



НАО “Карагандинский технический университет им.Абылкаса Сагинова”

Кафедра АПП им. проф. Бырьки В. Ф.



Дисциплина: “Интеллектуальные средства сбора информации”

**для студентов образовательной программы 6В07102»
– Встроенные цифровые системы управления**

Раздел №5

Тема: “Сбор, обработка, визуализация и хранение данных”

Цель: Научить студентов анализировать, интерпретировать и визуализировать данные с сенсоров.

**Лектор: ст. преп. каф. АПП
Лисицын Дмитрий Владимирович**



План

1. Сбор данных с датчиков в реальном времени.
2. Визуализация данных с сенсоров через графики и дашборды
3. Хранение данных и базовые методы анализа
4. Обратная связь и управление исполнительными устройствами

Сбор данных с датчиков в реальном времени

Понятие систем реального времени

Системы реального времени — это вычислительные системы, в которых **правильность результата определяется не только его корректностью, но и временем его получения.** В контексте интеллектуальных сенсорных узлов основной акцент делается на своевременном сборе, обработке и передаче данных.

Различают три класса систем реального времени:

- **жёсткого реального времени** — нарушение дедлайна приводит к аварии (по вибрации),
- **мягкого реального времени** — дедлайны желательно соблюдать, но допустимы редкие превышения (мониторинг температуры),
- **квазиреальное время** — реакция желательна, но не критична (периодическая телеметрия).

Сбор данных в реальном времени — фундамент сенсорных систем, обеспечивающий:

- своевременность реакции,
- надёжность диагностики,
- энергоэффективность,
- корректную работу алгоритмов машинного обучения и обнаружения аномалий.

Сбор данных с датчиков в реальном времени

Требования к датчику в задачах реального времени

- стабильная частота выборки, отсутствие дрейфа;
- известная и постоянная задержка (latency) от события до значения;
- высокая устойчивость к шуму и помехам;
- возможность работать при экстремальных условиях (температура, вибрации, электромагнитные нагрузки);
- предсказуемость поведения (SNR, динамический диапазон).

Современные интеллектуальные сенсорные системы работают в условиях, где ключевую роль играют **оперативность, точность и надёжность** получения информации. Сенсорный узел — это не просто устройство, измеряющее окружающие параметры. Это комплексный аппаратно-программный модуль, способный **непрерывно наблюдать за состоянием объекта**, преобразовывать физические величины в цифровые данные, **моментально реагировать на изменения**, выполнять локальную аналитику и взаимодействовать с внешними системами. Именно процесс **сбора данных в реальном времени** лежит в основе всей архитектуры интеллектуального сенсорного узла и определяет его функциональные возможности.

Сбор данных с датчиков в реальном времени

В традиционных измерительных системах данные часто собирались с задержкой: датчик регистрировал параметры, информация записывалась, затем передавалась на компьютер, где уже анализировалась. Сегодня такой подход недостаточен.

Большинство современных приложений — мониторинг технического состояния оборудования, умные сети, робототехника, автономные транспортные системы, медицинские портативные устройства, анализ вибраций, обнаружение утечек, контроль качества — требуют **непосредственного получения данных в момент измерения**, то есть с минимальной задержкой и гарантированной периодичностью выборки.

Работа с данными в реальном времени означает, что сенсорный узел должен обеспечивать:

1. Непрерывность измерений

Система должна поддерживать постоянный поток данных без пропусков и разрывов. Это особенно важно при измерениях, зависящих от частоты: виброанализ, акустический мониторинг, контроль быстрых динамических процессов.

2. Детерминированность временных характеристик

Частота измерений, задержки и отклонения должны быть предсказуемыми. Нестабильность во времени приводит к искажению спектральных характеристик сигналов и снижению достоверности анализа.

Сбор данных с датчиков в реальном времени

3. Минимальную задержку обработки

Сенсорные узлы не просто регистрируют данные, но и предварительно анализируют их — фильтруют шумы, выделяют информативные признаки, запускают алгоритмы машинного обучения. Все эти операции должны укладываться в строгие временные рамки.

