ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА АВТОМАТИКИ

Преподаватель: Дәуренов Ә.Д

ЛЕКЦИЯ №3. СЕНСОРЫ И ДАТЧИКИ

На предыдущей лекции были рассмотрены понятия:

- системы автоматического управления (САУ);
- основных элементов САУ: датчика, преобразователя, контроллера/регулятора, исполнительного устройства и объекта управления;
- заданного и фактического значения, регулируемой величины и ошибки регулирования;
- возмущающего воздействия и обратной связи;
- основных принципов управления: разомкнутого управления, управления по возмущению и управления по отклонению (обратной связи);
- классификации САУ: по наличию обратной связи, характеру сигналов и характеру задания.

Одним из важнейших элементов системы автоматического управления является датчик, который обеспечивает систему информацией о фактическом состоянии объекта управления. В данной лекции более подробно рассмотрим назначение, принципы работы, классификацию и основные характеристики датчиков.

Цель лекции

- Сформировать понимание роли датчиков в системах автоматического управления,
- принципов их работы,
- основных классификаций и характеристик.

После лекции студент должен уметь объяснить цепочку:

Физическая величина → Датчик → Измерительный сигнал → Контроллер → Управляющее воздействие

СЕНСОРЫ И ДАТЧИКИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИКИ

Датчик — устройство, которое воспринимает физическую величину объекта или окружающей среды и преобразует её в сигнал, удобный для дальнейшей обработки.



Температура
термопара, Pt100



Давление
датчик давления



Уровень
ультразвуковой датчик



Положение
индуктивный датчик



Скорость
энкодер



Освещённость
фотоэлектрический датчик



Расстояние
ультразвуковой датчик



Влажность
датчик влажности

Датчик — это «глаза и уши» автоматической системы.

Физическая величина
(температура, давление, уровень и т.д.)

→

ДАТЧИК
Преобразует физическую величину в электрический сигнал

→ **Электрический сигнал**
(4–20 мА, 0–10 В, импульсы и т.д.)

ПЛК / контроллер
Обработка сигнала и управление технологическим процессом

Место датчика в системе автоматического управления

Датчик находится в цепи обратной связи и сообщает контроллеру фактическое состояние объекта.

Заданное значение
r(t)

↓

Контроллер
(ПЛК / регулятор)

↓ **u(t)**

Исполнительное устройство
(клапан, насос, нагреватель и т.д.)

↓

Объект управления
(технологический процесс)

↓ **y(t)**

Датчик
(измеряет y(t))

Обратная связь ↑

Пример: система поддержания температуры



Пример работы системы

Задано:	температура 70 °C
Датчик измерил:	63 °C
Контроллер:	определяет ошибку (недогрев)
Нагреватель:	включается или увеличивает мощность
Температура:	повышается

Без датчика система не знает, что происходит с объектом управления.

Что именно делает датчик?

Работу датчика можно представить очень просто:

Физическая величина → преобразование → сигнал

Например, измеряем температуру:





Pt100
(датчик температуры)



1. Физическая величина

Температура среды

$T = 75\ °C$

2. Преобразование

Температура изменяет электрическое сопротивление чувствительного элемента (Pt100).

3. Электрический сигнал

Изменение сопротивления преобразуется в стандартный электрический сигнал (например, 4–20 мА).

В общем случае:

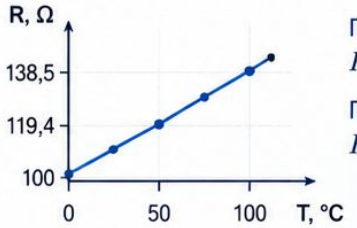
$$Y = f(X)$$

Например:

Температура T → Напряжение U

Давление P → Ток I

Пример для температуры (Pt100):



При 0 °C: $R \approx 100\ \Omega$

При 100 °C: $R \approx 138{,}5\ \Omega$

Датчик связывает физический мир с системой управления.

Он измеряет физическую величину и преобразует её в электрический сигнал, удобный для дальнейшей обработки контроллером.

Физическая величина: X
преобразуется в выходной
сигнал: Y

Принцип работы ультразвукового датчика уровня

Датчик устанавливается над жидкостью и измеряет время прохождения ультразвукового сигнала.

1 Излучение ультразвука

Датчик отправляет короткий ультразвуковой импульс вниз.



2 Отражение от поверхности

Импульс отражается от поверхности жидкости и возвращается обратно к датчику.



3 Измерение времени

Датчик измеряет время t между излучением и приёмом отражённого сигнала.



4 Расчёт расстояния и уровня

Зная скорость звука v, можно определить расстояние до поверхности жидкости:

$$d = \frac{v \cdot t}{2}$$

Деление на 2 необходимо, потому что ультразвук проходит путь до поверхности и обратно.

