

---

## **ЛЕКЦИЯ 8**

### **III. Средства автоматизации измерения, контроля и управления**

#### **3.1. Датчики измерительных систем**

##### **3.1.1. Перспективные направления в области сенсорики**

##### **3.1.2. Классификация датчиков**

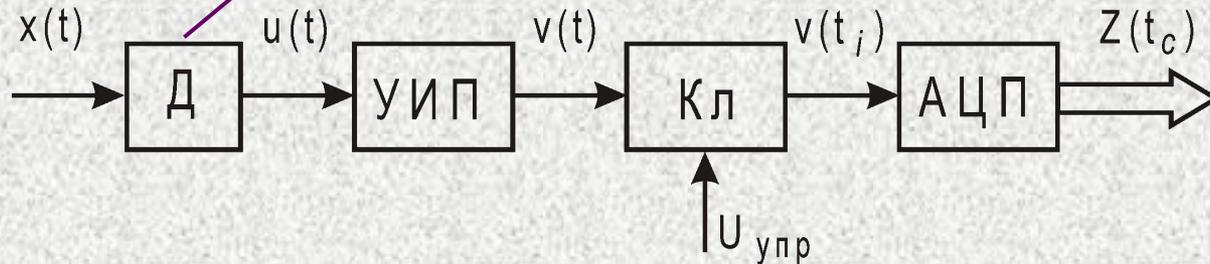
##### **3.1.3. Метрологические характеристики датчиков**

##### **3.1.4. Сопряжение датчиков с измерительной системой**

## 3. Средства автоматизации измерения, контроля и управления

### 3.1. Датчики измерительных систем

**Датчик – первый блок любой измерительной системы**



**Сенсорика** (от англ. *sensor* - датчик) – направление, занимающееся разработкой новых типов датчиков физических и электрических величин, на основе новых принципов измерений, новых методов обработки измерительной информации, в различном конструктивном исполнении.

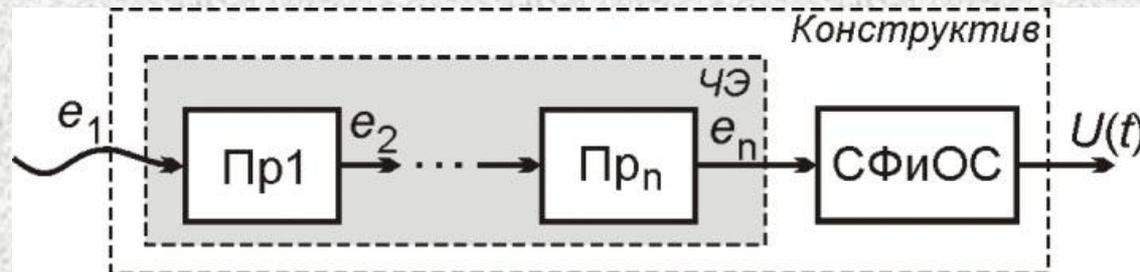
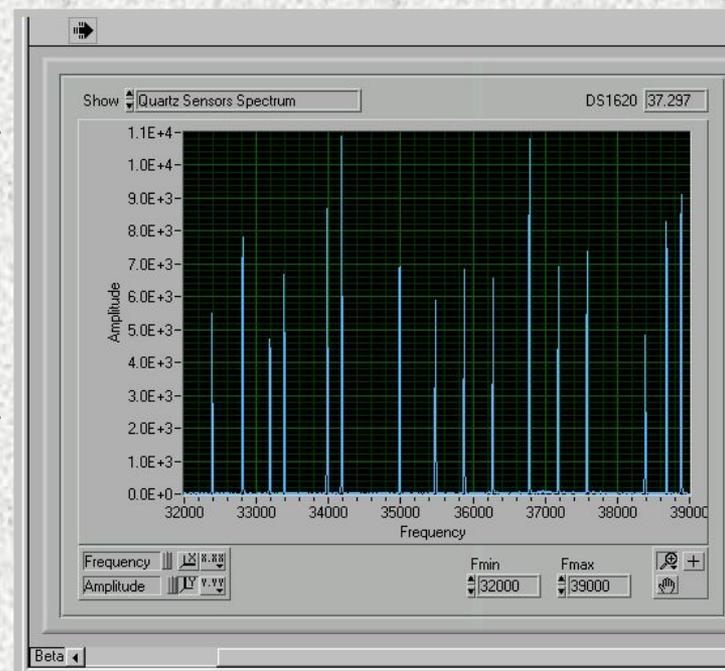
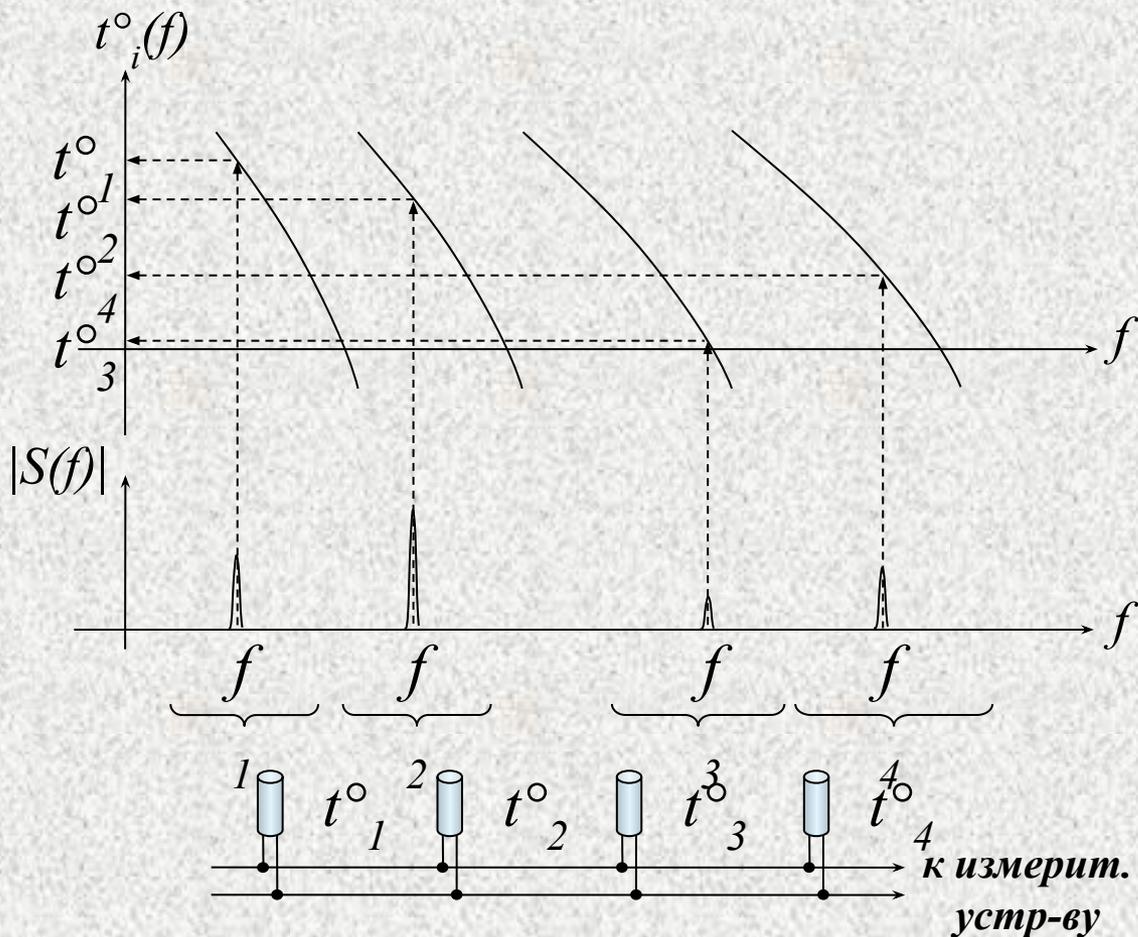


Рис. 1. Обобщенная структурная схема датчика

Пр – преобразователь; ЧЭ – чувствительный элемент; СФиОС – схема формирования и обработки сигнала