4. Адаптивность под условия среды

В реальных объектах условия работы изменяются: вибрации, температура, электромагнитные помехи, изменение динамики процессов. Сенсорная система должна корректировать частоту измерений, регулировать чувствительность, адаптировать алгоритмы обработки.

5. Энергоэффективность при постоянной активности

Режим реального времени требует регулярных измерений и периодической обработки данных. В автономных узлах с батарейным питанием важно обеспечить баланс между частотой выборки и энергопотреблением — применяются оптимизации, duty-cycling, аппаратное пробуждение, DMA и специализированные периферийные блоки.

Роль сбора данных в структуре интеллектуального сенсорного узла

Сбор данных является первым и фундаментальным этапом всей цепочки обработки информации. Ошибка или потеря информации на этой стадии влечёт за собой некорректный анализ, ложные решения и снижение общей надёжности системы. В современном интеллектуальном сенсорном узле сбор данных тесно связан с:

- аналоговыми входными каскадами (усиление, фильтрация, подавление шумов);
- цифровыми интерфейсами обмена с датчиками (I²C, SPI, I²S, UART);
- механизмами преобразования сигналов (АЦП, сигма-дельта модуляция);
- устройствами прямого доступа к памяти (DMA);
- буферизацией и управлением потоками данных (double buffering, кольцевые буферы);
- алгоритмами предварительной обработки (фильтрация, усреднение, FFT);
- модулями машинного обучения, работающими на уровне микроконтроллера.

Таким образом, этот этап влияет практически на все последующие уровни архитектуры: от энергоуправления до протоколов связи и от фильтрации помех до принятия решений.

Зачем нужен сбор данных «здесь и сейчас»

Работа в реальном времени необходима для задач, где **ценность данных определяется скоростью реакции**. Например:

- обнаружение аномалий на работающем оборудовании;
- определение удара, вибрации или резонанса в момент возникновения;
- мониторинг утечки газа или давления;
- измерение мгновенной нагрузки по току в энергоузлах;
- контроль движения роботизированных систем.

Реагировать нужно **до того, как событие приведёт к аварии, поломке или риску для человека**.

Поэтому своевременный сбор данных — ключевой фактор устойчивой работы цифрового производства и индустрии 4.0.

Сбор данных в реальном времени — это не просто техническая операция, а целостная дисциплина, требующая знания электроники, цифровой обработки сигналов, системного программирования и принципов построения надёжных и энергосберегающих вычислительных платформ.



Визуализация данных с сенсоров через графики и дашборды

Значение визуализации данных в сенсорных системах

Визуализация данных — это процесс преобразования поступающей от сенсоров информации в удобные для анализа графические формы: графики, диаграммы, индикаторы, карты, интерактивные дашборды.

Для интеллектуальных систем сбора информации она играет ключевую роль, потому что позволяет:

- быстро понимать текущее состояние объекта или процесса;
- замечать аномалии и отклонения;
- оценивать тенденции и динамику;
- улучшать принятие решений на основе фактов, а не интуиции.

Без визуализации поток сенсорных данных остаётся трудным для человека — в виде чисел, массивов точек и временных рядов.

Превращение этих данных в наглядные образы делает систему действительно **интеллектуальной и человеко-ориентированной**.



Визуализация данных с сенсоров через графики и дашборды

Какие данные визуализируются

Сенсоры могут выдавать:

- **временные ряды** (температура, вибрация, влажность, давление);
- **категориальные данные** (состояние «вкл/выкл», «норма/авария»);
- **изображения / тепловые карты** (в системах машинного зрения);
- **трёхмерные данные** (акселерометры, гироскопы);
- **агрегированные показатели** (среднее, максимум, тренды, индексы).

Тип визуализации всегда зависит от того, какие закономерности нужно **ВЫЯВИТЬ**.



