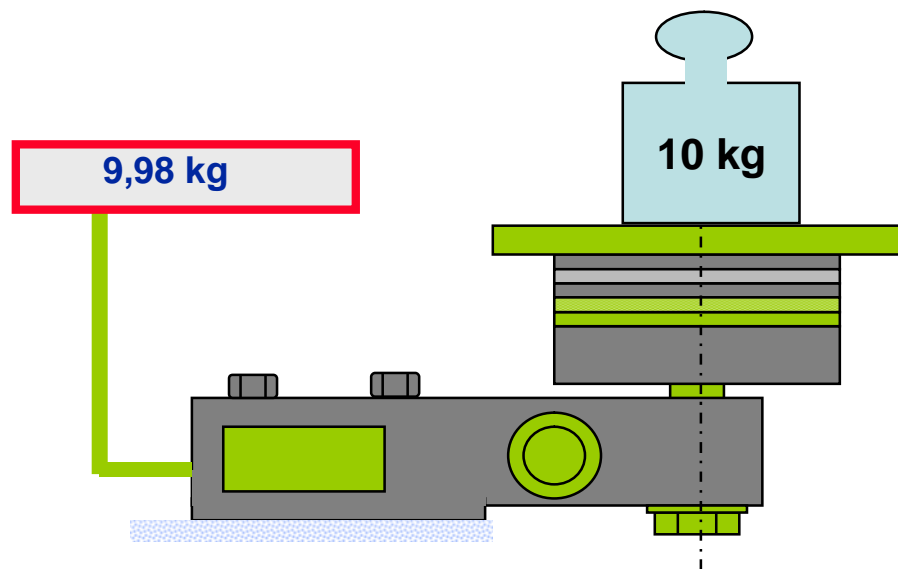
Напряжение питания электроники= 5В

Измеряемое выходное напряжение датчика 4мВ



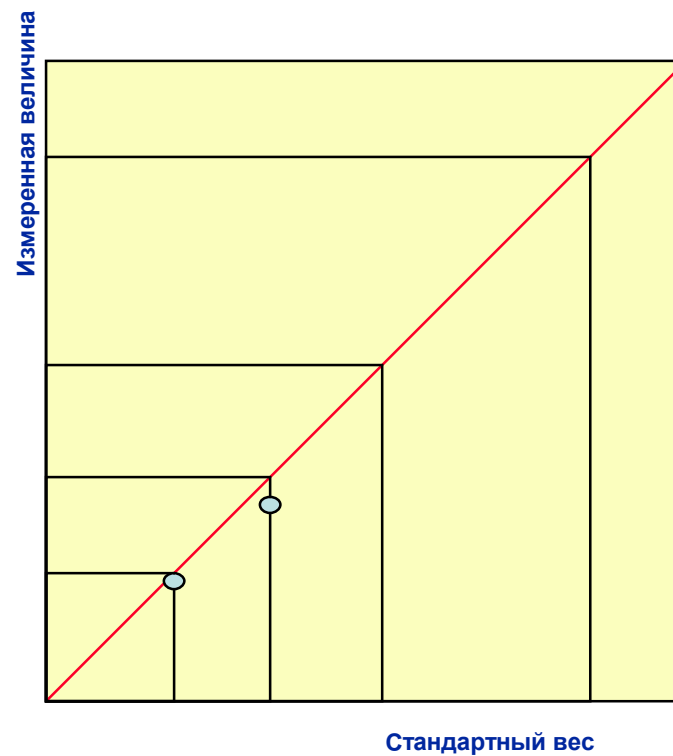
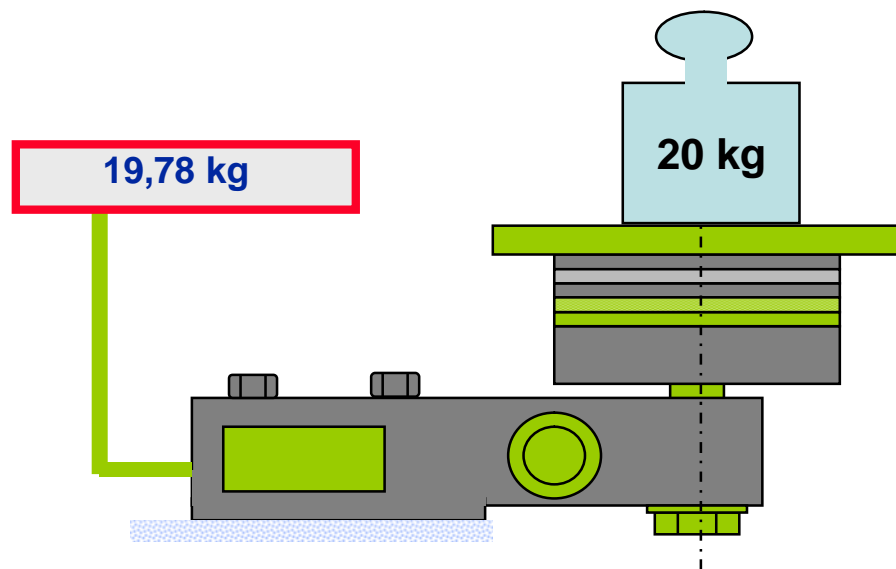
## Линейная погрешность (определение)

- Пример : Линейная погрешность



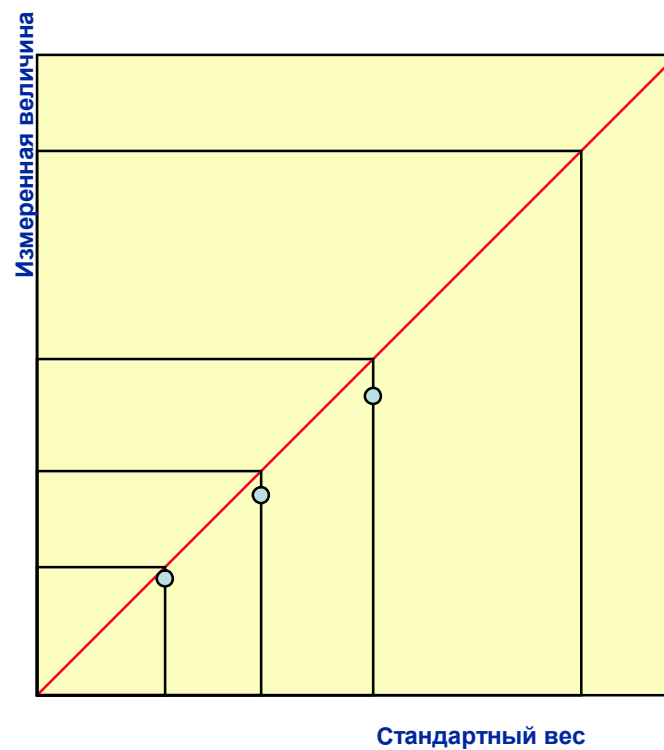
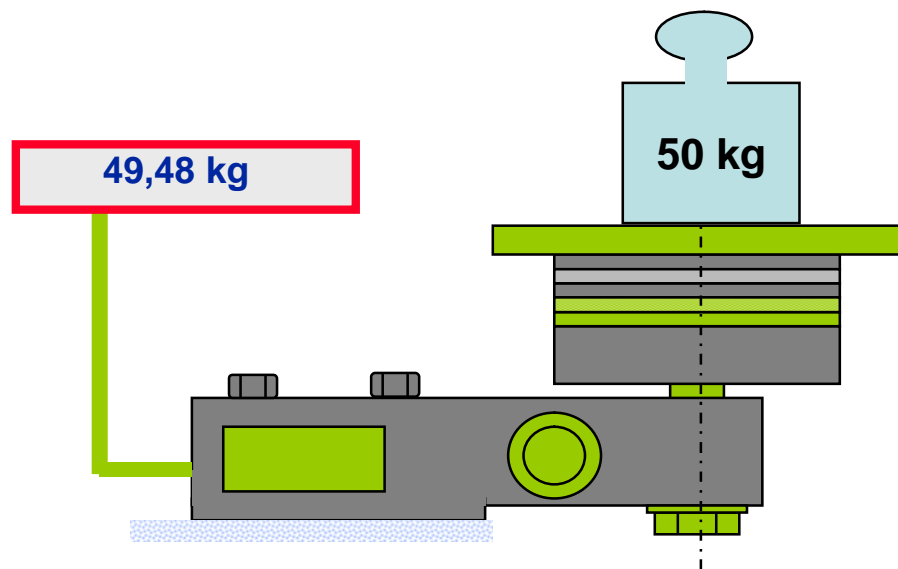
## Линейная погрешность (определение)