Если известна высота резервуара H, уровень жидкости:

$$L = H - d$$

Где:
- v — скорость звука в воздухе (≈ 343 м/с при 20 °C)
- t — измеренное время прохождения сигнала (с)
- d — расстояние до поверхности жидкости (м)
- H — высота резервуара (м)
- L — уровень жидкости (м)

5 Пример расчёта

Высота резервуара $H = 5$ м, датчик определил расстояние до воды $d = 1{,}2$ м.



$$L = H - d$$
$$L = 5 - 1{,}2 = 3{,}8 \text{ м}$$

Уровень жидкости (физическая величина) → **Ультразвуковой датчик** (измеряет время t) → **Расстояние d** (по формуле • $d = v \cdot t / 2$) → **Уровень L** ($L = H - d$) → **Электрический сигнал** (например, 4–20 мА) → **PLC** (отображение и управление)

Принцип работы датчика давления

Пример: пьезорезистивный датчик давления (промышленный)

1 Давление

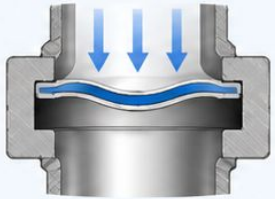
Давление жидкости или газа действует на мембрану.



Давление P
(жидкость/газ)

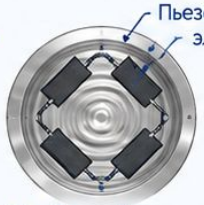
2 Деформация мембраны

Металлическая мембрана немного деформируется под действием давления.



3 Изменение сопротивления

На мембране расположены пьезорезистивные элементы, сопротивление которых изменяется при деформации.



Мембрана (вид сверху)

4 Электрический сигнал

Изменение сопротивления преобразуется в электрический сигнал (обычно 4–20 мА) с помощью встроенной электроники.



5 Контроллер (PLC)

Сигнал 4–20 мА поступает на вход ПЛК, который использует его для контроля и управления процессом.





Реальный пример

WIKA S-20
Пьезорезистивный преобразователь давления

- Диапазоны: от 0...1 bar до 0...600 bar
- Выходной сигнал: 4–20 мА (также 0–10 В)
- Применение: вода, масло, воздух, пар, газы

Пример настройки диапазона 0–10 bar

Давление, bar	Выходной сигнал, мА
0	4
5	12
10	20

Зависимость линейная: чем больше давление, тем больше выходной ток.

Итоговая цепочка преобразования

Давление P → Деформация мембраны → ΔR (изменение сопротивления) → 4–20 мА → PLC

Этот пример показывает разницу между чувствительным элементом (мембрана + пьезорезисторы) **и измерительным преобразователем** (электроника).

Пример: измерение температуры

Рассмотрим промышленный процесс.

Допустим, необходимо контролировать температуру воды в резервуаре.

1. Объект управления (резервуар с водой)



Температура (физическая величина)

T

80 °C

2. Датчик температуры (Pt100)



Pt100
(термосопротивление)

Pt100 непосредственно реагирует на температуру изменением электрического сопротивления.

Электрическое сопротивление

R

(например, ≈ 130,9 Ω при 80 °C)

3. Измерительный преобразователь



Преобразует изменение сопротивления Pt100 в стандартный электрический сигнал (4–20 мА).

Стандартизованный сигнал

I

4–20 мА

4. ПЛК (контроллер)



ПЛК принимает стандартный сигнал 4–20 мА, преобразует его в значение температуры (например, 80 °C) и использует его для управления процессом.

Главная идея:

В промышленной системе часто используется измерительный преобразователь, потому что ПЛК удобнее работать со стандартизированными электрическими сигналами.

Стандартные сигналы:

- 4–20 мА (аналоговый)
- 0–10 В (аналоговый)
- HART, Profibus, Modbus (цифровые)

Основные функции датчиков

У датчика можно выделить три основные функции: восприятие, преобразование и передача информации.

1 Восприятие

Датчик реагирует на физическую величину объекта или окружающей среды.

- Температура
- Давление
- Уровень
- Положение
- Скорость
- Влажность
- Освещённость



и т. д.

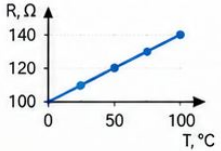
2 Преобразование

Физическая величина преобразуется в другой параметр, чаще всего электрический.



Датчик температуры (Pt100)

Изменение сопротивления



Например, для Pt100:
при 0 °C ≈ 100 Ω
при 100 °C ≈ 138,5 Ω



Измерительный преобразователь
(нормализация сигнала)

Стандартный сигнал

4–20 мА

3 Передача информации

Полученный сигнал передаётся системе обработки или управления.