**Беспроводной
Регистратор
температуры с
GPS**



**Датчик
температуры и
относительной
влажности
Comet W4710 WiFi.**



**Датчики
влажности
почвы TRIME
PICO**



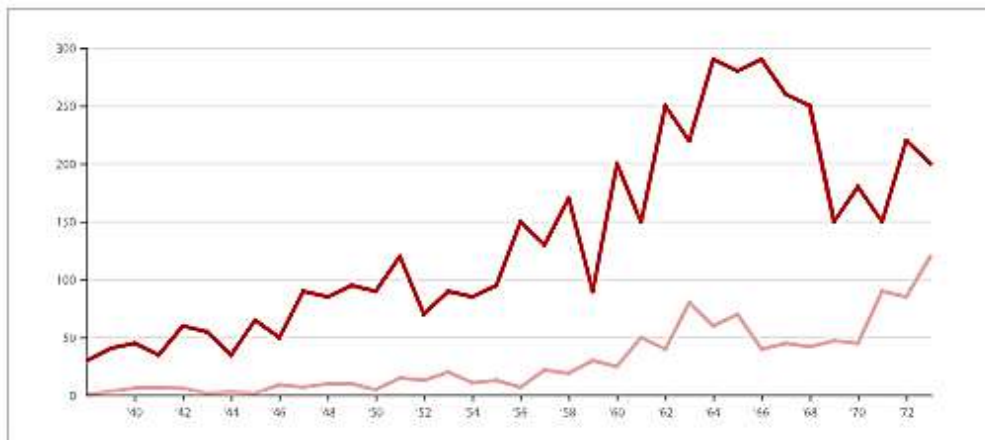
**Беспроводной регистратор
данных температуры и
относительной влажности
lot Tzone WiFi501**

Основные виды визуализаций в сенсорных системах

1. Линейные графики используются в 80% сенсорных приложений.

Идеальны для мониторинга

- температуры,
- вибраций,
- влажности,
- тока/напряжения,
- давления.



Преимущества: простота, доступность, выявление трендов и резких скачков.

2. Спектрограмма / FFT-графики

Используются для:

- анализа вибраций,
- диагностирования двигателей,
- анализа аудиосигналов,
- поиска гармоник.

Позволяют понять **частотный состав** сигнала.

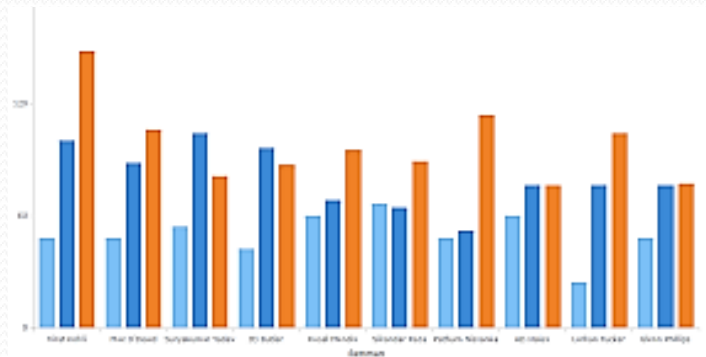


Основные виды визуализаций в сенсорных системах

3. Столбчатые диаграммы

Подходят для отображения:

- гистограмм распределений,
- значений разных сенсоров,
- сравнения состояний.



4. Индикаторы и “инструменты-калибры”

Применяются для отображения:

- уровня жидкости,
- уровня нагрузки,
- оставшегося ресурса оборудования.

Имитируют стрелочные приборы.



5. Тепловые карты (Heatmaps)

Используются для:

- визуализации распределения температуры,
- анализа плотности событий,
- отображения показаний сеток датчиков.



Основные виды визуализаций в сенсорных системах

6. Карты и геопривязанные визуализации

Применяются в:

- мониторинге транспорта,
- мониторинге трубопроводов,
- распределённой сенсорной сети IoT.