# 3.1.1. Перспективные направления в области сенсорики

## Распределенные датчики



Устройство и принцип работы

### 3.1.1. Перспективные направления в области сенсорики

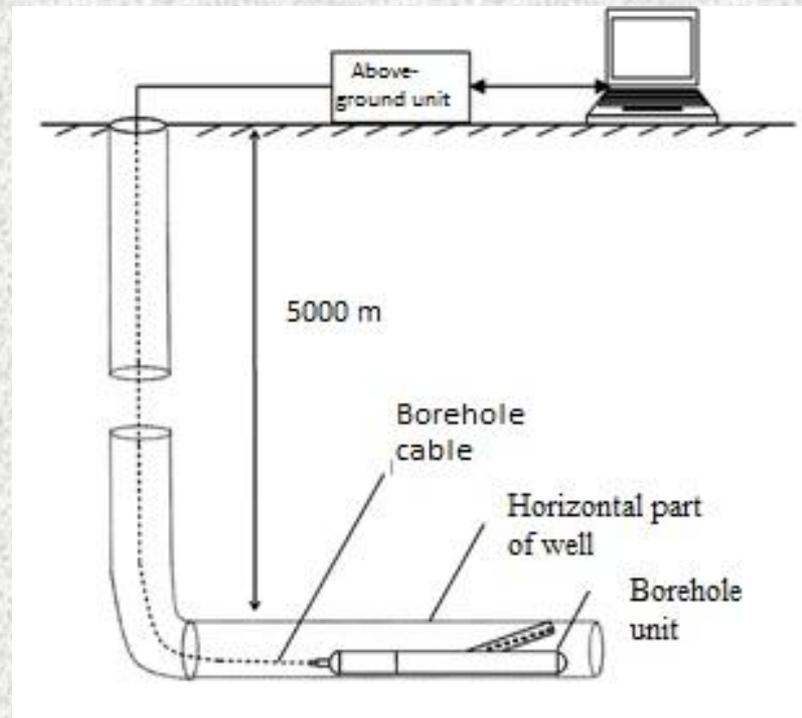
---

#### Квазираспределенная система измерения температуры на основе кварцевых резонаторов



### 3.1.1. Перспективные направления в области сенсорики

## Measurement system of water, oil and gas content in a horizontal oil well

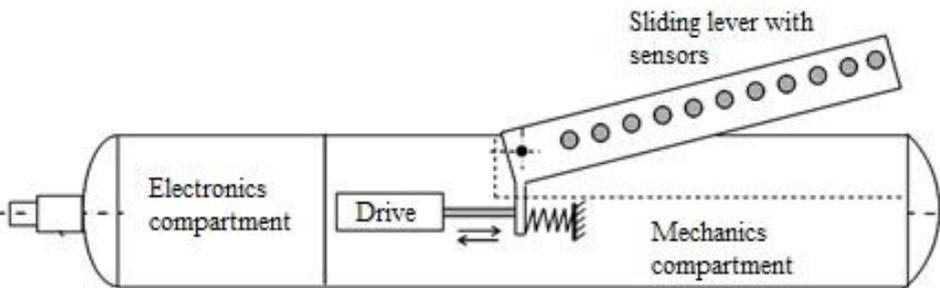


### 3.1.1. Перспективные направления в области сенсорики

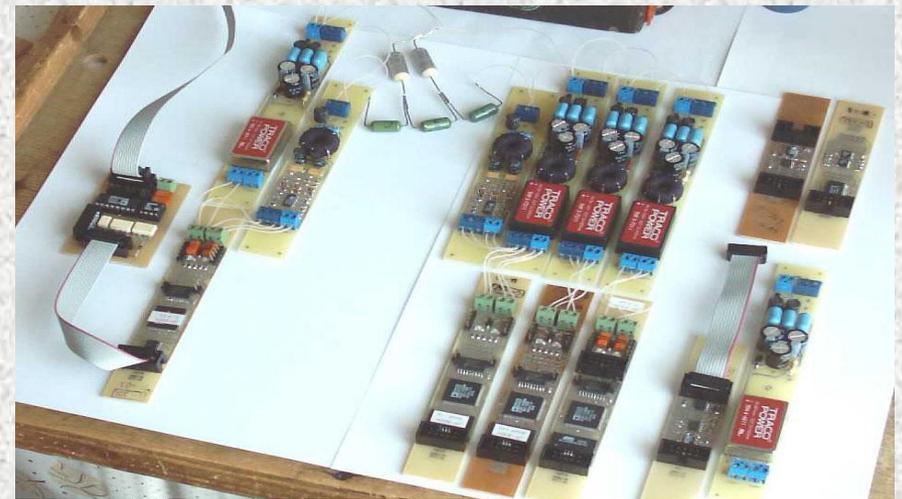
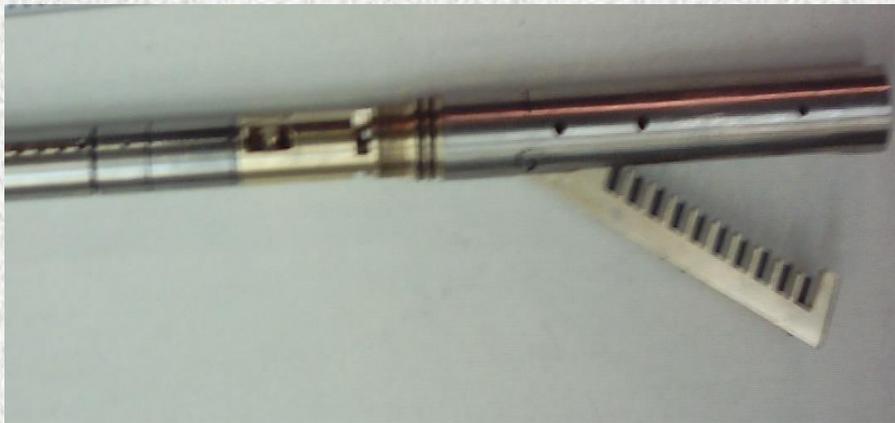
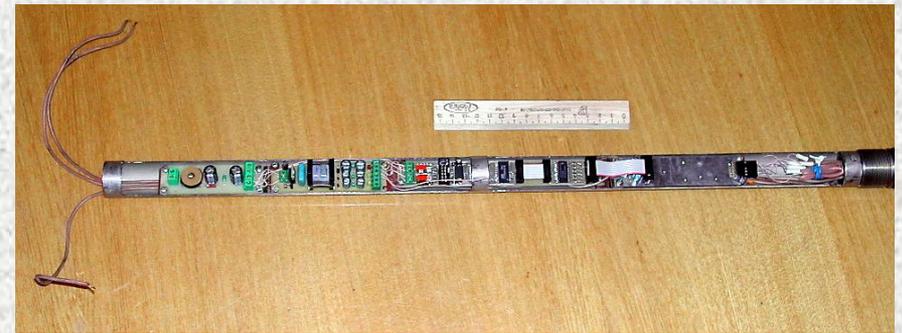
---

## Measurement system of water, oil and gas content in a horizontal oil well

Borehole unit



Printed circuit boards of the borehole unit

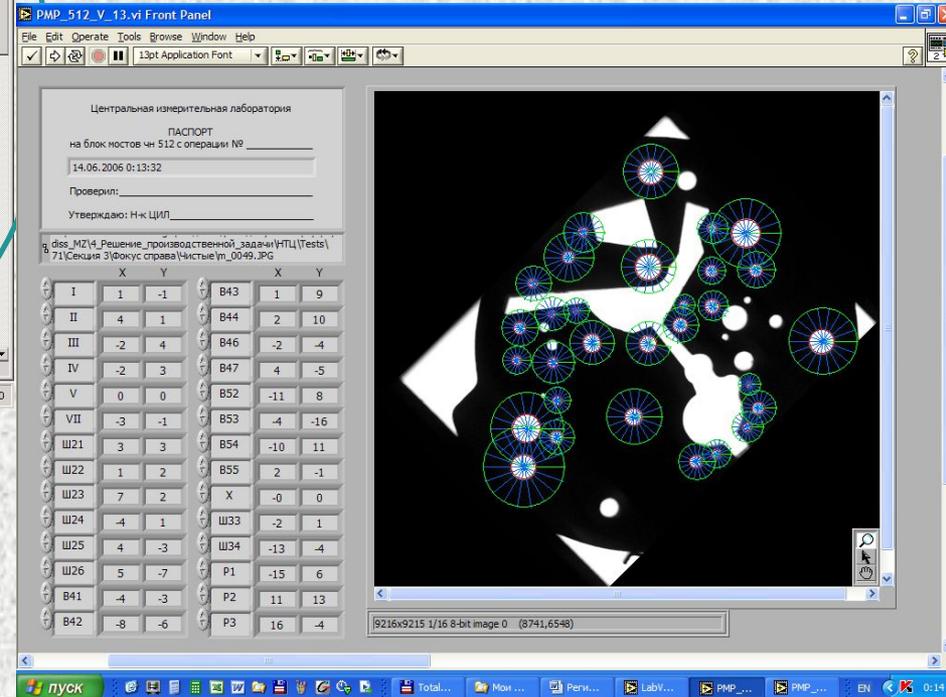
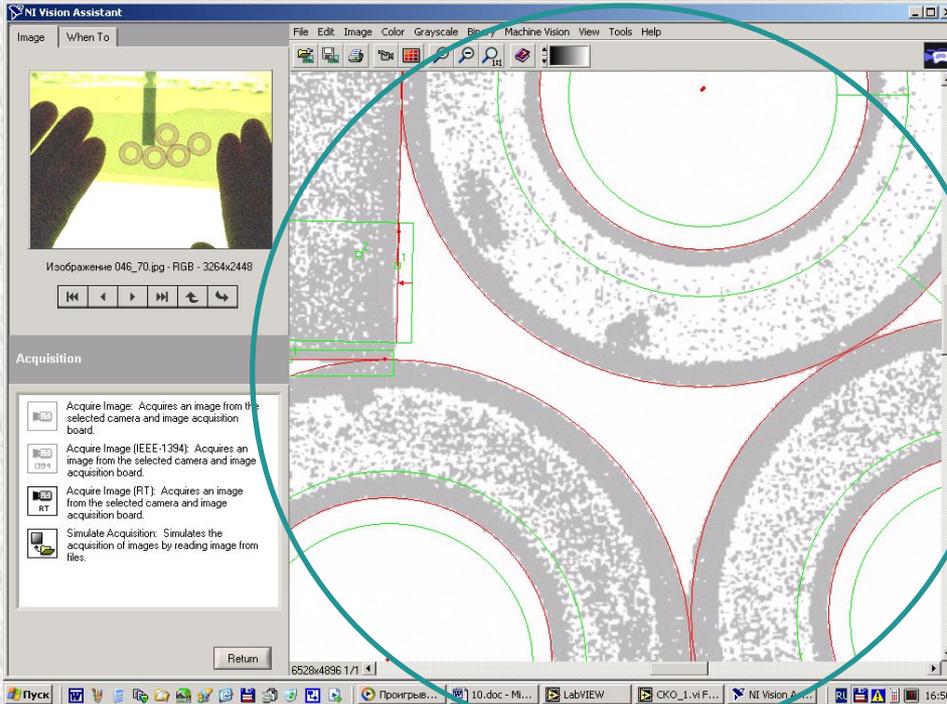