ПЛК / контроллер
(обработка сигнала и управление процессом)

Пример полной цепочки на промышленном объекте:



Объект
(резервуар с водой)
T = 80 °C



Датчик
(Pt100)

Сопротивление
(например, 130,9 Ω)
при 80 °C)



Преобразователь
(4–20 мА)

4–20 мА



ПЛК
(контроллер)

Датчик связывает физический мир с системой управления, выполняя три функции: **восприятие, преобразование** и передачу информации.

Классификация датчиков

Датчики можно классифицировать по нескольким признакам.

- Измеряемая величина
- Принцип действия
- Выходной сигнал

Также можно классифицировать:
- по взаимодействию с обьектом;
- по формированию сигнала;
- по способу передачи информации.

Классификация по измеряемой величине

Датчики различаются по тому, какую физическую величину они измеряют.

Температура

Измеряют температуру жидкостей, газов и твёрдых тел.



Термопара (ТС)



Терморезистор (RTD, Pt100)



Полупроводниковый датчик (например, LM35)



Термодатчик с преобразователем (4–20 мА)

Пример применения:
контроль температуры в резервуаре.

Давление

Измеряют избыточное, абсолютное или дифференциальное давление.



Пьезорезистивный датчик давления



Пьезоэлектрический датчик давления



Ёмкостный датчик давления

Пример применения:
контроль давления в трубопроводе.

Положение и перемещение

Измеряют линейное или угловое положение, перемещение, скорость.



Потенциометрический датчик (линейное перемещение)



Индуктивный датчик приближения



Энкодер (угловое положение)

Пример применения:
определение положения привода или скорости вращения.

Уровень

Измеряют уровень жидкостей, сыпучих материалов или границу раздела сред.



Поплавковый датчик уровня



Ёмкостный датчик уровня



Ультразвуковой датчик уровня



Гидростатический датчик уровня

Пример применения:
контроль уровня воды в резервуаре.

Расход

Измеряют объёмный или массовый расход жидкостей, газов и пара.



Электромагнитный расходомер



Турбинный расходомер



Ультразвуковой расходомер

Пример применения:
учёт расхода воды, пара или газа в трубопроводе.

Важно! Один и тот же физический принцип (например, ультразвук) может использоваться для измерения разных величин (уровень, расстояние, расход). Классификация по измеряемой величине показывает, что именно контролирует датчик.

Классификация по принципу действия

Теперь классифицируем не по тому, что измеряем, а по тому, **как работает датчик.**

Резистивный

Измеряемая величина вызывает изменение электрического сопротивления.



Пример:
Pt100 (датчик температуры)

Термоэлектрический

Возникает термоЭДС при разности температур (эффект Зеебека).



Пример:
термопара

Индуктивный

Изменение индуктивности при приближении металлического объекта.



Пример:
индуктивный датчик приближения

Ёмкостный

Изменение ёмкости между электродами при изменении среды или расстояния.



Пример:
ёмкостный датчик уровня

Фотоэлектрический

Использует световое излучение и приём отражённого или прерванного сигнала.



Пример:
оптический датчик

Пьезоэлектрический

Генерация электрического заряда при механическом воздействии (давление, вибрация).



Пример:
датчик давления/ вибрации

Ультразвуковой

Использует ультразвуковые волны и измеряет время их отражения.



Пример:
датчик расстояния/ уровня

Магнитный

Реагирует на магнитное поле (эффект Холла, магниторезистивный эффект и др.).



Пример:
Hall sensor
(датчик положения)

Пример: один параметр — разные принципы

Уровень жидкости можно измерять разными датчиками:



Поплавковый

Механическое воздействие поплавка на контакт или магнит.



Ёмкостный

Изменение ёмкости в зависимости от уровня жидкости.



Ультразвуковой

Измерение времени отражения ультразвукового сигнала.

Важно!

Одну и ту же физическую величину можно измерять разными физическими принципами.
Выбор принципа зависит от условий применения (среда, температура, точность, стоимость и т. д.).

Контактные и бесконтактные датчики

Классификация по способу взаимодействия с объектом.

Контактные датчики

Для измерения требуется физическое взаимодействие с объектом.

Примеры:

- концевой выключатель;
- контактный датчик температуры;
- поплавковый датчик.

Концевой выключатель



Механический контакт при нажатии.

Контактный датчик температуры



Требует контакта с измеряемой средой.

Поплавковый датчик



Контакт с жидкостью через поплавок.

Бесконтактные датчики

Физический контакт с объектом не требуется.

Примеры:

- индуктивный датчик;
- оптический датчик;
- ультразвуковой датчик;
- инфракрасный датчик.