7. Интерактивные дашборды

Это комплексные интерфейсы, содержащие:

- несколько графиков,
- индикаторы,
- сводки,
- карты,
- таблицы.

Дают оператору полный обзор состояния системы в реальном времени.



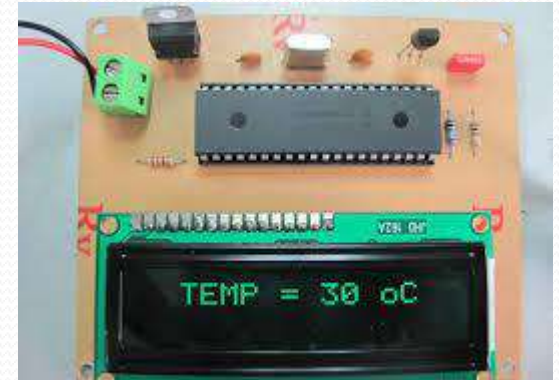
Где создаются визуализации: уровни систем

1. На микроконтроллере

Обычно минимальная локальная визуализация:

- маленький дисплей (OLED / LCD)
- индикаторы
- простой текст

Используется в автономных датчиках, переносных устройствах.



2. На мобильном устройстве или планшете

Через:

- Bluetooth,
- Wi-Fi,
- NFC.

Приложение строит графики прямо со смартфона.

Пример: BLE-датчик температуры
→ приложение рисует график.



Где создаются визуализации: уровни систем

3. В облачных платформах и веб-дашбордах

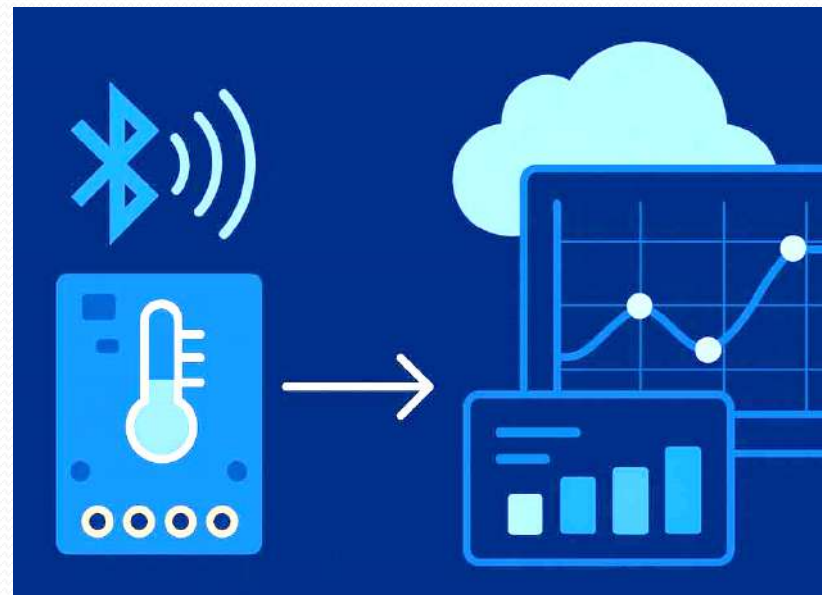
Самый мощный и гибкий вариант.

Популярные инструменты:

- Grafana
- ThingsBoard
- Power BI
- Kibana
- Google Data Studio
- InfluxDB + Chronograf

Преимущества:

- работа с большим числом датчиков
- исторические данные за месяцы/годы
- интерактивность
- удобное управление доступом



Требования к визуализации сенсорных данных

1. Обновление в реальном времени. Визуализация должна работать синхронно с потоком данных. Типичные частоты обновления:

- 1 раз/секунду — медленные процессы (температура)
- 10–100 раз/сек — вибрации, ток, механика
- 1000 Гц — специализированные системы

2. Масштабируемость. При увеличении числа датчиков графики должны: не зависать; не перегружать интерфейс; подстраиваться под поток данных.

