

**Белорусско-Российский университет**  
Кафедра «Программное обеспечение  
информационных технологий»

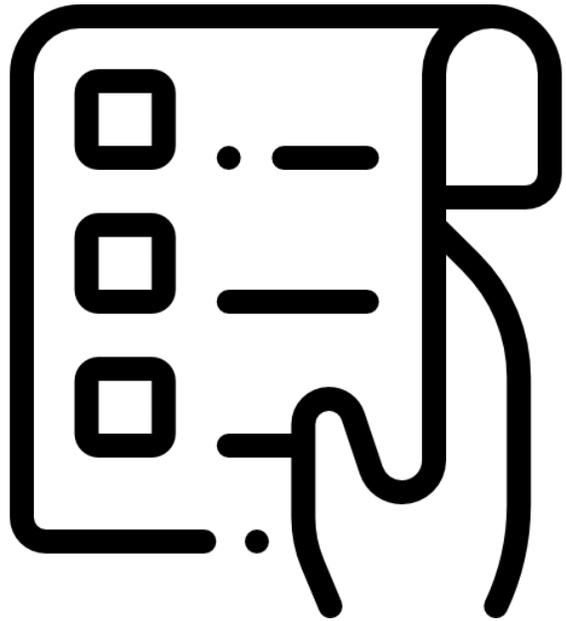
# **ЭВМ, периферийные устройства и контроллеры**

## **Тема: Микроконтроллеры и встраиваемые системы**

**Кутузов** Виктор Владимирович

Республика Беларусь, Могилев, 2025



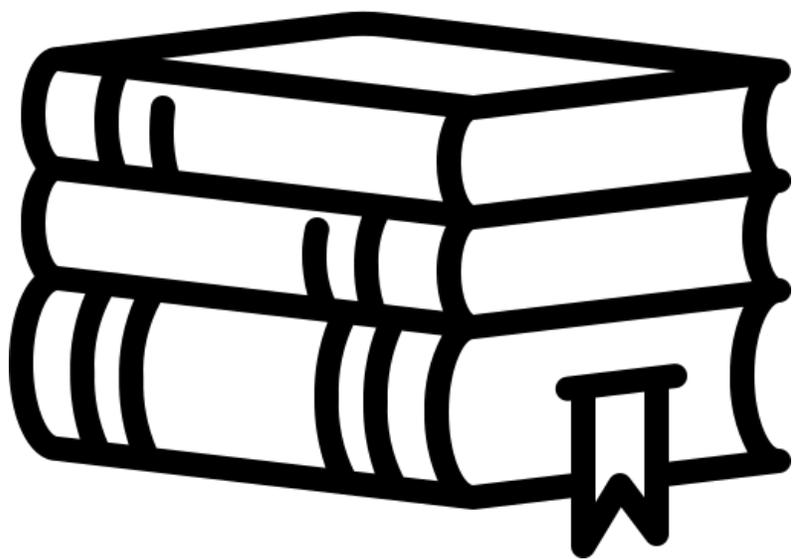


# Содержание лекции

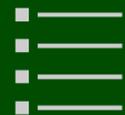
# Содержание лекции

## Тема: Микроконтроллеры и встраиваемые системы

1. [Рекомендуемые материалы по теме](#)
2. [Введение в микроконтроллеры и встраиваемые системы](#)
3. [Архитектура микроконтроллеров](#)
4. [Аппаратные интерфейсы и протоколы связи контроллера с ПК и периферией](#)
5. [Датчики и измерительные интерфейсы](#)
6. [Актуаторы и исполнительные механизмы](#)
7. [Программирование микроконтроллеров и интеграция с ПК](#)
8. [Одноплатные компьютеры](#)
9. [Практические рекомендации по работе с микроконтроллерами, периферией и актуаторами](#)