Индуктивный датчик



Обнаружение металлических объектов.

Оптический датчик



Обнаружение объекта по отражённому свету.

Ультразвуковой датчик



Измерение расстояния по ультразвуковым волнам.

Инфракрасный датчик



Обнаружение объекта по ИК-излучению (световой барьер).

Пример: индуктивный датчик



Индуктивный датчик

Датчик определяет наличие металлического объекта **без** механического контакта, используя изменение индуктивности электромагнитного поля.

Важно!

Выбор контактного или бесконтактного датчика зависит от условий применения: среда, скорость, износ, требуемая точность и т. д.

Активные и пассивные датчики

Классификация по способу формирования электрического сигнала.

Термины могут различаться в разных источниках.
Здесь используется распространённая измерительная классификация.

Активные (генераторные) датчики

Сами формируют электрический сигнал под воздействием измеряемой величины. Внешнее питание не требуется (для чувствительного элемента).

Принцип:
Физическая величина → электрический сигнал

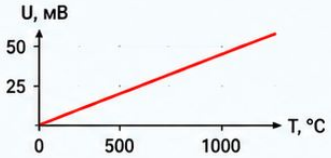
Примеры

Термопара



Эффект Зеебека: при разности температур на спае возникает ЭДС.

$$\Delta T \rightarrow U$$



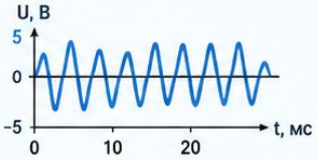
Пример: тип K ≈ 41 мкВ/°C

Пьезоэлектрический датчик



При механическом воздействии (давление, вибрация) на пьезоэлемент возникает электрический заряд (напряжение).

$$F \rightarrow Q\ (U)$$



Применение: измерение вибрации, динамического давления.

Пассивные (параметрические) датчики

Не формируют сигнал самостоятельно, а изменяют некоторый электрический параметр (R, C, L) под воздействием измеряемой величины. Требуется измерительная электрическая цепь (питание/мост/генератор).

Принцип:
Физическая величина → изменение параметра

$$R,\ C,\ L$$

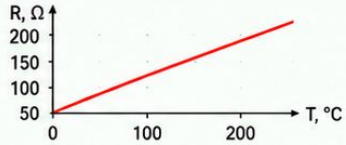
Примеры

Терморезистор (Pt100)



Сопротивление платины увеличивается с ростом температуры.

$$T \uparrow \Rightarrow R \uparrow$$



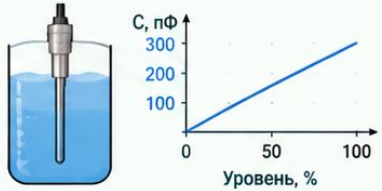
Для Pt100 (IEC 60751):
R_0 = 100 Ω при 0 °C, R ≈ 138,5 Ω при 100 °C

Ёмкостной датчик уровня



Ёмкость изменяется в зависимости от уровня жидкости (диэлектрической проницаемости среды).

$$L \uparrow \Rightarrow C \uparrow$$



Применение: непрерывное измерение уровня.

Ключевая разница

Активные датчики

- сами создают электрический сигнал;
- внешнее питание не требуется (для чувствительного элемента);
- примеры: термопара, пьезоэлектрический датчик.

Пассивные датчики

- изменяют электрический параметр (R, C, L);
- требуют измерительной цепи;
- примеры: Pt100, потенциометр, ёмкостной датчик.

Аналоговые и цифровые датчики

Датчики могут формировать аналоговый или цифровой выходной сигнал.

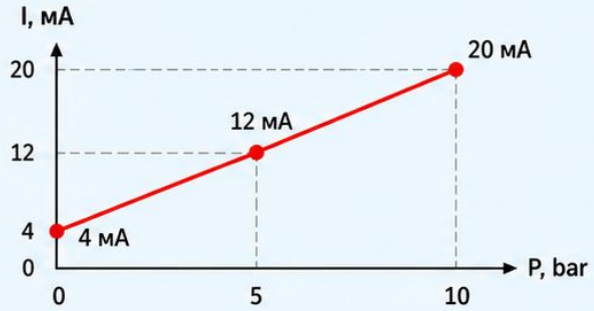
Оба типа сигналов широко применяются в промышленной автоматизации. Выбор зависит от задачи, требуемой точности и условий эксплуатации.

Аналоговый выход

Сигнал изменяется непрерывно и пропорционален измеряемой величине.