3. Понятность и минимализм. Главная задача визуализации — не показать всё, а показать важное: отклонения; критические значения; тенденции.

4. Автоматическое выделение аномалий. Современные системы автоматически: подсвечивают красным опасные зоны; отмечают выбросы; показывают прогноз (например, рост вибрации и т.п.).

5. Возможность экспорта. Обычно поддерживаются следующие форматы: CSV форматы; PDF отчёты; скриншоты; API для внешних систем

Хранение данных и базовые методы анализа

Современные интеллектуальные сенсорные узлы представляют собой сложные многофункциональные системы, способные собирать, преобразовывать и передавать большие объёмы разнородной информации о состоянии окружающей среды, технологического процесса или объекта мониторинга. Такие узлы оснащаются широким набором датчиков, включая измерители температуры, влажности, вибрации, давления, химических концентраций, электрических параметров, освещённости, уровня радиации, газового состава и даже геолокационных характеристик. Благодаря этому сенсорный узел формирует многомерное представление о состоянии объекта и позволяет выполнять комплексный мониторинг в режиме реального времени.

Однако само наличие большого количества данных ещё не делает систему «интеллектуальной». Чтобы собранная информация стала действительно полезной и превратилась в основу для принятия решений, требуется грамотно организовать весь жизненный цикл данных — от момента их получения до их использования для анализа, диагностики или управления. Таким образом, необходимо правильно организовать сбор, хранение, обработку и анализ данных

Хранение данных и базовые методы анализа

Основные подходы к хранению данных.

Хранение данных — ключевой этап, обеспечивающий возможность их дальнейшей обработки и аналитики. Системы хранения можно условно разделить на три уровня:

Уровень 1 локального хранения используется, когда устройство или система должны работать автономно или когда связь нестабильна.

Где используется:

- регистраторы промышленных параметров;
- автономные датчики в полевых условиях;
- переносные диагностические устройства.

Особенности:

- данные хранятся на внутренней памяти, энергонезависимой памяти, SD-карте или SSD;
- объём ограничен;
- обычно применяется циклическая запись (старые данные перезаписываются новыми);
- низкая задержка — доступ к данным мгновенный.

Плюсы	Минусы
- не зависит от сети	- трудности с удалённым доступом
- высокая скорость	- риск потери данных при повреждении устройства
- низкая стоимость	- ограниченный объём

Хранение данных и базовые методы анализа

Уровень 2 - Хранение на локальных серверах (on-premise)

Если предприятие хочет полностью контролировать инфраструктуру, данные отправляются на внутренние серверы организации.

Особенности:

- данные поступают по локальной сети от множества датчиков;
- часто используются SQL-системы или промышленные SCADA-хранилища;
- инфраструктуру обслуживают IT-специалисты предприятия.

Плюсы	Минусы
- высокий уровень контроля и безопасности	- нужно оборудование, обслуживание
- низкая задержка внутри сети	- ограниченная масштабируемость
- независимость от интернет-каналов	- высокие капитальные затраты

Уровень 3 - Облачное хранение

Облачные сервисы используются в современных интеллектуальных системах чаще всего.

Популярные решения: AWS IoT; Microsoft Azure IoT Hub; Google Cloud IoT; Yandex Cloud IoT Core

Хранение данных и базовые методы анализа

Особенности:

- возможность принимать данные от тысяч устройств;
- автоматическое масштабирование;
- встроенные сервисы визуализации, обработки, машинного обучения;
- доступ из любой точки мира.

Плюсы	Минусы
- практически неограниченный объём	- требуется постоянное интернет-соединение
- готовые инструменты аналитики	- стоимость растёт с объёмом данных
- высокая надёжность и отказоустойчивость	- вопросы безопасности требуют настройки
- простота интеграции с внешними сервисами	

Форматы хранения данных

Данные сенсоров могут иметь разную структуру, и формат хранения зависит от характера измерений. Далее рассмотрим более подробно 4 наиболее распространенных формата

Хранение данных и базовые методы анализа

1. Табличные форматы

Используются для простых систем:

- **CSV** — текстовый формат, удобный для экспорта и обработки скриптами;
- **Excel (XLSX)** — удобен для ручного анализа и отчётности;
- **SQL-таблицы** — стандартный способ хранения структурированных

данных.