- Пример : Линейная погрешность



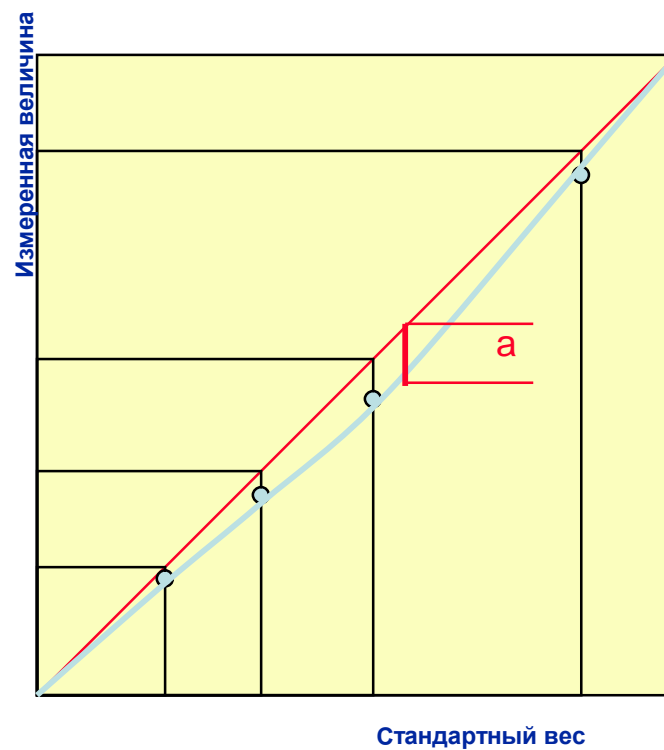
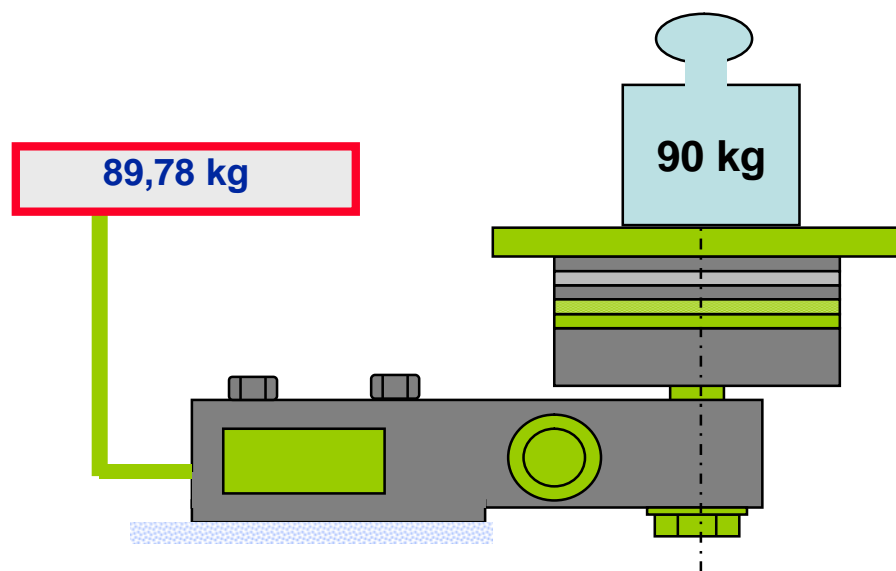
## Линейная погрешность (определение)

- **Пример: Линейная погрешность**



## Линейная погрешность (определение)

- Пример: Линейная погрешность

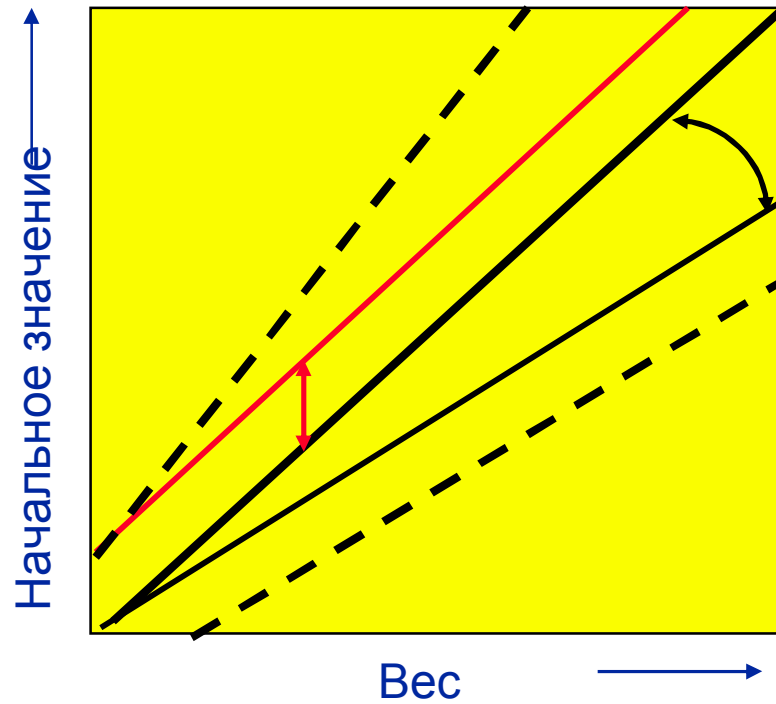


# Влияние температуры

**Влияние температуры на баланс нуля это изменение относительно нормальной чувствительности в выходном сигнале тензодатчика при отсутствии нагрузки в связи с изменением температуры (10k).**