Датчик давления (4–20 мА)
WIKA A-10



Пример:

0 bar → 4 mA
5 bar → 12 mA
10 bar → 20 mA

Стандартные диапазоны:

- 0–10 V
- 4–20 mA (наиболее распространён)
- 0–20 mA

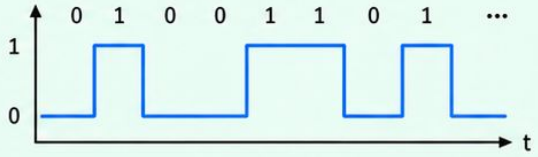
Цифровой выход

Информация передаётся в цифровой форме (дискретные значения или по цифровому протоколу).



Промышленный датчик температуры и влажности SICK THTL-2xx
Интерфейс: Modbus RTU (RS-485)

Последовательная передача данных (пример, Modbus RTU)



Пример (SICK THTL-2xx):

- цифровой интерфейс: Modbus RTU (RS-485);
- передача измеренных значений (температура, влажность и др.);
- высокая помехоустойчивость;
- возможность подключения к ПЛК и SCADA.

Важно!

- Аналоговый сигнал — непрерывное изменение (например, 4–20 мА).
- Цифровой сигнал — дискретные данные (например, Modbus, 1-Wire, IO-Link).
- Современные интеллектуальные датчики могут иметь цифровые интерфейсы и подключаться к промышленным сетям (Modbus, Profibus, Ethernet и т. д.).

Примеры цифровых интерфейсов:

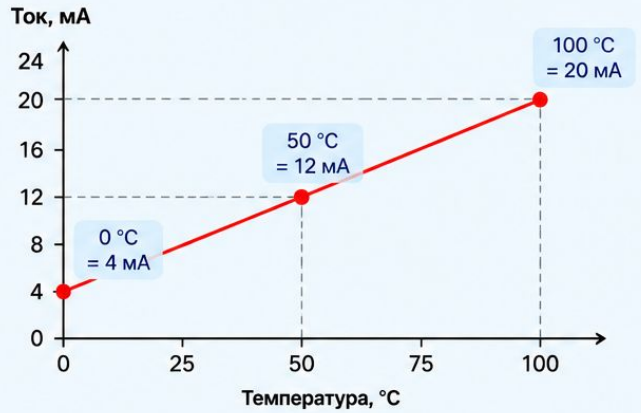
- Modbus RTU / Modbus TCP
- IO-Link
- Profibus
- Profinet
- Ethernet/IP
- 1-Wire (для простых датчиков)

Почему в промышленности используется 4–20 мА?

Это надёжный и простой стандартный токовый сигнал для передачи измерительной информации.

Пример: датчик температуры 0…100 °C

Линейная зависимость между температурой и током:



Формула пересчёта

Для линейной зависимости:

$$I = I_{\min} + \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \cdot (I_{\max} - I_{\min})$$

X — измеряемая величина (например, температура)
I — выходной ток, мА
$X_{\min}$, $X_{\max}$ — диапазон измерения
$I_{\min}$ = 4 мА, $I_{\max}$ = 20 мА

Пример расчёта

Диапазон: 0…100 °C → 4…20 мА

При 0 °C: $I = 4$ мА

При 50 °C: $I = 12$ мА

При 100 °C: $I = 20$ мА

Зависимость линейная. Каждые 25 °C соответствуют увеличению на 4 мА.

Почему не 0–20 мА?

- Наличие «живого нуля» (4 мА) позволяет отличить исправный датчик от обрыва цепи или потери питания.
- Больше помехоустойчивость.
- Широко принят в промышленных стандартах (IEC 60381, NAMUR).

Типовая схема подключения (двухпроводная система)



Преимущества 4–20 мА

- Контроль обрыва цепи (0 мА = неисправность).
- Высокая помехоустойчивость (токовый сигнал).
- Простая и надёжная реализация (двухпроводная схема).
- Широкая совместимость оборудования.
- Подходит для больших расстояний (сотни метров).

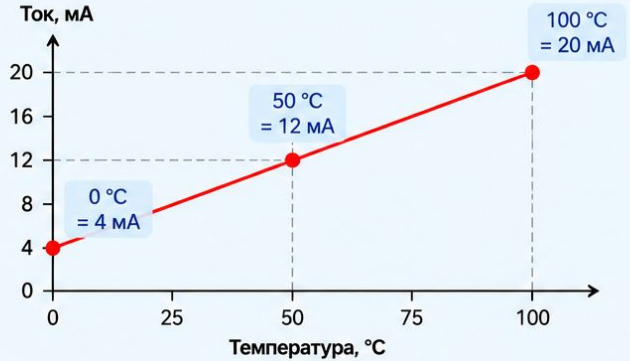
Вывод: 4–20 мА — это простой, надёжный и стандартизованный способ передачи аналоговой информации в промышленных системах автоматизации.

Почему в промышленности используется 4–20 мА?