Пример записи

Timestamp	DeviceID	Temperature	Humidity
2025-11-18 12:05:00	Sensor12	22.6	58

2. Реляционные базы данных (SQL) Первичная статистическая обработка

Подходят для структурированных и регулярно поступающих данных.

Системы: MySQL; PostgreSQL; MS SQL Server

Плюсы:

- строгая структура
- сильная система запросов (SQL)
- высокая надёжность

3. Нереляционные базы данных (NoSQL)

Используются для: неструктурированных данных; больших потоков; высокоскоростного сбора.

Типы: **документные** (MongoDB); **ключ-значение** (Redis); **графовые** (Neo4j); **хранилища временных рядов** (InfluxDB, TimescaleDB)

Хранение данных и базовые методы анализа

4. TSDB — базы данных временных рядов

Специально для IoT и сенсоров.

Особенности: оптимизированы для хранения “значение + время”; компрессия временных рядов; быстрые запросы типа: «Найди все значения за последний месяц».

Они могут использоваться: при мониторинге инженерных систем; анализе вибрации; для предиктивной диагностики; или исследования нагрузок.

Базовые методы анализа данных сенсоров

Анализ данных позволяет переходить от “набора измерений” к “информации” и “решениям”.

В рамках базового уровня используются следующие методы анализа:

1. Первичная статистическая обработка

Это фундамент любого анализа. Приведем основные показатели:

- среднее значение — центральная тенденция.
- медиана — более устойчивая метрика при выбросах.
- максимум и минимум — границы рабочей области.
- дисперсия и стандартное отклонение — степень разброса данных.
- скользящее среднее — сглаживание случайных колебаний.

Они могут использоваться: при мониторинге стабильности технологического процесса; при контроле температуры/давления/вибрации; или при диагностике неравномерных состояний.

Хранение данных и базовые методы анализа

2. Метод анализа временных рядов

Данные датчиков — это почти всегда **временной ряд**.

Основные задачи:

- изучить динамику изменения параметров;
- найти циклы, сезонность, повторяющиеся формы;
- прогнозировать будущее состояние.

Типичные методы: экспоненциальное сглаживание; регрессионные модели; выделение тренда; фильтрация шума.

3. Метод выявления выбросов и аномалий

Выбросы могут появляться из-за:

- неисправности датчика;
- аварийной ситуации;
- неправильной калибровки;
- скачков нагрузки;
- помех связи.

Простые методы выявления: пороговые правила; анализ отклонения от среднего; Z- оценка (score); межквартильный размах (IQR).

Примеры практического применения: обнаружение перегрева двигателя; обнаружение утечек или перепадов давления; выявление ошибок ввода данных.

Хранение данных и базовые методы анализа

4. Метод корреляционного анализа

Данный метод позволяет установить связи между различными параметрами.

Примеры:

- рост вибрации связан с ростом температуры;
- влажность влияет на сопротивление;
- скачки давления связаны с частотой вращения насоса.

Корреляционные матрицы помогают выявлять важные закономерности и зависимости в технических системах.

5. Метод прогнозирования (базовый уровень)

На основе накопленных данных можно сделать первичные прогнозы.

Методы:

- линейная регрессия;
- полиномиальная регрессия;
- прогнозирование на основе скользящего среднего;
- простые модели ARIMA (в некоторых случаях).

Пример:

Прогноз температуры подшипника позволяет вовремя выполнить техническое обслуживание и предотвратить поломку.