# Влияние температуры

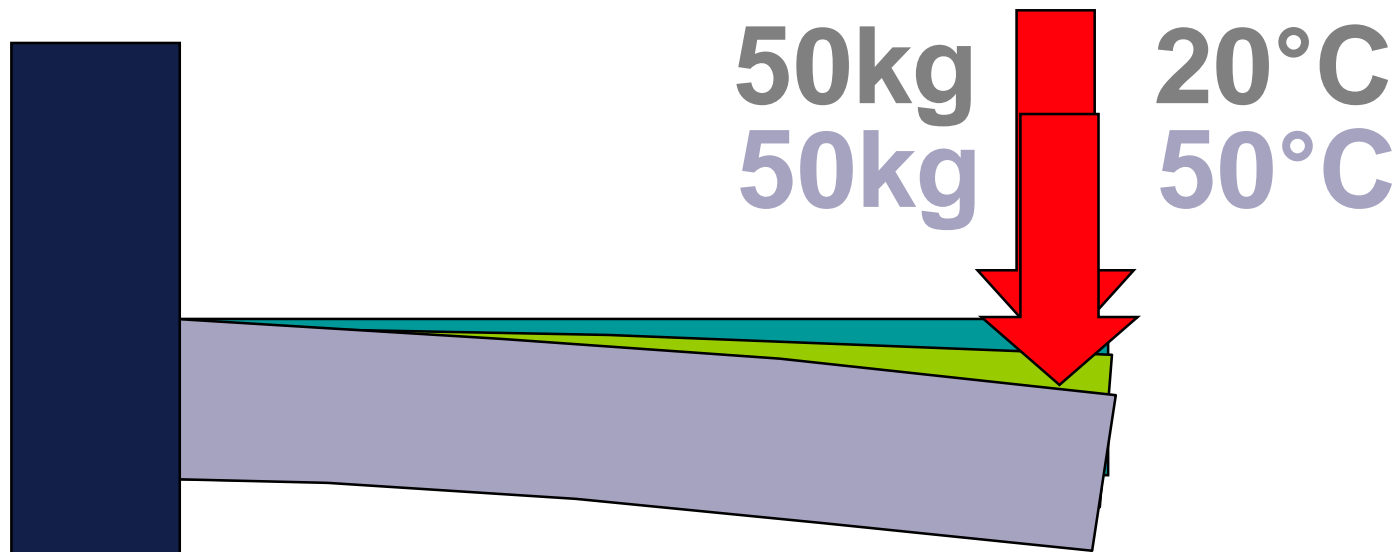


Влиянием изменения температуры на чувствительность

Влияние изменения температуры на баланс нуля



## Пример $T_{КС}$ – Компенсация в датчиках веса



Эластичность температурно зависима!

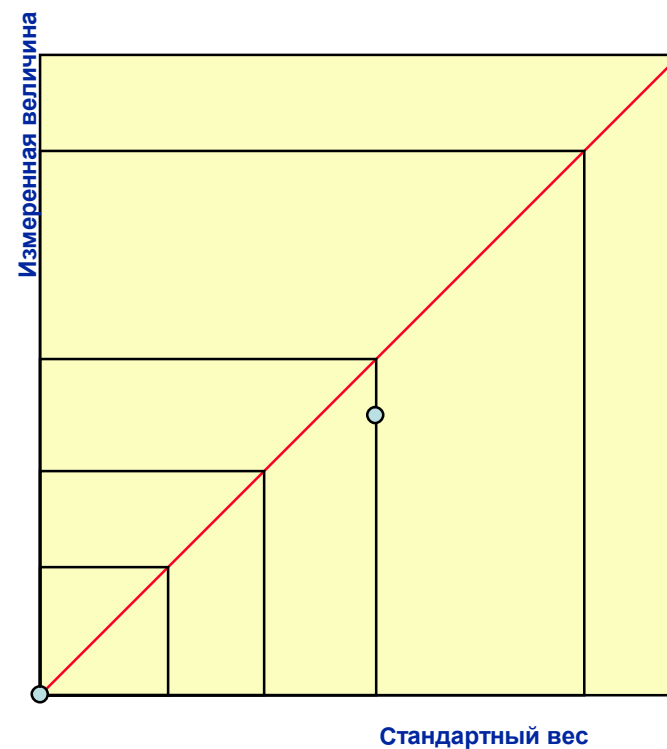
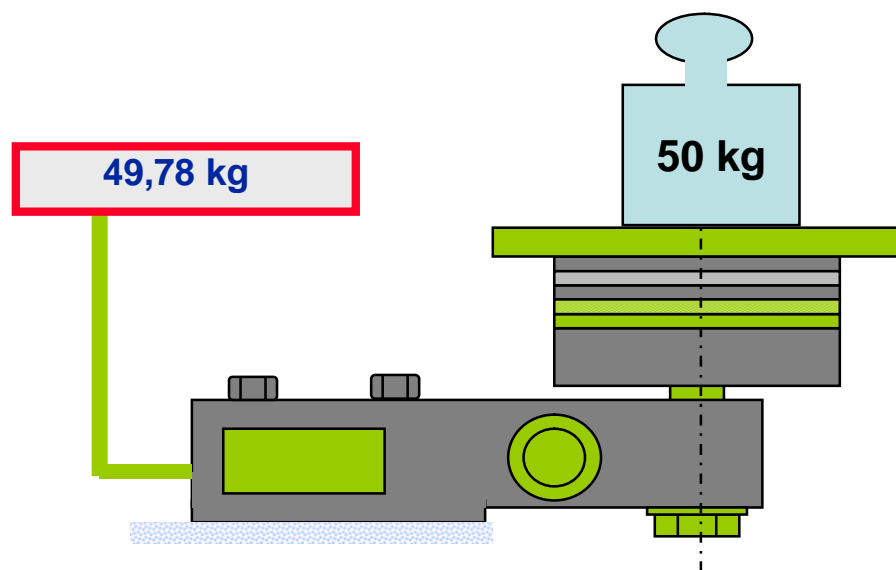
**50кг должны весить 50кг при -20с в Осло. Так же как 50кг при +35с на Мальорке. Следовательно, температурная компенсация очень важна.**

# Гистерезис

**Погрешность гистерезиса – разница между выходными сигналами, полученная при равномерном нагружении и разгрузении в пределах номинальной нагрузки.**

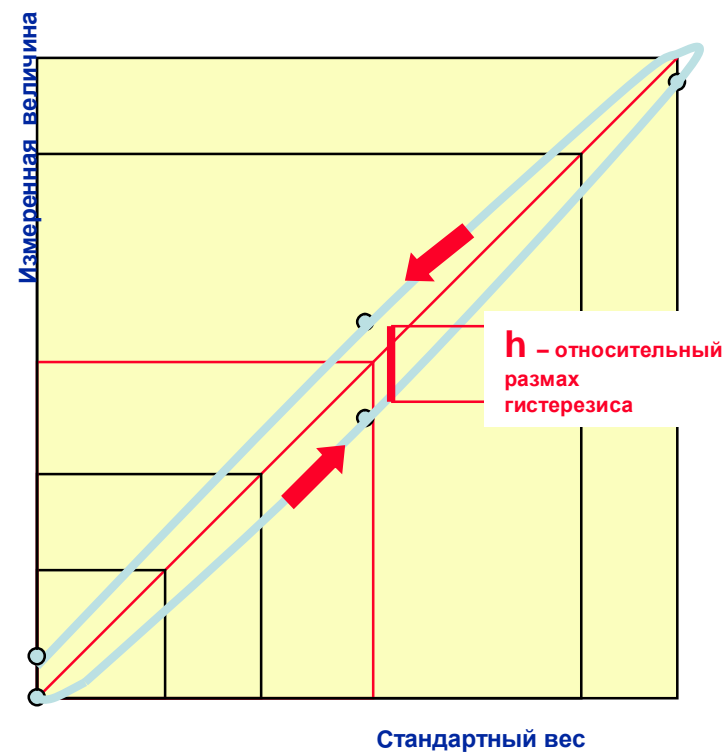
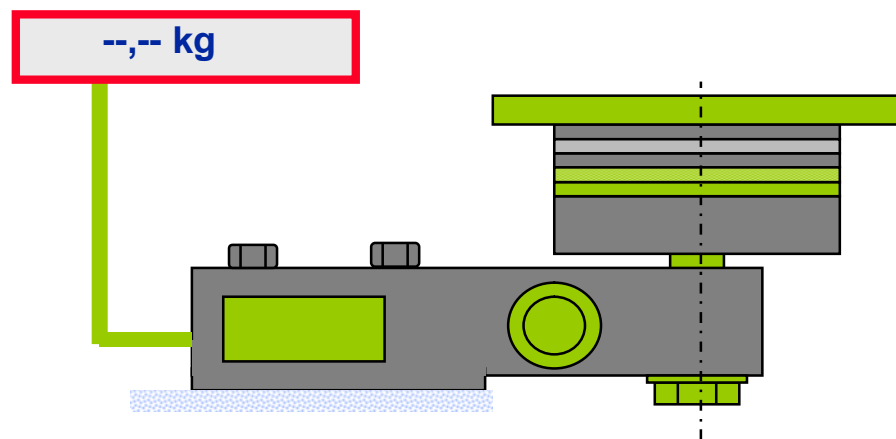
# Гистерезис (Определение)