# 3.1.1. Перспективные направления в области сенсорики

## Техническое зрение

### NI VISION environment

Метод соприкасающихся частей



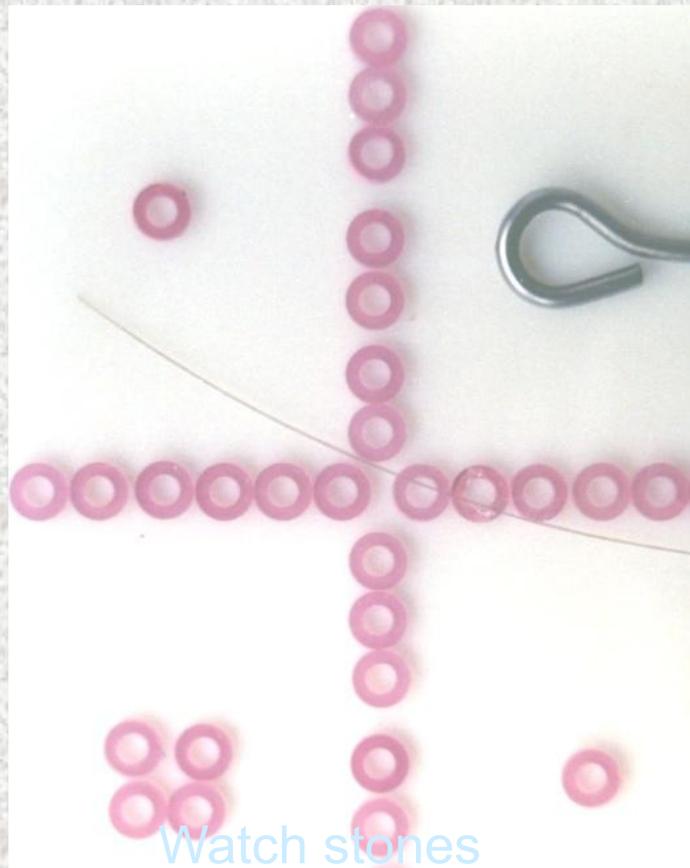
Разработка алгоритма обработки изображений

### 3.1.1. Перспективные направления в области сенсорики

---

#### Техническое зрение

**Task:** measuring geometrical dimensions of watch components with  $\pm 2 \mu\text{m}$  accuracy



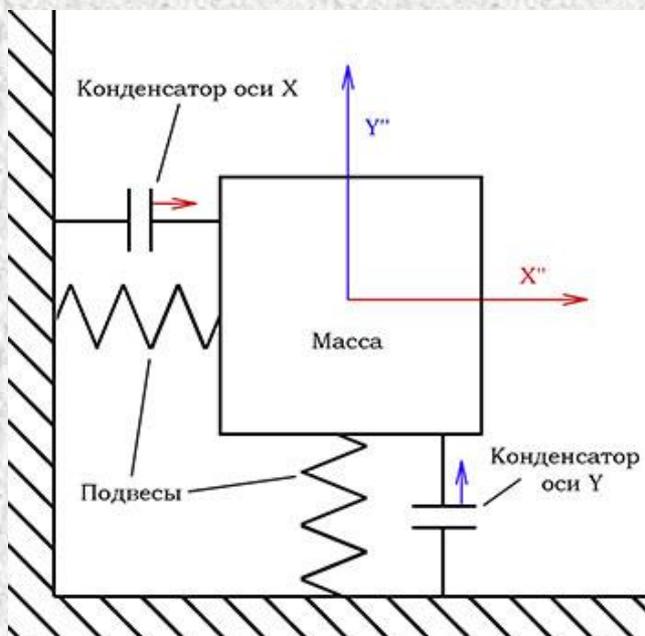
### 3.1.1. Перспективные направления в области сенсорики

#### Датчики с использованием MEMS-технологии

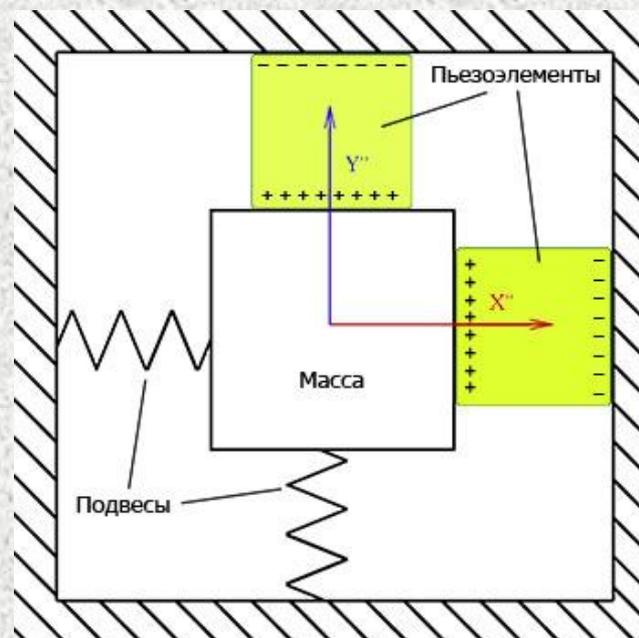
MEMS – *Micro-Electro-Mechanical Systems*

Под технологией MEMS понимают технологию микрообработки, позволяющую изготавливать кремниевые микросхемы с механическими элементами очень малых размеров.

MEMS – это объединение механических элементов, датчиков, приводов и электроники на одном кремниевом основании (подложке).