Хранение данных и базовые методы анализа

Почему правильное хранение и анализ данных критически важны

Благодаря правильно организованному хранению и применению базовых методов анализа предприятие получает:

- повышение надёжности оборудования;
- предсказуемость отказов;
- экономию ресурсов и энергии;
- меньше аварийных остановок;
- возможность внедрения продвинутых алгоритмов машинного обучения;
- повышение качества управления технологическими процессами.



Обратная связь и управление исполнительными устройствами

Значение обратной связи в интеллектуальных сенсорных системах

Обратная связь является одним из фундаментальных принципов построения современных интеллектуальных сенсорных систем и определяет их способность не просто фиксировать состояние объекта или среды, но активно влиять на процесс функционирования и управления. В отличие от традиционных измерительных узлов, которые работают по однонаправленной схеме «сенсор → данные → оператор»,

интеллектуальные системы используют замкнутый контур, в котором результаты измерений непосредственно формируют управляющие воздействия. Такой подход обеспечивает более высокую точность, устойчивость и адаптивность работы технических объектов.



Обратная связь и управление исполнительными устройствами

В условиях роста сложности производственных процессов, увеличения числа параметров, подлежащих мониторингу, и перехода к автономным киберфизическим системам значение обратной связи резко возрастает. Современные сенсорные узлы оснащаются встроенными вычислительными модулями, механизмами локальной обработки данных, адаптивными алгоритмами фильтрации и элементами предиктивной аналитики. Это позволяет реализовать функции самодиагностики, прогнозирования отклонений и автоматического корректирующего воздействия в реальном времени.

Обратная связь обеспечивает не только циклическое обновление данных, но и адаптацию поведения системы в зависимости от актуального состояния объекта. Она играет ключевую роль в задачах стабилизации технологических параметров, оптимизации энергопотребления, повышения качества продукции, предотвращения аварийных ситуаций и автоматизации управления оборудованием.

Фактически именно наличие эффективного контура обратной связи отличает интеллектуальные сенсорные системы от обычных измерительных устройств: сенсор превращается в элемент управления, а данные — в активный инструмент воздействия.

Обратная связь и управление исполнительными устройствами

В результате система становится способной к саморегуляции, самообучению и работе в условиях неопределённости и динамически изменяющихся внешних факторов.

Таким образом, изучение роли и механизмов обратной связи является ключевым шагом для понимания архитектуры современных киберфизических систем, Интернета вещей (IoT), автономных робототехнических комплексов и систем промышленной автоматизации. Без неё невозможно обеспечить высокую надёжность, устойчивость и интеллектуальность функционирования всей инфраструктуры.

Компоненты системы обратной связи

Чтобы контур работал, необходимо несколько ключевых элементов:

- 1. Датчики.** Они фиксируют текущие параметры процесса, например:
 - температурные датчики;
 - датчики давления;
 - акселерометры;
 - датчики тока;
 - оптические и ультразвуковые сенсоры.

Обратная связь и управление исполнительными устройствами

2. Микроконтроллер или процессор. Микроконтроллер является центральным элементом системы. Он выполняет следующие задачи:

- фильтрация шумов;
- анализ текущих данных,
- сравнение значений с заданными порогами,
- выполнение алгоритмов управления (например, ПИД-регулятора),
- принятие решений о командных действиях.

3. Исполнительные устройства. Это физические элементы, которые вносят изменения в процесс:

- электромагнитные клапаны,
- реле и контакторы,
- серводвигатели и шаговые моторы,
- частотные преобразователи,
- силовые ключи для управления нагрузкой,
- актуаторы (линейные, поворотные).

4. Канал управления. Команды могут передаваться:

- через провод («сухие контакты», UART, CAN, Modbus),
- беспроводными системами (BLE, Wi-Fi, LoRaWAN),
- через промышленные шины.

Обратная связь и управление исполнительными устройствами

Алгоритмы управления

В зависимости от задачи, микроконтроллер может использовать разные стратегии:

1. Линейное пороговое управление. Самый простой вариант:

- если температура $> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\rightarrow$ включить вентилятор.
- если давление $<$ заданного $\rightarrow$ включить насос.