- Пример: Погрешность гистерезиса



# Гистерезис (Определение)

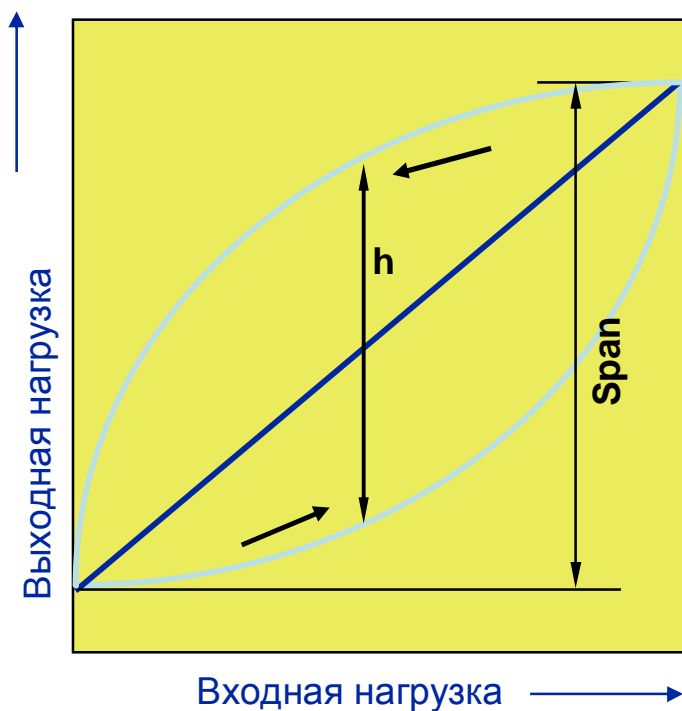
- **Пример: Погрешность гистерезиса**
- (Разница между кривыми входа и выхода)



# Гистерезис (определение)

Гистерезис

Масса для гистерезиса – относительный размах гистерезиса =  $h / \text{Span}$

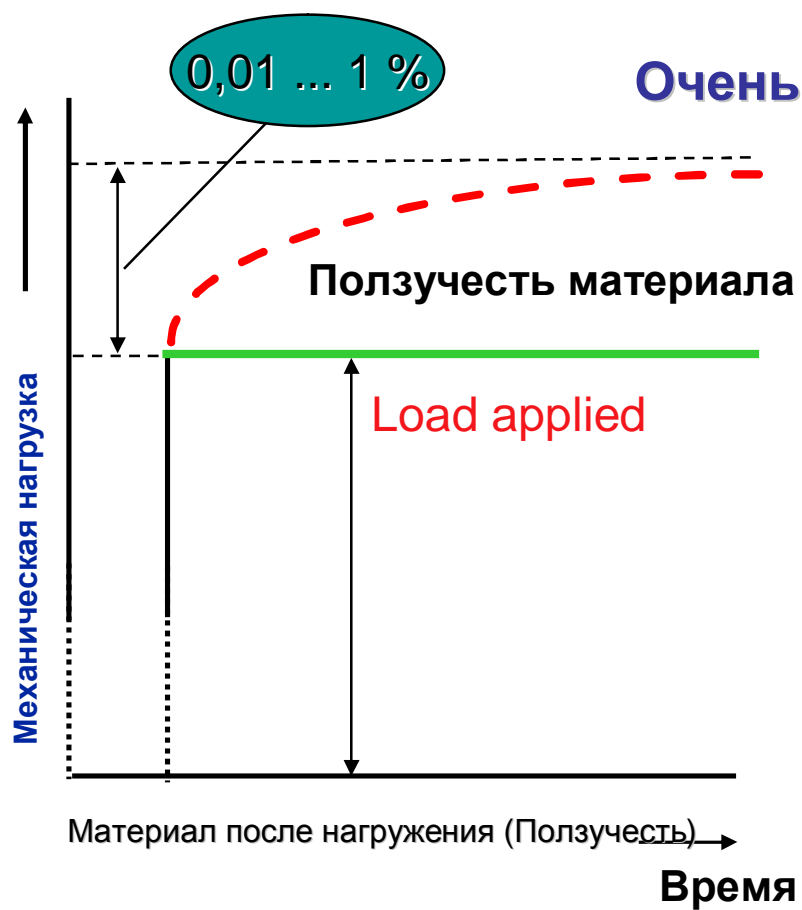


Номинальный гистерезис преобразователя < 0,1 % ,  
Редко имеет практическое значение

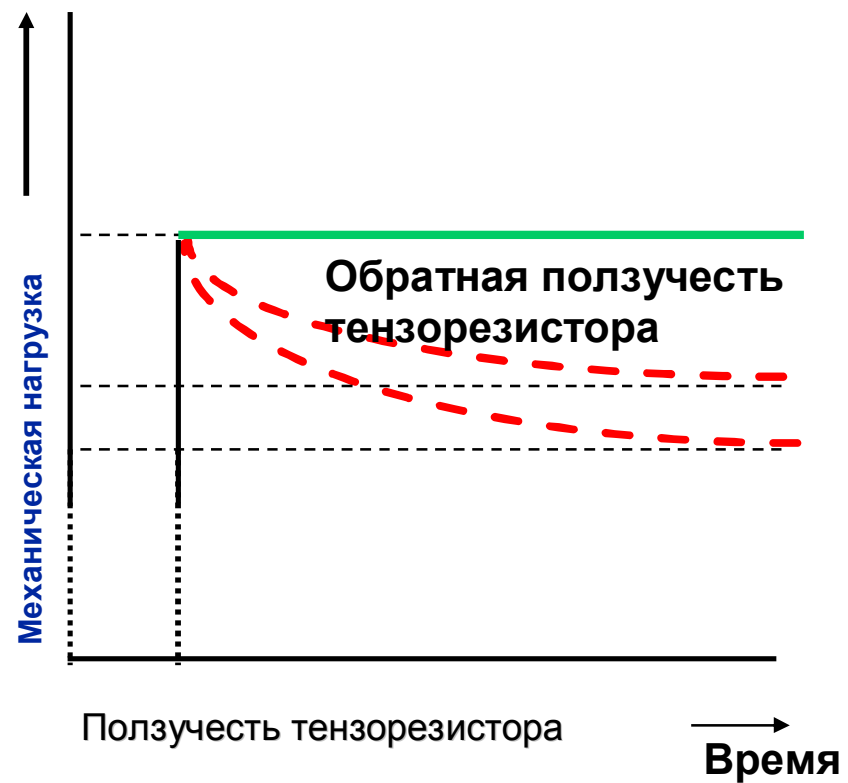
## Ползучесть

**Упругие материалы реагируют спонтанным напряжением на постепенное нагружение. При постоянной нагрузке материал медленно продолжает реагировать напряжением в направлении нагружения и начинает ползти. Тензорезисторы минимизируют этот эффект.**