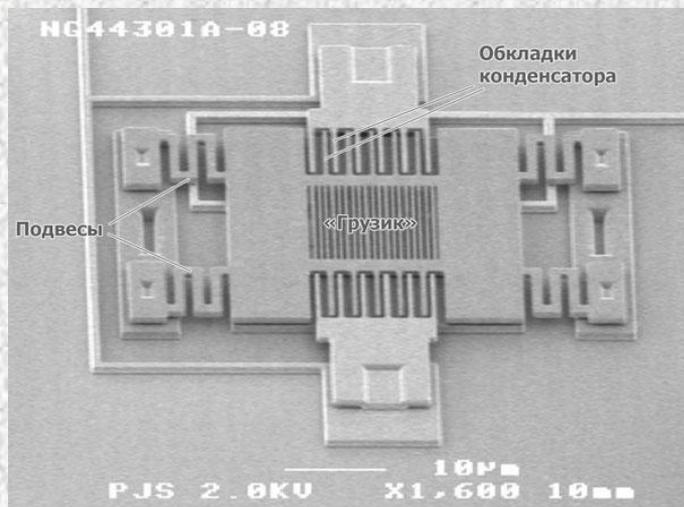


Принцип работы конденсаторных акселерометров

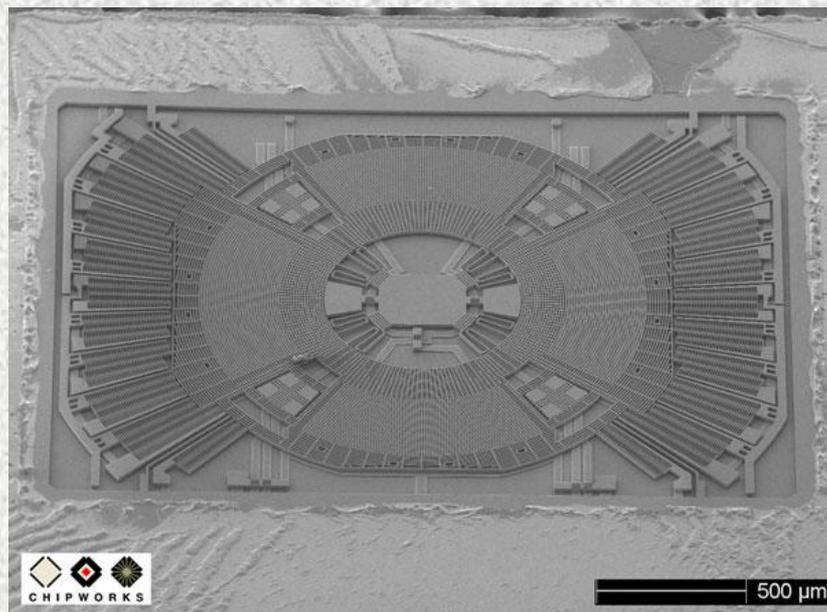


Принцип работы пьезоэлектрических акселерометров

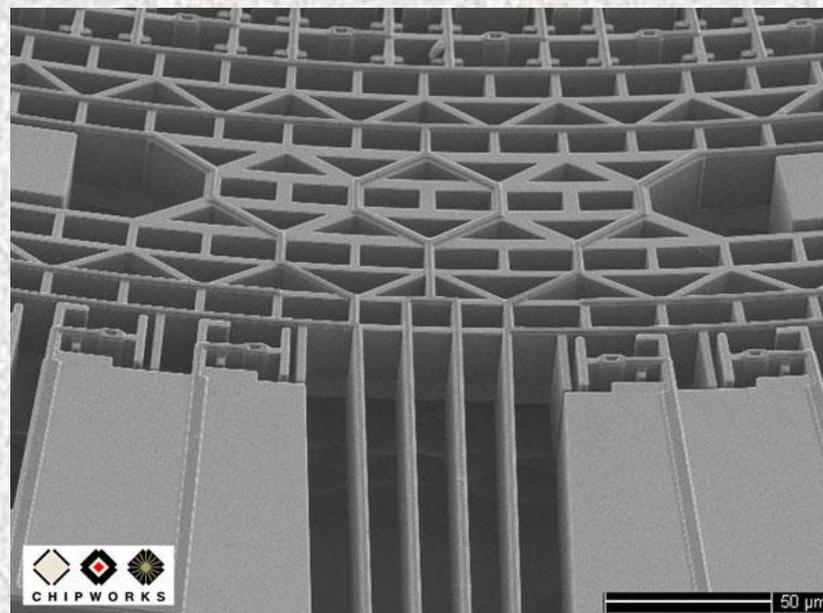
# Датчики с использованием MEMS-технологии



MEMS - акселерометр

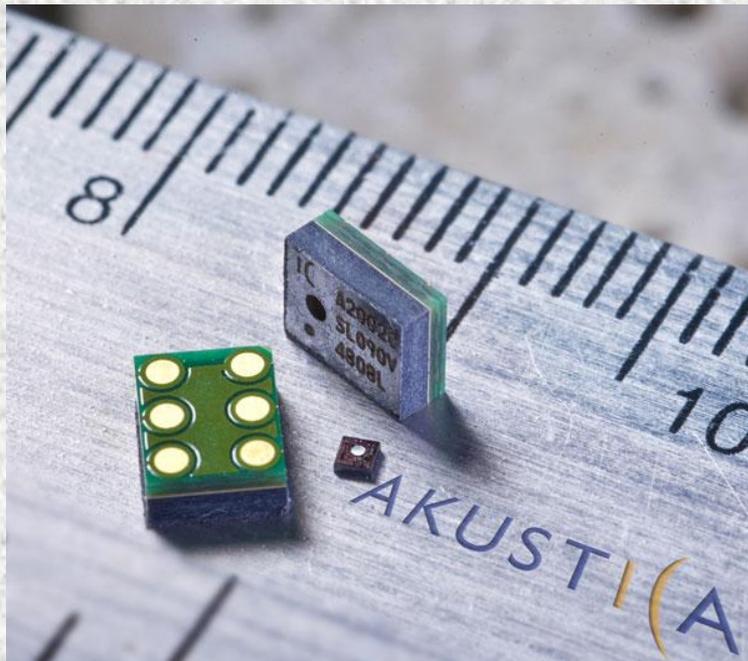
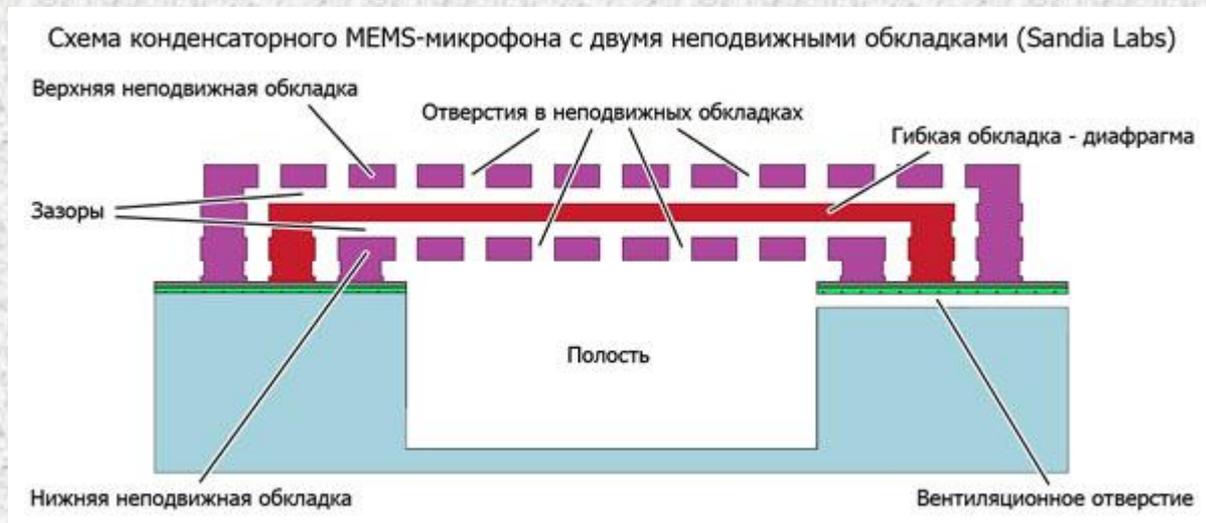


Гироскоп ST Microelectronics – LYPR540AH



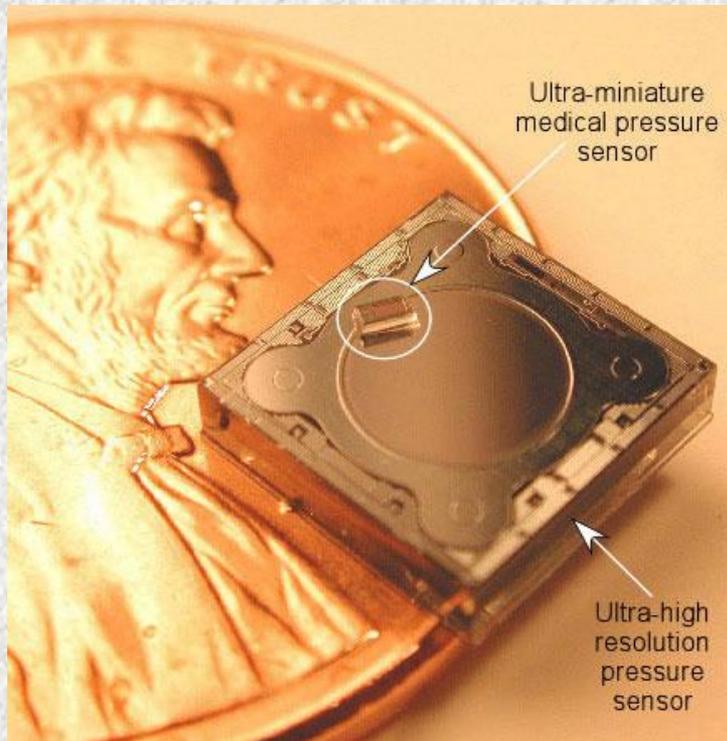
Крупный план конструкции гироскопа STM LYPR540AH