2. Дифференциальное (гистерезисное) управление

Применяется для снижения количества включений/выключений. Например:

- включить нагрев при $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- выключить, когда $T > 22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3. ПИД-регулирование. Более сложный, точный алгоритм:

- используется в роботах, сервоуправлении, стабилизации давления, скорости и др.

ПИД-регулятор снижает ошибку между текущим значением и целевым, управляя процессом плавно и стабильно.

4. Управление на основе машинного обучения. Используется в продвинутых системах:

- прогнозирование нагрузки,
- адаптация к новым условиям,
- интеллектуальное определение оптимального режима работы.

Обратная связь и управление исполнительными устройствами

Процесс принятия решений

Типичный цикл обратной связи выглядит так:

1. **Измерение** данных датчиком.
2. **Передача** значений микроконтроллеру.
3. **Предобработка** (фильтрация, нормализация).
4. **Анализ** (пороговое условие, ПИД, ML-модель).
5. **Принятие решения**.
6. **Генерация управляющей команды**.
7. **Передача команды исполнительному элементу**.
8. **Влияние на систему** (нагрев, движение, изменение потока и т.д.).
9. **Новое измерение** → замкнутый контур повторяется

Обратная связь в IoT и облачных системах

Современные интеллектуальные узлы могут принимать команды:

- **локально**, прямо на микроконтроллере – быстро и надёжно;
- **удалённо**, через облачные сервисы – когда важны аналитика или сложные расчёты;
- **гибридно**, используя преимущества обоих способов.

Примеры реальных сценариев с циклом ОС

1. Умная вентиляционная система

Состав: Датчик CO₂ → микроконтроллер → вентилятор.

Алгоритм: регулировка скорости по уровню загазованности.



Умная вентиляционная система автоматически регулирует скорость вентилятора в зависимости от уровня CO₂. Датчик измеряет концентрацию, микроконтроллер анализирует данные и по алгоритму увеличивает или уменьшает обороты вентилятора. Если CO₂ растёт — вентилятор ускоряется, если снижается — работает тише. Система поддерживает оптимальное качество воздуха и экономит энергию.

Примеры реальных сценариев с циклом ОС

2. Система полива

Состав: Датчик влажности почвы → контроллер → электроклапан.

Алгоритм: полив запускается при засухе, отключается при норме.



Алгоритм: полив запускается при засухе, отключается при норме

Интеллектуальная система полива измеряет влажность почвы с помощью датчика, который передает данные на контроллер.

Если контроллер обнаруживает, что почва пересохла, он подает команду на **электроклапан**, открывая подачу воды.

По мере полива датчик снова измеряет влажность и отправляет обновлённые данные обратно — это и есть **обратная связь**.

Когда уровень влажности достигает заданной нормы, контроллер автоматически закрывает клапан.

Таким образом, система поддерживает оптимальный уровень влажности без перерасхода воды и с минимальным участием человека.

Примеры реальных сценариев с циклом ОС

3. Виброконтроль двигателей

Состав: Акселерометр → анализ вибросигнала → регулировка частоты вращения.

Интеллектуальная система виброконтроля непрерывно измеряет вибрации двигателя с помощью акселерометра, установленного на корпусе рабочего механизма. Полученный вибросигнал поступает в модуль

анализа, где алгоритм в реальном времени определяет уровень вибрации, спектральные компоненты и признаки возможных неисправностей или перегрузок. Если система фиксирует превышение допустимого уровня вибраций, она формирует управляющее воздействие для привода частотного регулирования. Контроллер изменяет частоту вращения двигателя — снижает или повышает её таким образом, чтобы уменьшить вибрацию и вернуть механизм к безопасному режиму работы.

После изменения скорости система снова измеряет вибрации и оценивает эффект регулирования. Благодаря этой обратной связи обеспечивается автоматическая стабилизация работы двигателя, снижение износа и повышение надежности оборудования.