# Creep



Позитивное растяжение

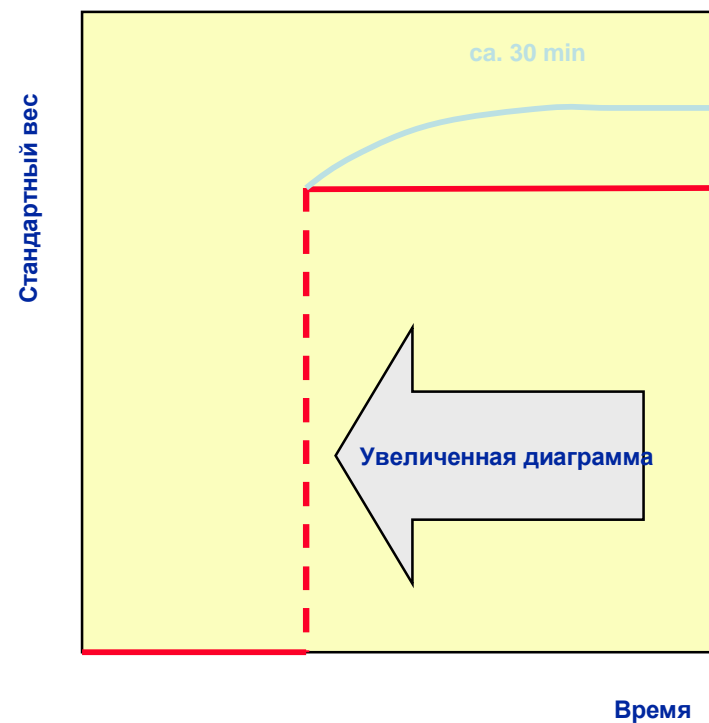
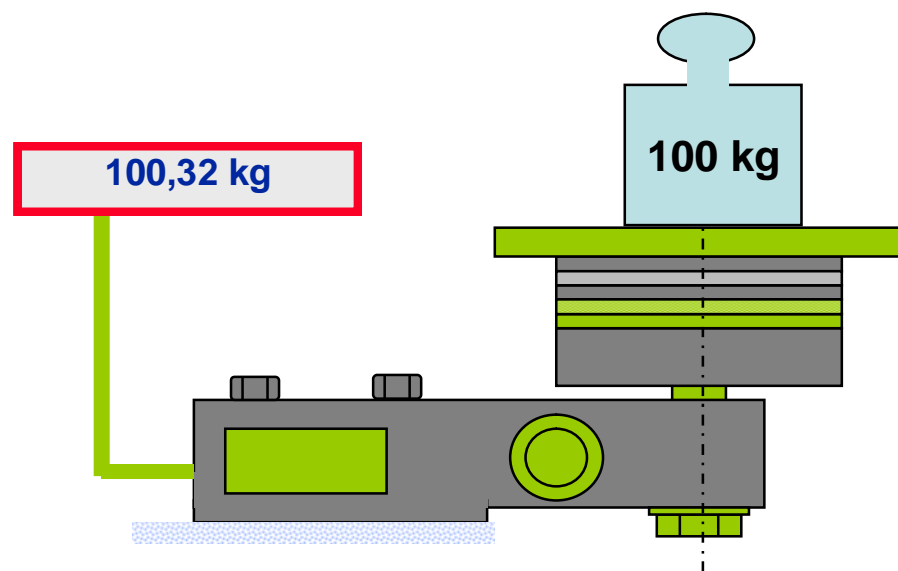