Это надёжный и простой стандартный токовый сигнал для передачи измерительной информации.

Пример: датчик температуры 0...100 °C

Линейная зависимость между температурой и током:



Стандартный диапазон 4–20 мА

- 4 мА соответствует минимальному значению измеряемой величины.
- 20 мА соответствует максимальному значению.
- Ток изменяется пропорционально измеряемой величине.
- Стандарт широко применяется (датчики давления, температуры, уровня и т. д.).

Почему не 0–20 мА?

- Наличие «живого нуля» (4 мА) позволяет отличить исправный датчик от обрыва цепи или потери питания.
- Больше помехоустойчивость (меньше влияние наводок и шумов).
- Принят в международных промышленных стандартах (IEC 60381, NAMUR).
- Совместимость с большинством промышленного оборудования (ПЛК, контроллеры, вторичные приборы).

Типовая схема подключения (двухпроводная система)



Преимущества 4–20 мА

- Контроль обрыва цепи (0 мА = неисправность).
- Высокая помехоустойчивость.
- Простая и надёжная реализация (двухпроводная схема).
- Длинные линии передачи (сотни метров).
- Широкая совместимость оборудования.
- Подходит для разных физических величин.

Вывод: 4–20 мА — это простой, надёжный и стандартизованный способ передачи аналоговой информации в промышленных системах автоматизации.

Слайд 14. Основные характеристики датчиков

Чтобы правильно выбрать и применять датчик, важно понимать не только что он измеряет, но и **насколько хорошо** он это делает.

Диапазон измерения

Какой диапазон физических величин может измерять датчик.

Например: −50 ... +200 °C

Точность / погрешность

Насколько близко измеренное значение к истинному.

Например: ±0,2 °C (класс A)

Линейность

Насколько выходной сигнал пропорционален измеряемой величине.

Например: отклонение не более 0,1% от диапазона

Время отклика

Как быстро датчик реагирует на изменение измеряемой величины.

Например: $t_{90} \leq 2$ с



Чувствительность

Как сильно изменяется выходной сигнал при изменении измеряемой величины на единицу.

Например: для Pt100: ≈ 0,385 Ω/°C

Разрешение

Наименьшее изменение измеряемой величины, которое способен различить датчик.

Например: 0,1 °C (для цифрового датчика)

Повторяемость

Насколько стабильно датчик выдаёт одинаковые результаты при повторных измерениях в тех же условиях.

Например: ±0,1 °C

Вывод: Эти характеристики позволяют оценить, насколько датчик подходит для конкретной задачи и какие ограничения нужно учитывать при его применении.

Слайд 15. Диапазон измерения

Диапазон измерения — это интервал значений физической величины, в пределах которого датчик способен выполнять измерение с заданными характеристиками (точность, линейность и др.).

Пример:

−50 °C … +150 °C

Это означает:



Важно!

Если технологический процесс имеет значение вне диапазона измерения, такой датчик использовать нельзя.

Например:

Если в процессе

T = 250 °C

такой датчик использовать нельзя, так как 250 °C находится вне диапазона −50 … +150 °C.



Промышленный датчик температуры (Pt100)

Диапазон измерения:

−50 … +150 °C

Слайд 16. Чувствительность

Чувствительность показывает, насколько изменяется выходной сигнал при изменении входной (измеряемой) величины.

Формально:

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$

где:

ΔX — изменение измеряемой величины;
ΔY — изменение выходного сигнала.

Пример:

Температура увеличилась: 20 °C → 30 °C

Выход изменился: 2 V → 3 V

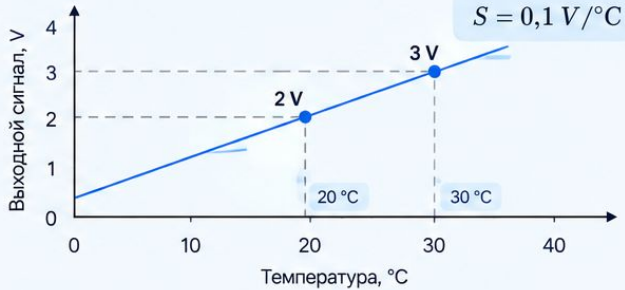
Тогда:

$$S = \frac{3-2}{30-20} = 0{,}1\,V/°C$$

То есть изменение температуры на **1 °C** вызывает изменение выхода на **0,1 V**.

Графическое представление

$S = 0{,}1\,V/°C$



Вывод: Чувствительность показывает, насколько сильно датчик реагирует на изменение измеряемой величины и помогает понять, как будет изменяться выходной сигнал.

Слайд 17. Погрешность измерения

Погрешность измерения — это разница между значением, которое показывает датчик, и истинным (реальным) значением измеряемой величины.