# Датчики с использованием MEMS-технологии



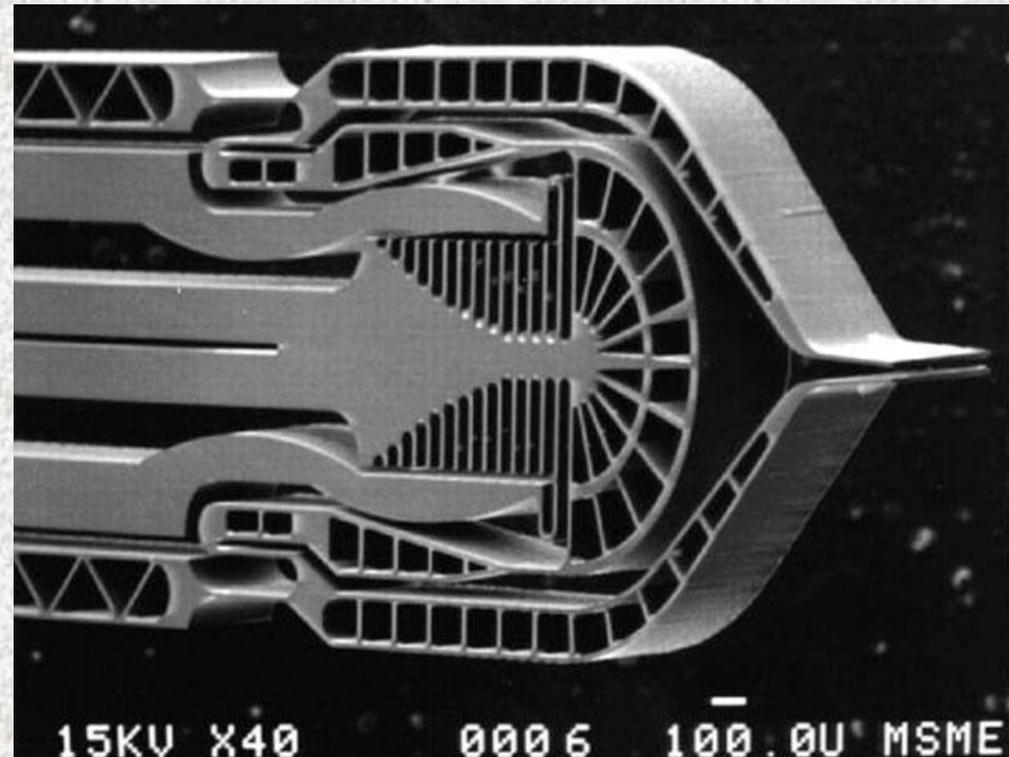
Самый миниатюрный MEMS-микрофон компании Akustica (площадь кристалла – 1 кв.мм)

# Датчики с использованием MEMS-технологии



Ультеракомпактный и высокоточный датчики давления

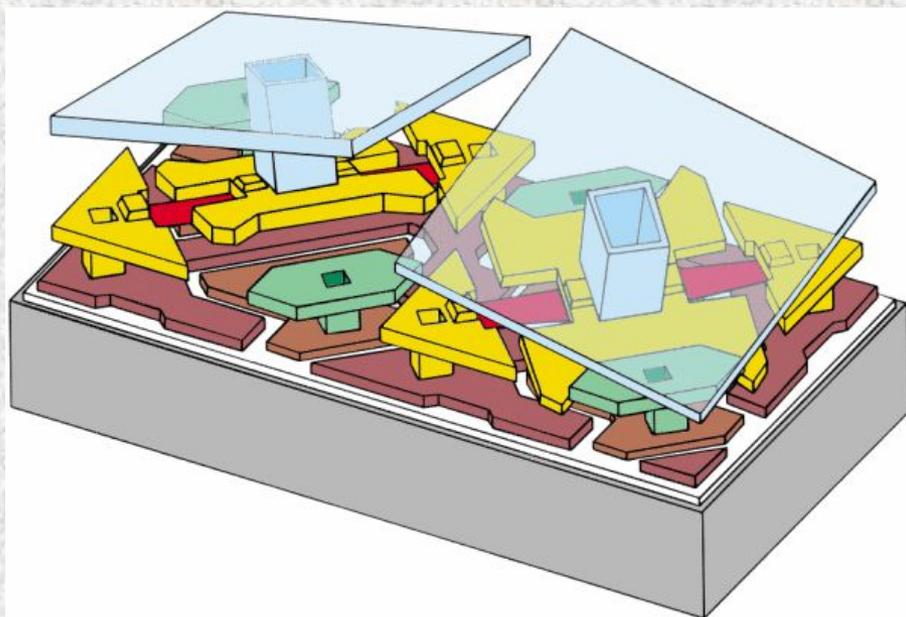
Прототип щипцов для микрохирургии глаза. Размеры головки щипцов – порядка 1,5x1,5 миллиметра. Толщина губ – несколько десятков микрон



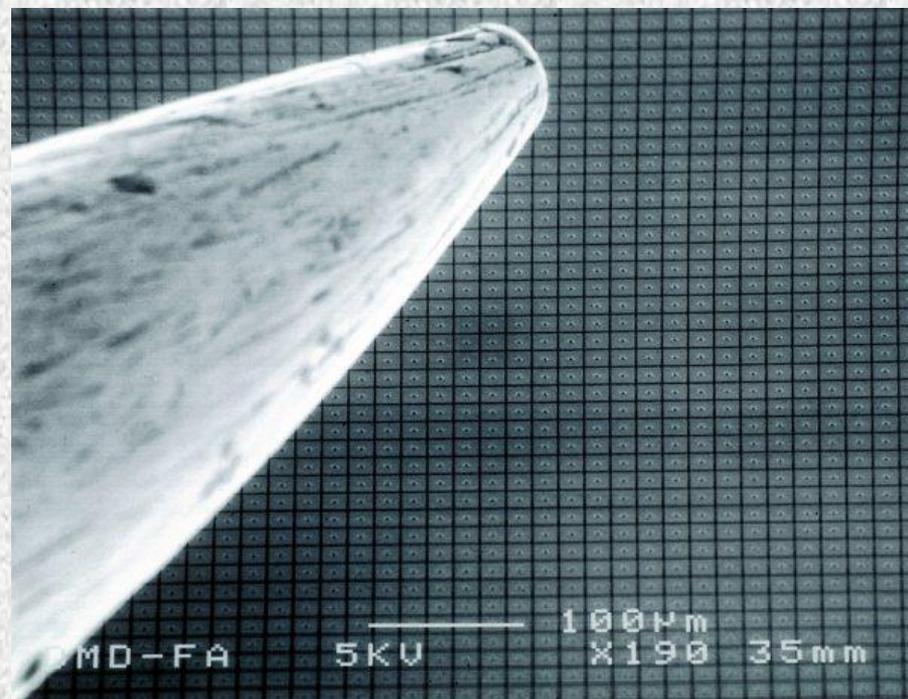
# Датчики с использованием MEMS-технологии



DLP-проектор (DLP – Digital Light Processing)

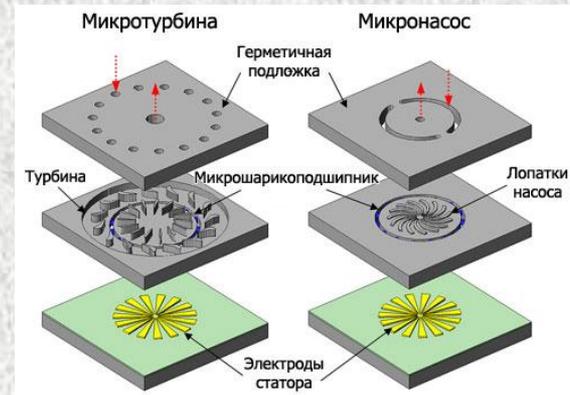
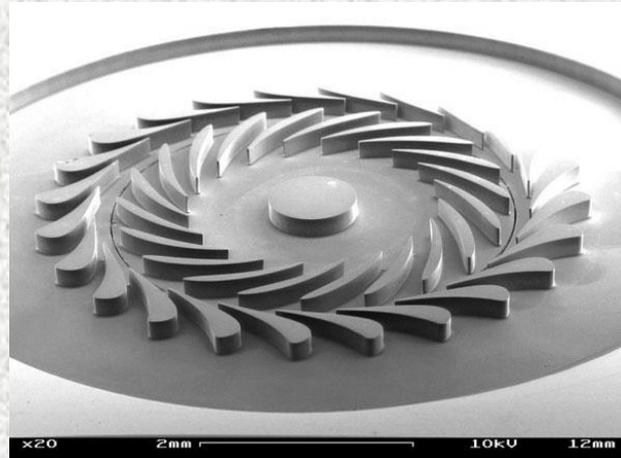