Негативное растяжение

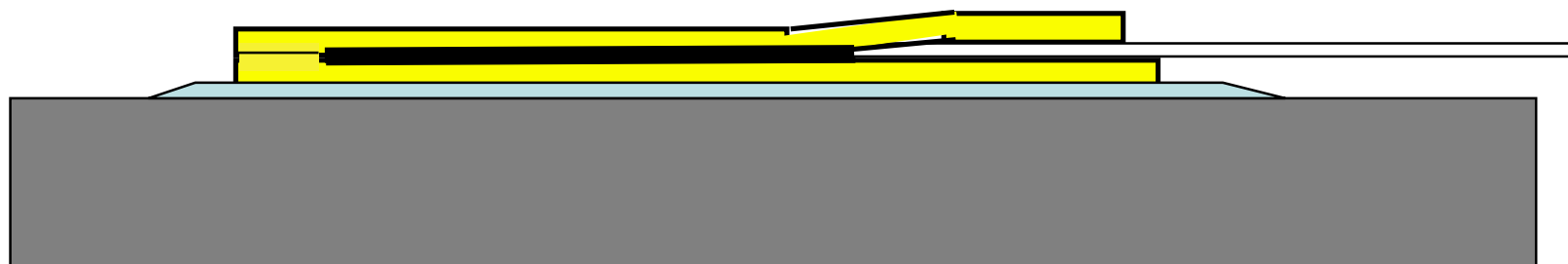


# Material after effect / creep

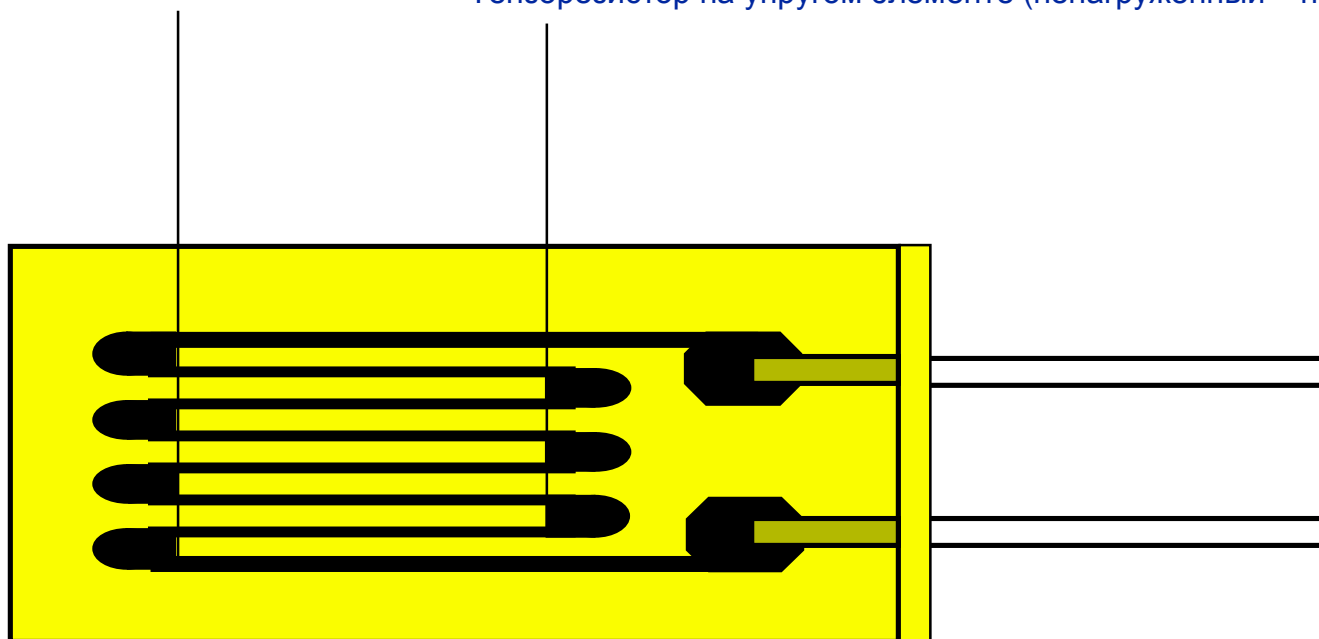
- Пример: Погрешность ползучести



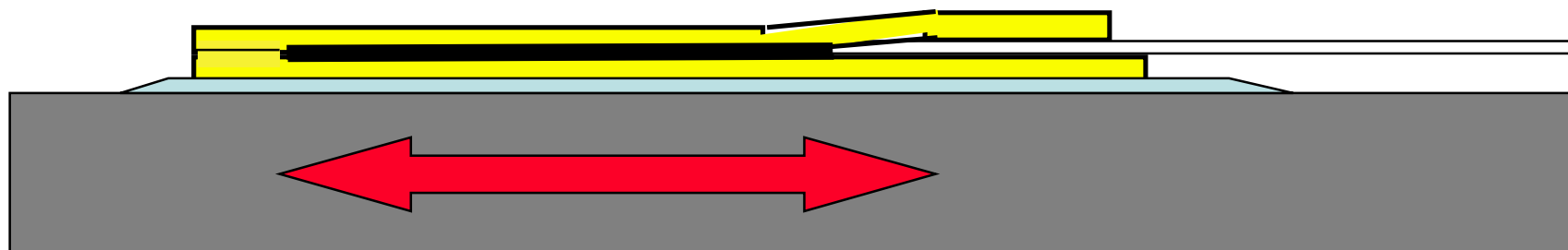
# Ползучесть



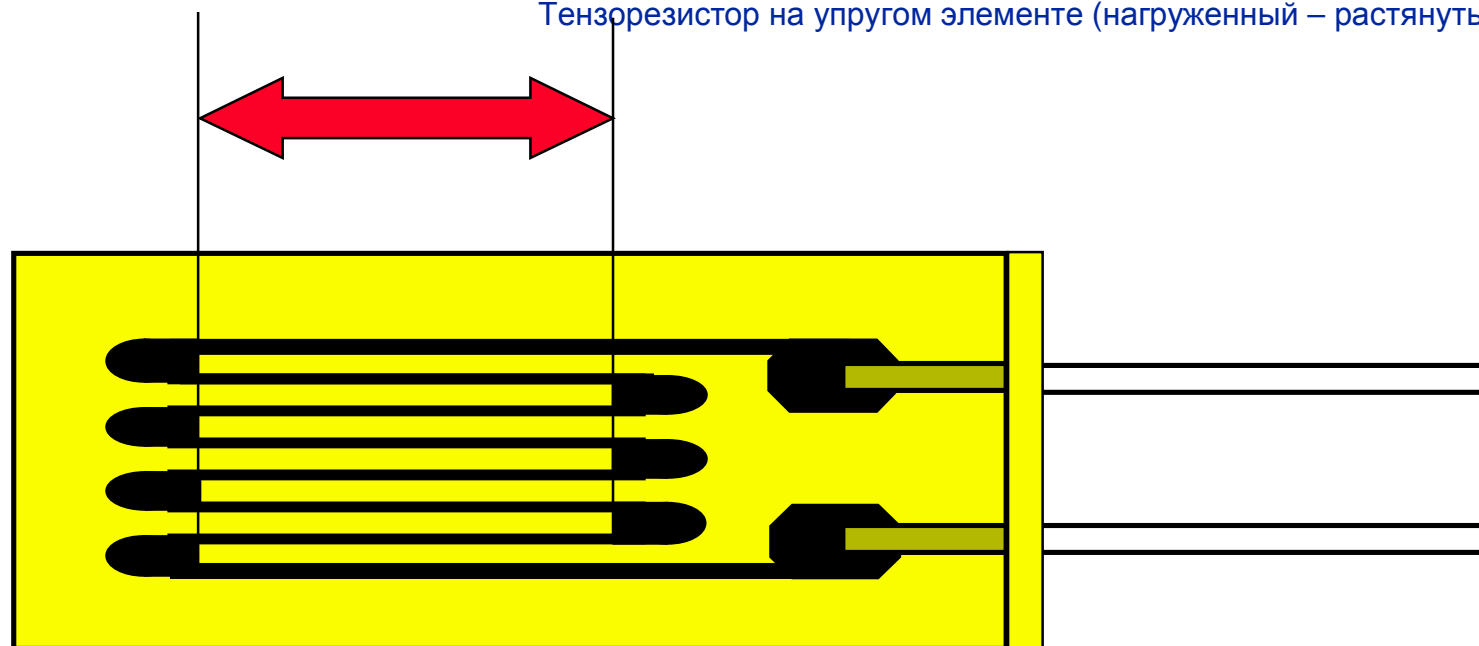
Тензорезистор на упругом элементе (ненагруженный – нерастянутый)



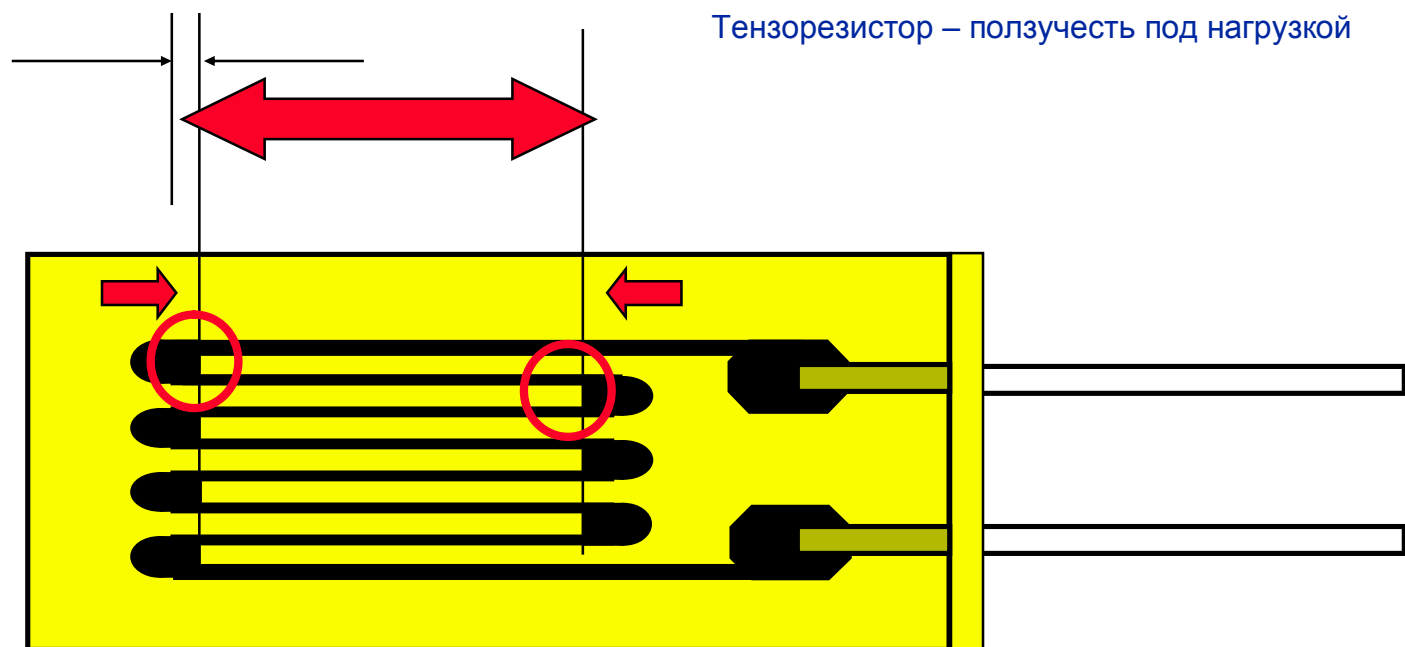
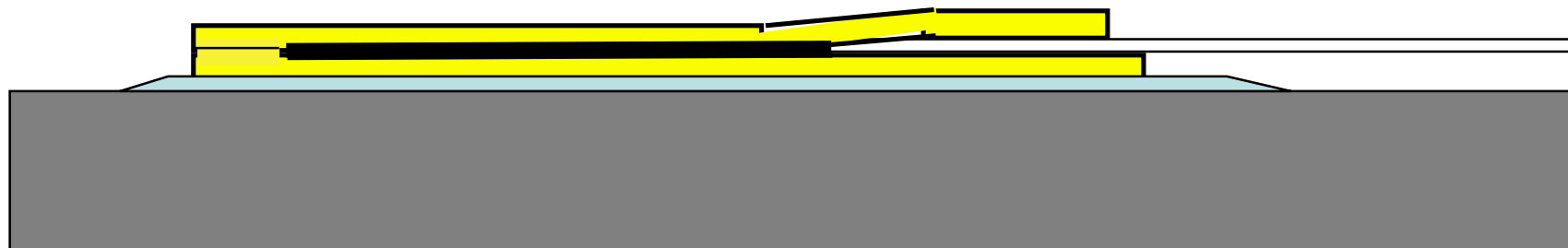
# Ползучесть