Пример

Реальная температура: $T_{real} = 50°C$

Датчик показывает: $T_{meas} = 51°C$

Абсолютная погрешность:

$$\Delta T = T_{meas} - T_{real}$$
$$\Delta T = 51 - 50 = 1°C$$



Важно понимать

- Ни один реальный датчик не измеряет абсолютно точно.
- Погрешность всегда есть.
- Она может быть положительной (датчик завышает показания) или отрицательной (занижает).
- В технической документации погрешность обычно указывается в °C, %, или в комбинации (например, ±0,5% от диапазона).

Вывод

Погрешность показывает, насколько показание датчика отличается от истинного значения.
Чем меньше погрешность, тем выше точность измерения.

Слайд 18. Разрешение

Разрешение — минимальное изменение измеряемой величины, которое датчик или измерительная система способна различить (показать как новое значение).

Пример 1. Датчик A (высокое разрешение)

Показания: 20.0 20.1 20.2 °C

Разрешение: **0.1°C**

Пример 2. Датчик B (низкое разрешение)

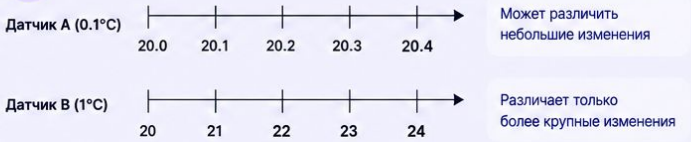
Показания: 20 21 22 °C

Разрешение: **1°C**

Важно

- Разрешение ≠ точность.
- Устройство может показывать много знаков после запятой, но это ещё не означает высокую точность.
- Разрешение зависит от конструкции датчика и измерительной системы (АЦП, дисплей, интерфейс).

Сравнение



Вывод

Разрешение показывает минимальный «шаг», который может различить датчик. Для детальных измерений нужно выбирать датчики с подходящим разрешением.

Слайд 19. Линейность

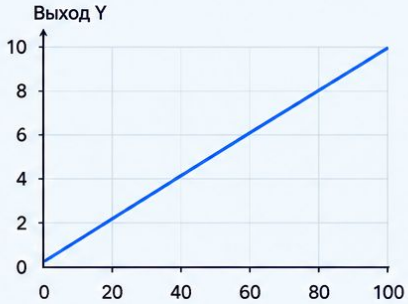
Линейность — это степень соответствия реальной характеристики датчика идеальной прямой линии в пределах рабочего диапазона.

Идеальная линейная зависимость:

$$Y = kX + b$$

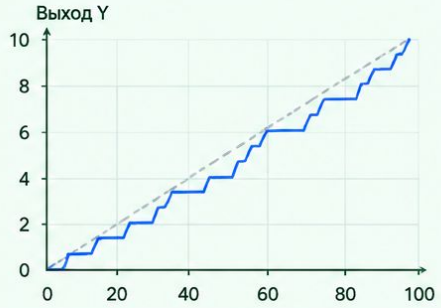
где:
X — входная (измеряемая) величина;
Y — выходной сигнал;
k — коэффициент (наклон);
b — смещение (сдвиг).

Идеальный датчик (линейная зависимость)



- Прямая линия
- Постоянная чувствительность
- Выход пропорционален входу

Реальный датчик (нелинейная характеристика)



- Есть отклонения от прямой линии (нелинейность)
- Чувствительность меняется в разных участках диапазона

Нелинейность

Нелинейность характеризует максимальное отклонение реальной характеристики от идеальной прямой.

$$\delta = \frac{Y_{real} - Y_{ideal}}{FS} \cdot 100\%$$

где:
Y_{real} — реальный выходной сигнал;
Y_{ideal} — идеальный (рассчитанный по прямой) выходной сигнал;
FS — полный диапазон выходного сигнала.

Важно понимать

- Идеально линейных датчиков не существует.
- Нелинейность влияет на точность измерения.
- В технической документации обычно указывается допустимая нелинейность (например, ±0,1% от диапазона).

Вывод: Линейность показывает, насколько реальная зависимость между входом и выходом близка к идеальной прямой линии.