Два подвижных микрозеркала на подложке

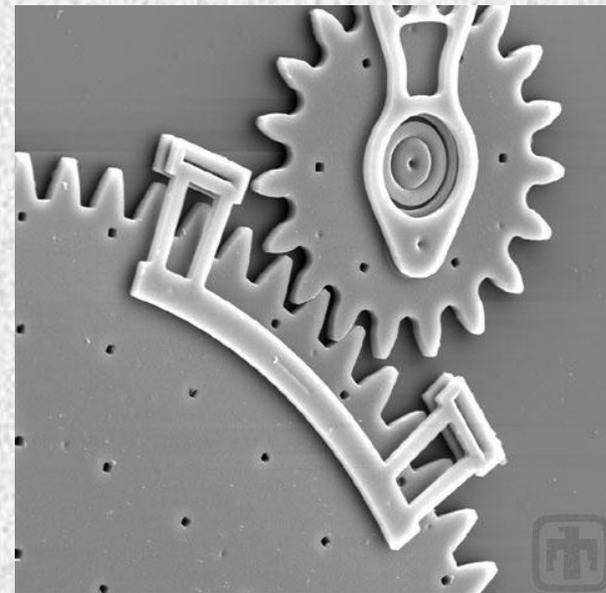
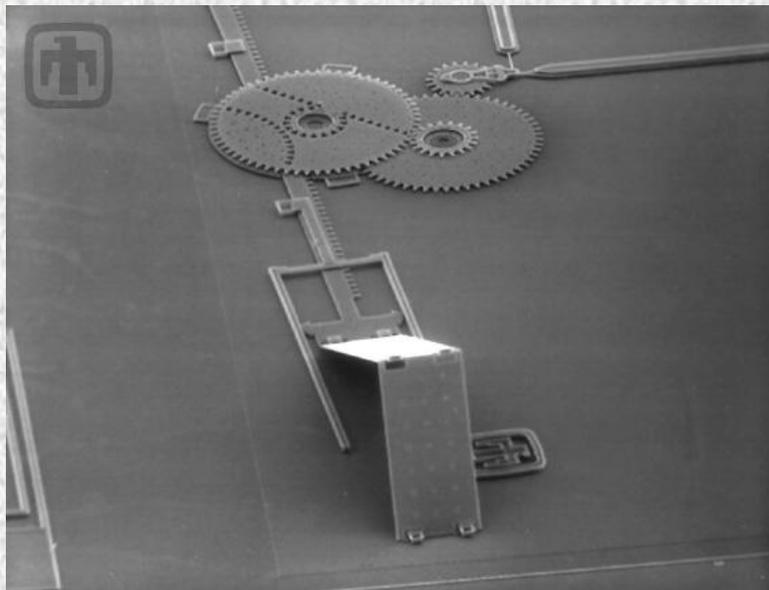


Матрица микрозеркал в сравнении с острием иглки

# Датчики с использованием MEMS-технологии



Пример изготовления микротурбин/микронасосов



Микрозеркало с изменяемым углом наклона

### 3.1.1. Перспективные направления в области сенсорики

---

#### Использованные источники:

1. Саленко Д.С. История развития и области применения технологии MEMS/Автоматика и программная инженерия. 2013, №3(5). 68-74с. [Электронный ресурс]:

<http://www.jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-3-2013-13.pdf> (Дата обращения: 11.03.2021). Режим доступа: свободный.

2. 3D News/MEMS: микроэлектромеханические системы [сайт]: <https://3dnews.ru/600098> (Дата обращения: 11.03.2021). Режим доступа: свободный.

## 3.1.2. Классификация датчиков

---

### 1. По способу формирования выходного сигнала:

- 1) пассивные;
- 2) активные.

**Активные датчики** не нуждаются в дополнительном источнике энергии и в ответ на изменение внешнего воздействия на его выходе всегда появляется электрический сигнал.

Примерами пассивных датчиков являются *термопары, фотодиоды, пьезоэлектрические чувствительные* элементы и др.

**Пассивный датчик** для своей работы требует внешней энергии, называемой сигналом возбуждения.

Примеры: *терморезисторы, тензорезисторы* и др.

### 2. В зависимости от выбора точки отсчета:

- 1) абсолютные;
- 2) относительные.

**Абсолютный датчик** определяет внешний сигнал в абсолютных физических единицах, не зависящих от условий проведения измерений.

Выходной сигнал **относительного датчика** в каждом конкретном случае может трактоваться по-разному.

## 3.1.2. Классификация датчиков

---

### 3. По виду преобразуемых величин:

**1. Датчики механических величин.** Служат для преобразования линейных и угловых перемещений, силовых воздействий (механические силы, моменты, давление, акустические сигналы и т.п.), величин, характеризующих движение (скорость, расход газа и жидкости, ускорение).

Например: *тензорезисторные, пьезоэлектрические, индуктивные, емкостные, реостатные, струнные, трансформаторные.*

**2. Датчики состояния вещества.** Преобразуют температуру, электрические и магнитные поля, ионизирующее излучение, световую и химическую энергию и т.д.

К их числу относятся: *термопары и пирозлектрические преобразователи, датчики Холла, индукционные, полупроводниковые детекторы излучения, фоторезисторы, фотодиоды и др.*

**3. Датчики состава вещества** в газообразной, жидкой и твердой фазах. Основаны на физико-химических и физических эффектах.

К данной группе относятся: *хроматографические датчики, тепловые, магнитные и ионизационные датчики, электрохимические датчики.*

## 3.1.2. Классификация датчиков

---

Применяемые в настоящее время датчики служат, в основном, для восприятия следующих физических и физико-химических полей:

- 1. Механические поля:** тензорезисторы, тензодиоды, тензотранзисторы, диод Ганна, интегральные мембранные преобразователи давления.
- 2. Акустические поля:** пьезо- и тензопреобразователи.
- 3. Электрические и магнитные поля:** микроэлектроды, датчики Холла, магниторезисторы, магнитодиоды, магнитотиристоры.
- 4. Теплофизические поля:** терморезисторы, диоды, транзисторы, тиристоры.
- 5. Световые поля:** фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фотопреобразователи на ПЗС-структурах.
- 6. Физико-химические поля:** химотронные (электрохимические, электродиффузионные, полярографические) датчики, иончувствительные датчики на полевых транзисторах.

### 3.1.3. Метрологические характеристики датчиков

---

На практике наиболее часто распространены следующие МХ СИ.

**Диапазон измерений** – область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые пределы погрешности СИ.

**Пределы измерения** – наибольшее и наименьшее значения диапазона измерений. Применяются понятия верхний предел измерения и нижний предел измерения.

**Функция преобразования (градуировочная характеристика)** – это зависимость между информационным параметром  $y$  выходного сигнала измерительного прибора и значением измеряемой величины  $x$  воздействующей на его вход.

Общий вид функции преобразования:

$$y = f(x) \quad (1)$$

### 3.1.3. Метрологические характеристики датчиков

#### 1) линейная зависимость

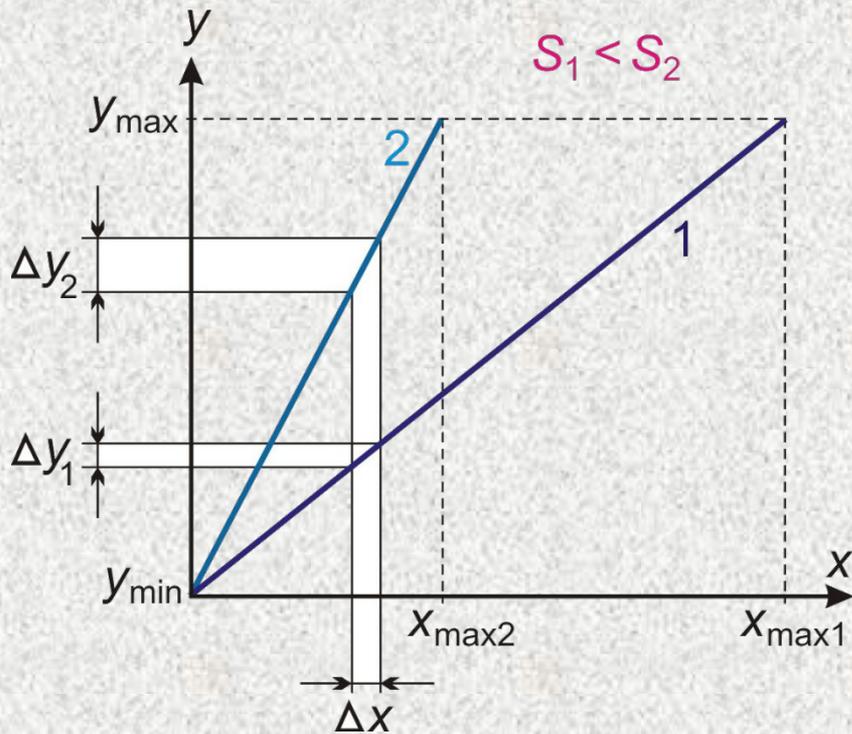


Рис. 1.