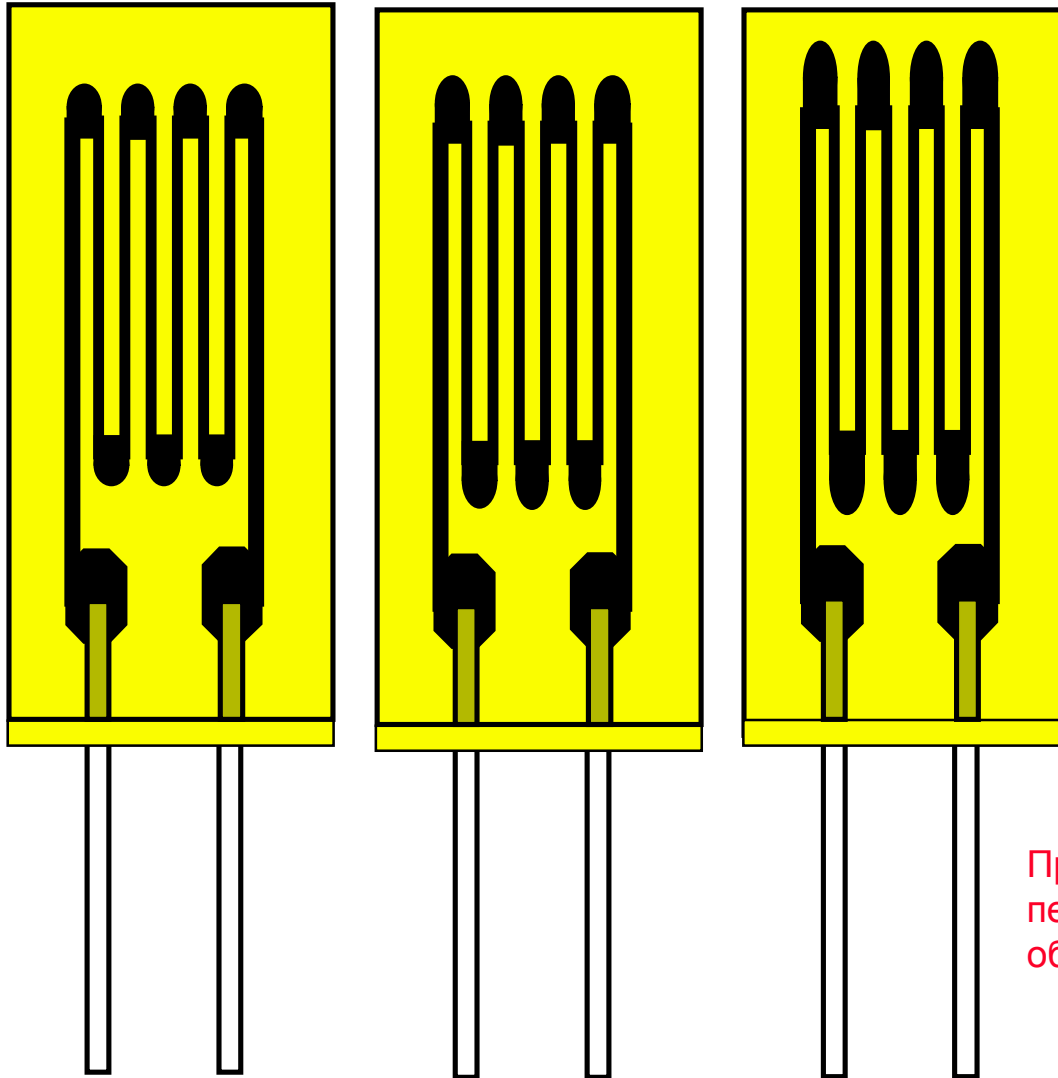
Тензорезистор на упругом элементе (нагруженный – растянутый)



# Ползучесть



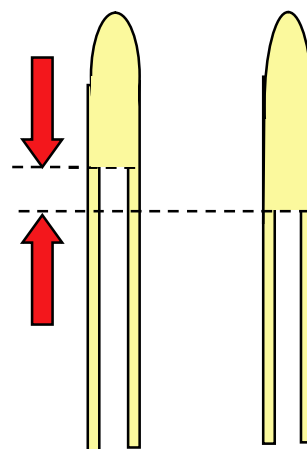
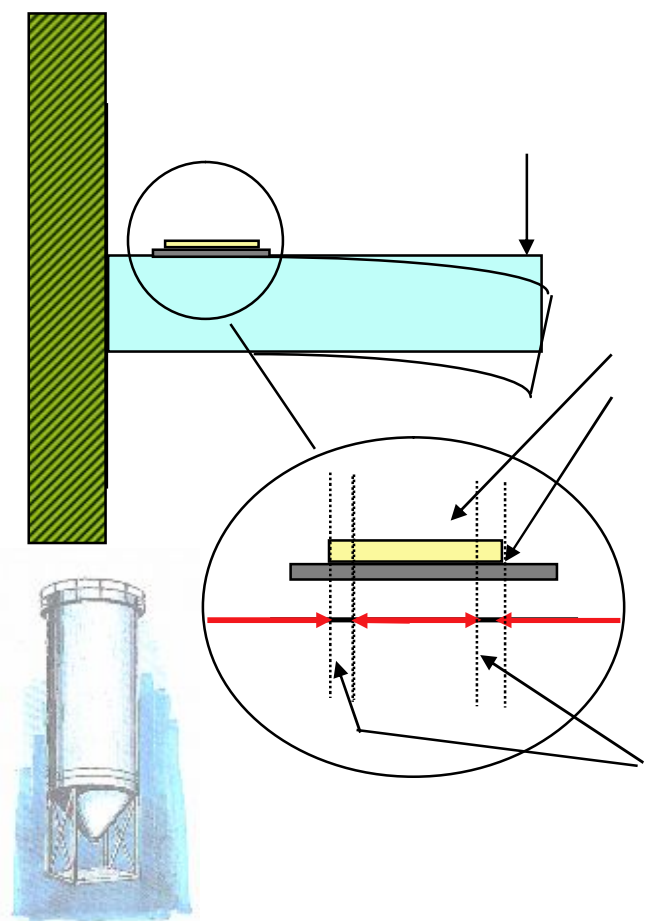
# Ползучесть



Тензорезистор – регулировка ползучести  
Тензорезистор серии К с разными петлями

Примечание: Тензорезисторы с петлями меньшего размера обладают большей ползучестью