# Рекомендуемые материалы по теме





ARDUINO, СЕНСОРЫ И МОДУЛИ  
РАДИОДЕТАЛИ, КНОПКИ, КОРПУСА  
АККУМУЛЯТОРЫ, ЗАРЯДНИКИ, BMS



РАЗНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ  
ШУРУПОВЁРТЫ, НАСАДКИ



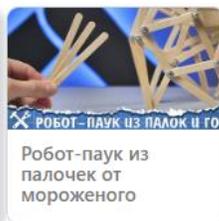
ПАЯЛЬНИКИ, ПРИСПОСОБЛЕНИЯ  
МУЛЬТИМЕТРЫ, ТЕСТЕРЫ



БЛОКИ ПИТАНИЯ, DC-DC  
МОДУЛИ, УМНЫЙ ДОМ  
ЭЛЕКТРОННЫЕ НАБОРЫ



КОНТРОЛЛЕР ДЛЯ СЕРВИЛЬНОГО СТАНКА



РОБОТ-ПАУК ИЗ ПАЛОЧЕК И ТОР



САМОДЕЛКА ИЗ ФАНЕРЫ



ЧАСЫ ИЗ ЧАСОВ. МЕХАНИЧЕСКАЯ ВЕРСИЯ



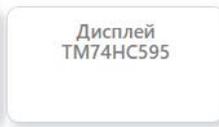
НОВОГОДНЯЯ ЕЛКА - РОБОТ



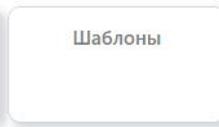
PING-PONG ЧАСЫ



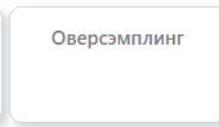
ESP32-CAM



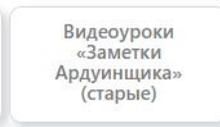
Дисплей TM74HC595



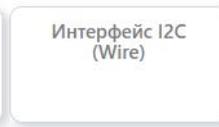
Шаблоны



Оверсэмплинг



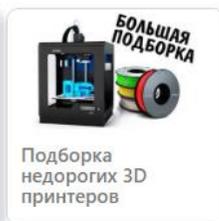
Видеоуроки «Заметки Ардуинщика» (старые)



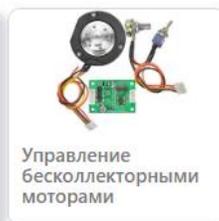
Интерфейс I2C (Wire)



Полезные электронные модули, умный дом



БОЛЬШАЯ ПОДБОРКА  
Подборка недорогих 3D принтеров



Управление бесколлекторными моторами



Arduino, модули и датчики Ардуино



DIY электронные наборы для обучения пайке



Дремели, насадки

Сайт <https://alexgyver.ru/> – это популярный русскоязычный ресурс, посвящённый электронике, микроконтроллерам, DIY-проектам и самоделкам; на нём публикуются подробные уроки, обзоры компонентов, видеоуроки по пайке, программированию Arduino, STM32, ESP32 и другим темам, связанным с встраиваемыми системами и хобби-электроникой, часто с акцентом на практическое применение и доступность материалов для начинающих.

# Уроки Робототехники

## Уроки Робототехники

Поиск

Поиск

- </> Уроки C/C++**
  - > Введение
  - > Работа с данными
  - > Управление программой
  - > Сложные типы данных
  - > Разное
- 📺 Уроки Arduino**
  - 📄 Видеоуроки «Заметки Ардуинщика» (старые)
  - > Введение
  - > Базовые уроки
  - > Продвинутое уроки
- 📖 Справочник**
  - > IDE и утилиты
  - > C/C++
  - > Arduino функции
  - > Arduino классы
  - > Библиотеки
- 📄 Программирование**
  - > Структура программы
  - > Алгоритмы
  - > Оптимизация
- 🤖 Робототехника**
  - 📄 Питание Arduino проекта
  - > Электричество
  - > Обработка сигналов
  - > Автоматика
- ⚙️ Модули и компоненты**
  - 📄 После покупки модуля/набора
  - 📄 Типы и подключение модулей
  - > Платы и МК
  - > Коммутация
  - > Ввод
  - > Индикация
  - > Датчики
  - > Актуаторы
  - > Радиодетали

Уроки Робототехники от AlexGyver <https://alexgyver.ru/lessons/>

# База знаний Амперки



[ВИКИ](#)

[ВИДЕО](#)

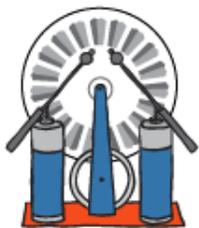
[ВОПРОСЫ](#)

[БЛОГ](#)

## База знаний Амперки

Здесь собрана вся база знаний Амперки: инструкции и подсказки по Arduino и Raspberry Pi, оригинальные проекты, схемы распиновки модулей и datasheet'ы, теория электричества для начинающих и другая полезная информация. Ищите ответы на технические вопросы в нашей Wiki, накопленной годами!