Общий вид функции преобразования:

$$y = a \cdot x + b \quad (2)$$

где  $b$  – постоянное смещение;  
 $a$  – крутизна ( $S$ ,  $K$  – чувствительность)

Для заданной ФП справедливо равенство:

$$a = K = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y}{x} = const \quad (3)$$

### 3.1.3. Метрологические характеристики датчиков

#### 2) нелинейная зависимость

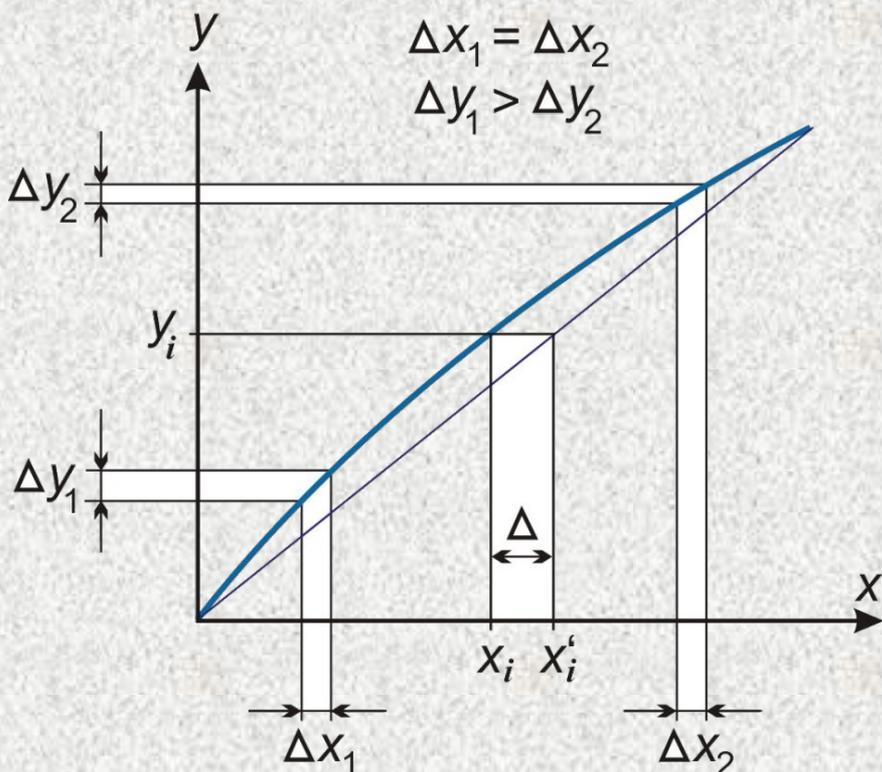


Рис. 2.

Способы описания нелинейной ФП:

1) в виде полинома:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \quad (3)$$

2) с помощью кусочно-линейной аппроксимации.

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \text{var} \quad (4)$$

### 3.1.3. Метрологические характеристики датчиков

**Гистерезис** – разность значений выходного сигнала для одного и того же входного сигнала, полученных при его возрастании и убывании (см. рис. 3).

**Порог чувствительности прибора** – наименьшее значение измеряемой величины  $x_0$ , вызывающее различимое изменение показания прибора (см. рис. 4).

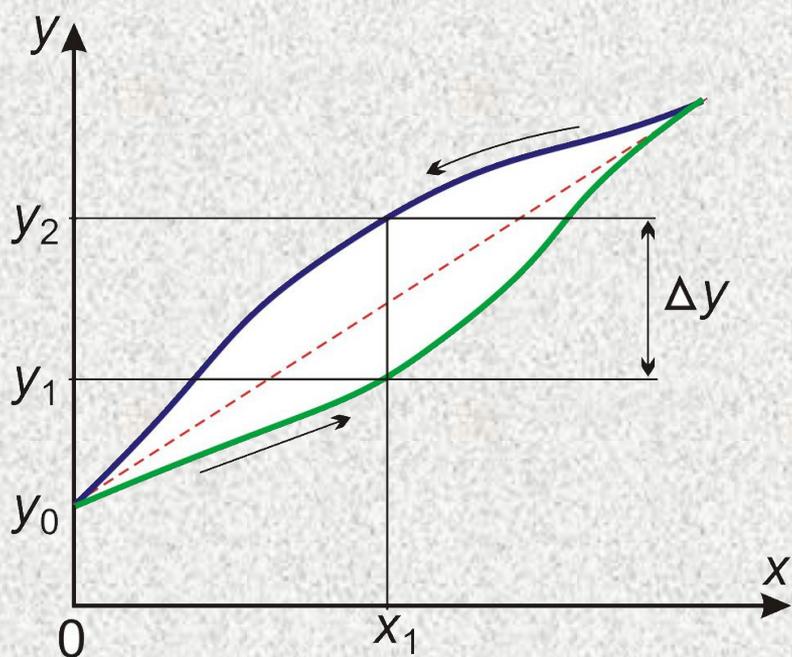


Рис. 3.

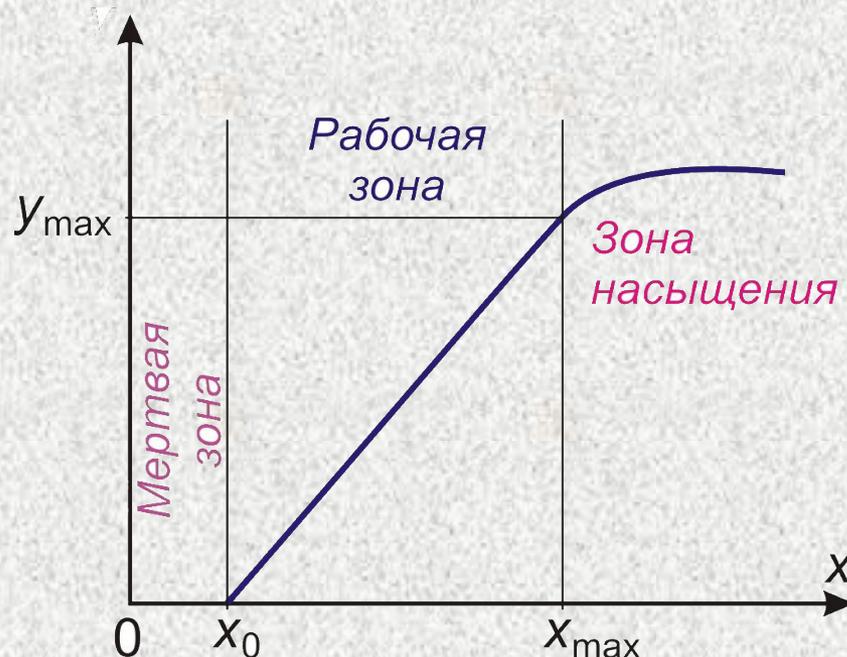
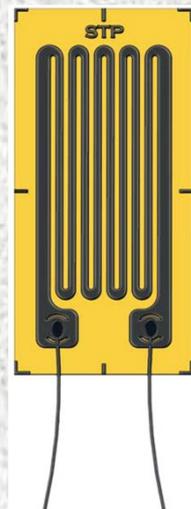


Рис. 4.

### 3.1.3. Метрологические характеристики датчиков

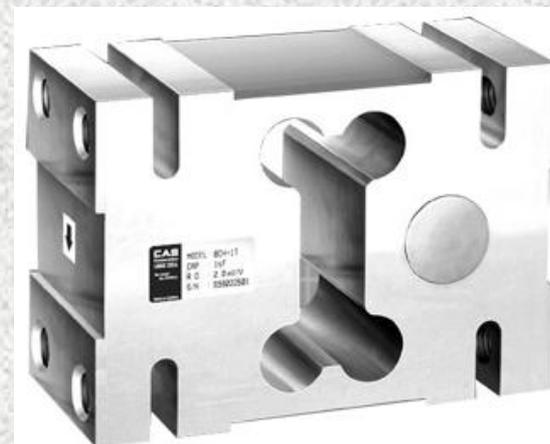
---



Пример тензодатчика  
S-образного типа

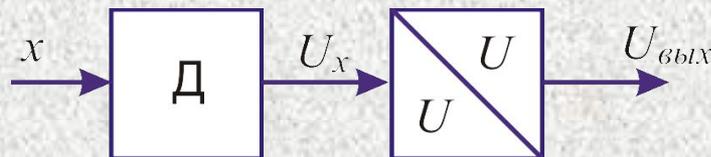
Примеры тензорезисторов

Пример тензодатчика  
консольного типа



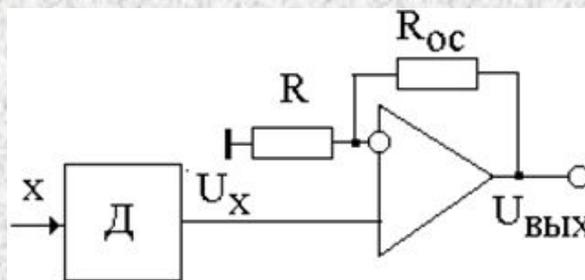
## 3.1.4. Сопряжение датчиков с измерительной системой

### Датчики с потенциальным выходом



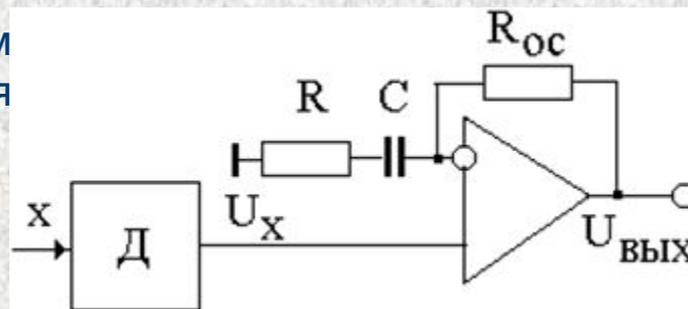
Системное представление устройства сопряжения датчика