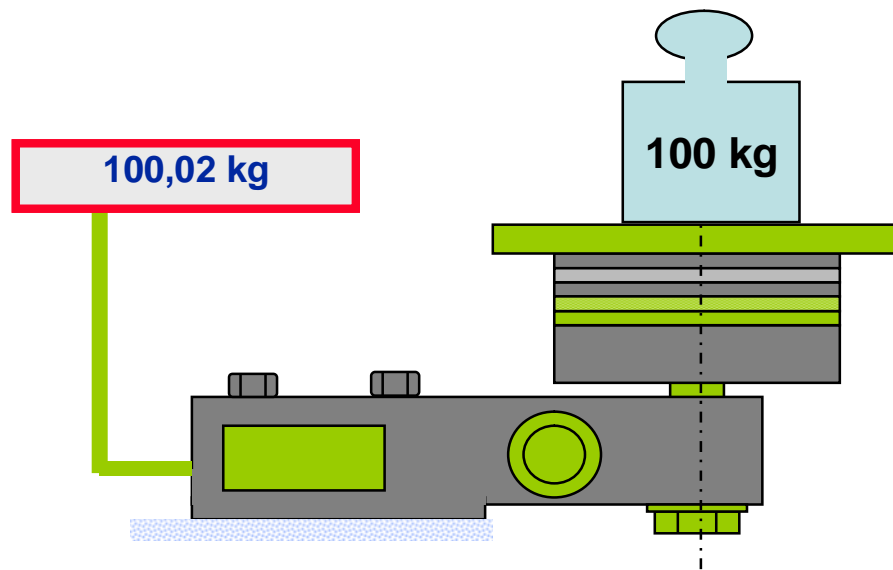
# Ползучесть



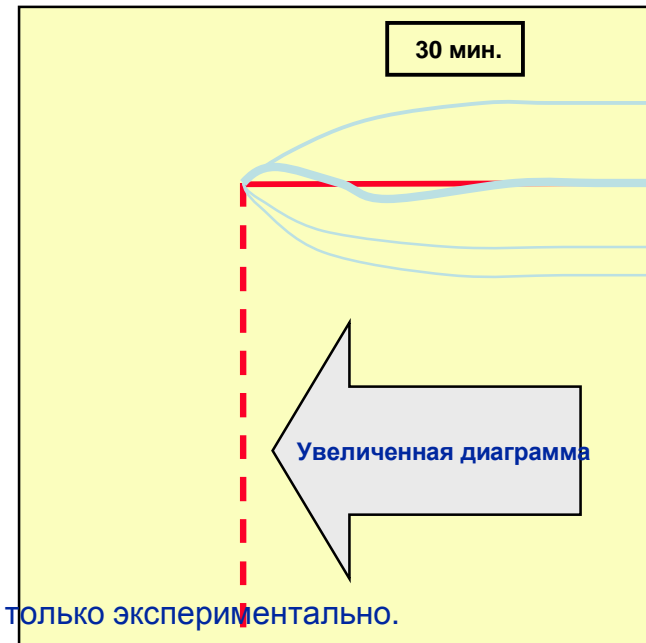
Ползучесть может  
быть  
отрегулирована  
изменением длины  
петель  
тензорезистора

# Ползучесть

- Пример: Погрешность ползучести



Стандартный вес



Время

Правильные размеры петель тензорезисторов могут быть подобраны только экспериментально.  
Внимание! Ползучесть температурно зависима.

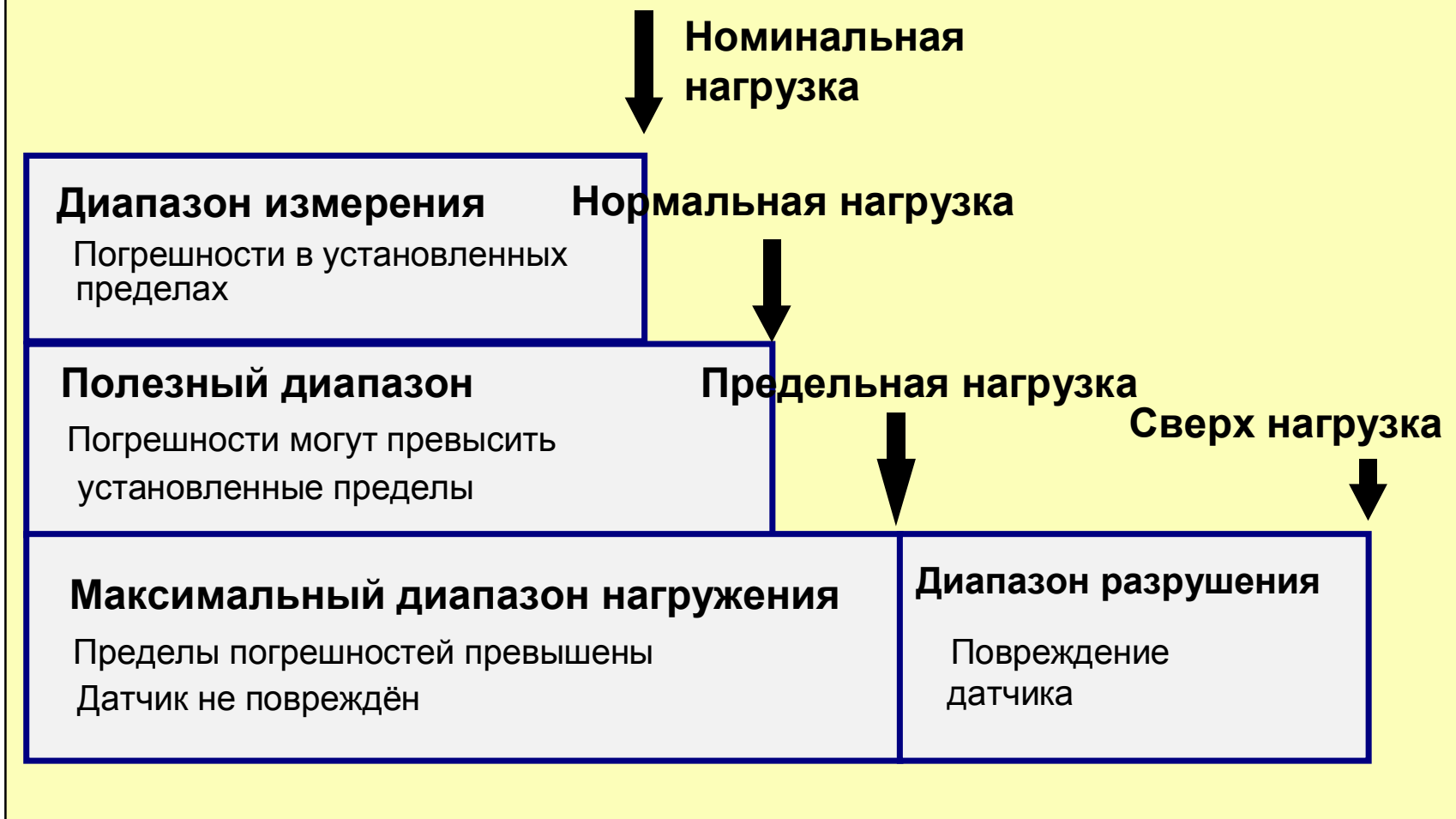
## Нагрузка разрушения

**Это максимальная нагрузка, которая может быть приложена к датчику в направлении измерения. При её превышении неизбежно механическое повреждение датчика.**



# Нагрузка разрушения

## Характеристики датчика веса



# IP – класс защиты

## Что означает класс защиты IP67?

### IP Первая цифра – Защита от твёрдых частиц

- 0 Нет защиты.
- 1 Защита от твёрдых частиц размером до 50mm, напр. случайное касание руками.
- 2 Защита от твёрдых частиц размером до 12mm, напр. пальцы.
- 3 Защита от твёрдых частиц размером более 2.5mm (инструменты и провода).
- 4 Защита от твёрдых частиц размером более 1mm (инструменты, тонкая проволока).
- 5 Защита от проникновения мелких частиц пыли.
- 6 Полная защита от пыли.**

### IP Вторая цифра – Защита от влаги

- 0 Нет защиты.
- 1 Защита от вертикально падающих капель воды, напр. конденсат
- 2 Защита от прямых струй воды (до 15° от вертикали).
- 3 Защита от прямых струй воды (до 60° от вертикали).
- 4 Защита от струй вода с разных направлений (ограниченное проникновение).
- 5 Защита от разнонаправленных струй воды низкого давления (ограниченное проникновение).
- 6 Защита от разнонаправленных струй воды низкого давления, напр. палубы кораблей (ограниченное проникновение).
- 7 Защита от попадания влаги при погружении на глубину 15cm и 1m.**
- 8 Защита от попадания влаги при длительном погружении под давлением.

Спасибо за внимание