Слайд 20. Время отклика

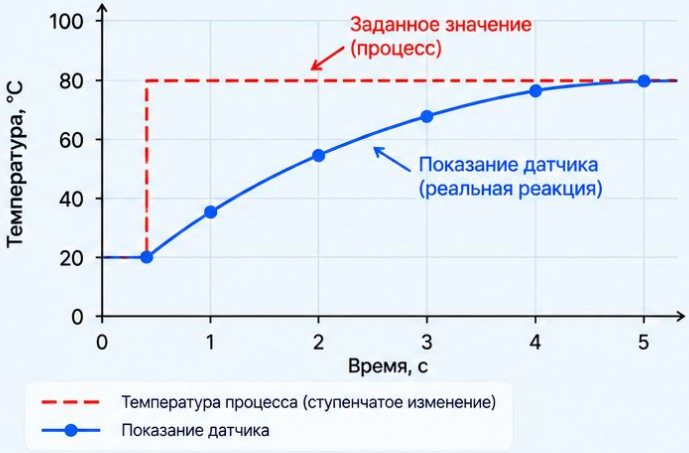
Время отклика — это время, за которое выходной сигнал датчика достигает и остаётся в заданной близости от нового значения после изменения входной величины.

Важно!

Датчик не всегда реагирует мгновенно.
Чем быстрее изменяется процесс,
тем важнее использовать быстродействующий датчик.

Пример: ступенчатое изменение температуры

Температура резко изменилась с 20 °C до 80 °C.



Числовой пример

Время t, с	Показание датчика, °C
0	20
1	35
2	55
3	70
4	78
5	80

Оценка времени отклика

Часто используют время отклика до 90% от изменения.

90% от 80 °C = 72 °C

Датчик достигает ≈ 72 °C примерно за **3 секунды**.
Значит, **время отклика ≈ 3 с** (по критерию 90%).

Важно понимать

Время отклика зависит от конструкции датчика, его тепловой инерции и условий установки (например, наличия защитной гильзы).

Где важен быстродействующий датчик?

- Аварийная защита (быстрое обнаружение перегрева, давления и т. д.).
- Управление двигателями и приводами.
- Контроль вибрации и динамических процессов.
- Робототехника и высокоскоростные технологические процессы.

Вывод

Время отклика показывает, насколько быстро датчик реагирует на изменение измеряемой величины.
Для быстро изменяющихся процессов необходимо использовать датчики с малым временем отклика.

Датчики в реальной автоматизированной системе

В реальной установке используется не один датчик. Для надёжного и безопасного управления процессом обычно измеряют несколько параметров одновременно.



Мы можем измерять одновременно:

- температуру;
- давление;
- уровень;
- расход.

Зачем несколько датчиков?

- Более полная картина процесса.
- Повышение безопасности.
- Точное и стабильное управление.
- Возможность обнаружения аварийных ситуаций.

Все данные поступают в контроллер:



Вывод: В большинстве промышленных систем используется несколько датчиков, а все данные поступают в контроллер для мониторинга и управления процессом.

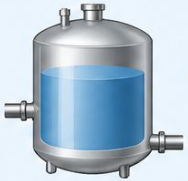
Это уже приближает студентов к реальной промышленной автоматизации.

Датчик как источник информации для автоматизации

Связаем всё вместе: цепочка автоматизации

В реальной установке все элементы работают как единая система — от физического процесса до воздействия на него и повторного измерения.

1. Физический процесс



В процессе происходят изменения параметров (температура, давление, уровень, расход и т. д.).

2. Датчик



Преобразует физическую величину в электрический сигнал (например, 4–20 mA).

3. Измерение



Сигнал передаётся по кабелю на измерительный вход контроллера (аналоговый или цифровой).

4. Обработка



Контроллер обрабатывает данные (фильтрация, масштабирование, алгоритмы, сравнение с уставками).

5. Решение



На основе измерений контроллер принимает решение (например, открыть клапан, включить насос, подать сигнал тревоги).

6. Исполнительное устройство



Выполняет команду контроллера (клапан, насос, нагреватель и т. д.).

7. Воздействие на процесс

Изменяется состояние процесса, и цикл повторяется.

Это и есть смысл автоматизации:

Измерить → обработать → принять решение → воздействовать → снова измерить.

Важно понимать

Все элементы (датчики, контроллер, исполнительные устройства) работают вместе, образуя замкнутый цикл управления технологическим процессом.

Использование нескольких датчиков и их совместная работа обеспечивает безопасность, стабильность и эффективность реальной промышленной установки.

Контрольные вопросы

1. Что называется датчиком?
2. Какую функцию датчик выполняет в САУ?
3. Что является входом и выходом датчика?
4. Чем датчик отличается от преобразователя сигнала?
5. По каким признакам классифицируют датчики?
6. Чем контактные датчики отличаются от бесконтактных?
7. В чём различие генераторных и параметрических датчиков?
8. Чем аналоговый выход отличается от цифрового?
9. Что означает диапазон измерения?
10. Что такое чувствительность?
11. Что такое погрешность?
12. Чем разрешение отличается от точности?
13. Что означает линейность?
14. Почему важно время отклика?
15. Какие параметры нужно учитывать при выборе датчика?
16. Какую роль датчик играет в цепи обратной связи?