Типовые схемы сопряжения на основе ОУ



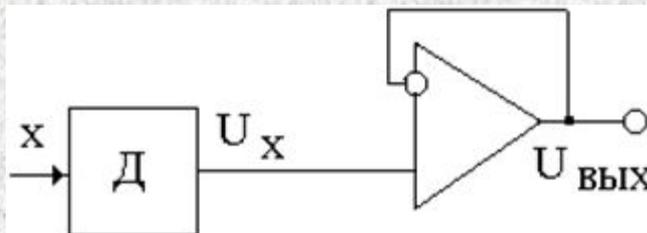
$$U_{\text{вых}} = U_x \left( \frac{R_{oc}}{R} + 1 \right)$$

Сопряжение с усилением переменного напряжения



$$U_{\text{вых}}(j\omega) = U_x \left( \frac{R_{oc}}{R + \frac{1}{\omega C}} + 1 \right)$$

Сопряжение по сопротивлению на основе повторителя напряжения



### 3.1.4. Сопряжение датчиков с измерительной системой

#### Датчики с токовым выходом

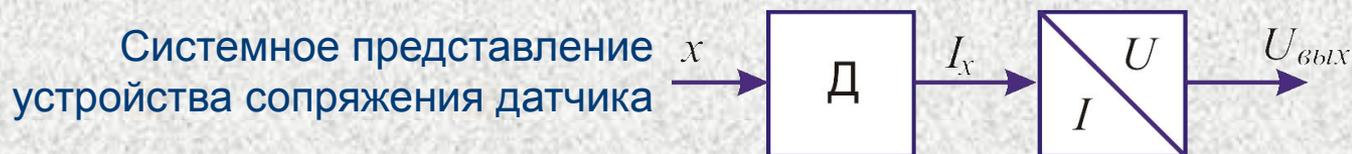
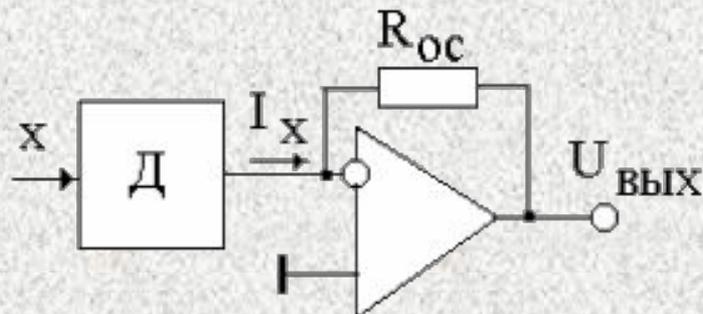
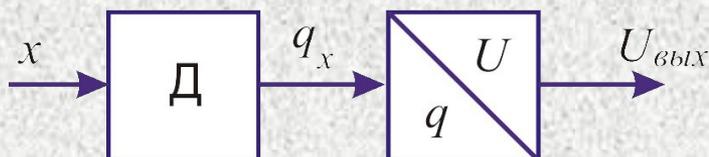


Схема сопряжения на основе ОУ



$$U_{\text{вых}} = -I_x R_{\text{ос}}$$

#### Датчики электрического заряда



Системное представление устройства сопряжения датчика

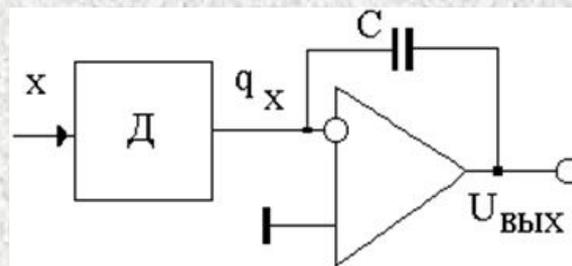


Схема сопряжения на основе ОУ

### 3.1.4. Сопряжение датчиков с измерительной системой

#### Резистивные датчики

Системное представление устройства сопряжения датчика

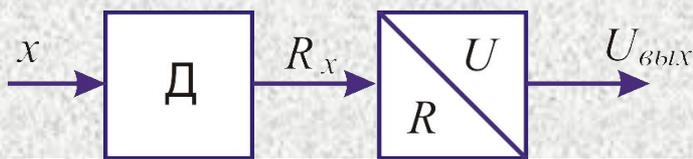
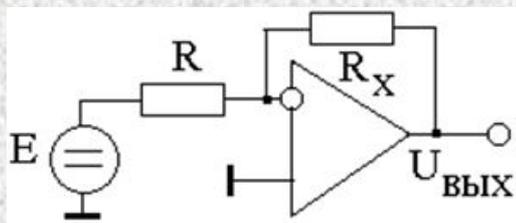
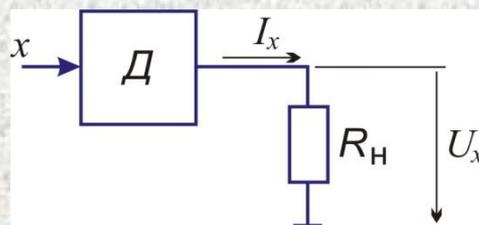
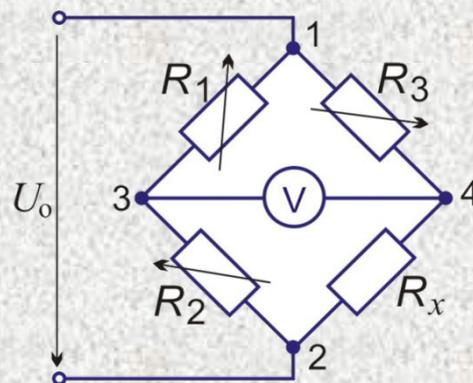
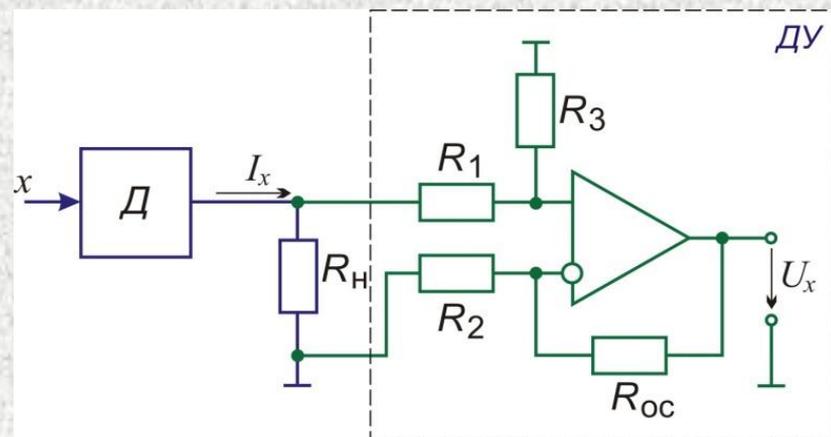


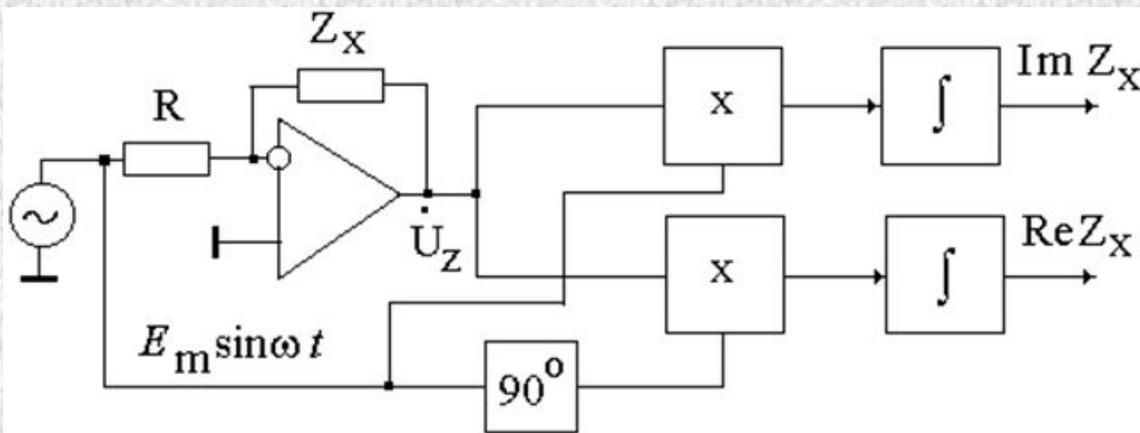
Схема включения резистивного датчика



$$U_{\text{вых}} = -\frac{ER_x}{R}$$



### 3.1.4. Сопряжение датчиков с измерительной системой



$$\operatorname{Re} Z_x(j\omega) = (k/T) \int_0^T U_z(t) \cos \omega t dt$$
$$\operatorname{Im} Z_x(j\omega) = (k/T) \int_0^T U_z(t) \sin \omega t dt$$

Включение датчика с импедансным выходом

---

## Темы для самостоятельного изучения

- Унифицирующие измерительные преобразователи
- Аналоговые коммутаторы
- АЦП
- ЦАП

## 2.1.3. Метрологические характеристики датчиков

---

**Конец презентации**

**Спасибо за внимание!**