### Теория



#### Электричество

- [Понятие электричества](#)
- [Принципиальные схемы](#)
- [Основные законы электричества](#)
- [Управление электричеством](#)
- [Делитель напряжения](#)

#### Компоненты

### Руководства

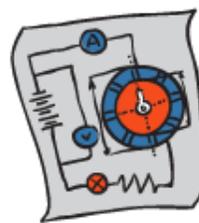


#### Iskra JS и Espruino

[Начало работы с Espruino: JavaScript в микроконтроллере](#)

- [Что такое Espruino](#)
- [Подключение и настройка](#)
- Загрузка интерпретатора JS:
  - [BBC micro:bit](#)
  - [STM32 Nucleo](#)

### Проекты



#### Мини-проекты с Arduino

1. [Маячок](#)
2. [Маячок с нарастающей яркостью](#)
3. [Светильник с управляемой яркостью](#)
4. [Терменвокс](#)
5. [Ночной светильник](#)
6. [Пульсар](#)
7. [Бегущий огонёк](#)

База знаний Амперки  
<https://wiki.amperka.ru>

Здесь собрана вся база знаний Амперки: инструкции и подсказки по Arduino и Raspberry Pi, оригинальные проекты, схемы распиновки модулей и datasheet'ы, теория электричества для начинающих и другая полезная информация. Ищите ответы на технические вопросы в Wiki, накопленной годами!

# Микроконтроллеры. Основы STM32

ЛЕКТОРИУМ / КАТАЛОГ КУРСОВ / МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ. ОСНОВЫ STM32 / УРОКИ

Личный кабинет

## МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ. ОСНОВЫ STM32

# УРОКИ КУРСА

Курс для школьников старших классов и студентов младшего бакалавриата про основы устройства вычислительной техники и практические методы работы с микроконтроллерами на примере STM32



Урок 1 Введение <a href="#">Перейти</a>	Урок 2 Основы вычислительной техники. ТТЛ-логика <a href="#">Перейти</a>	Урок 3 Вычислительное ядро. Организация памяти <a href="#">Перейти</a>
Урок 4 Регистры. Таймеры <a href="#">Перейти</a>	Урок 5 Порты ввода — вывода. Подключение <a href="#">Перейти</a>	Урок 6 Шины связи. Высокоуровневые интерфейсы <a href="#">Перейти</a>

## Микроконтроллеры. Основы STM32

Курс для школьников старших классов и студентов младшего бакалавриата про основы устройства вычислительной техники и практические методы работы с микроконтроллерами на примере STM32

<https://www.lektorium.tv/microcontroller-materials>

# Stepik: Микроконтроллеры

stepik Каталог ▾ Преподавание 🔍 Поиск... 🇷🇺 Русский ▾ Войти Регистрация

Уровень сложности ▾  
 Для начинающих  
 Для продолжающих  
 Для профи  
 Для всех

Цена ▾  
От 0 ₺ До 0 ₺  
Бесплатно до 5 000  
до 10 000

Только со скидкой

Только с сертификатом

Язык ▾  
 Любой  
 Русский  
 Английский

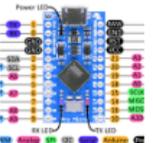
Тип обучения ▾  
 Курс  
 Программа

## Микроконтроллеры

Курсы по микроконтроллерам обучают программированию и применению этих компактных устройств в различных проектах. Вы изучите архитектуру микроконтроллеров, основы электроники, разработку и отладку устройств и систем на базе популярных платформ, таких как Arduino.

🔍 Название курса, автор или предмет

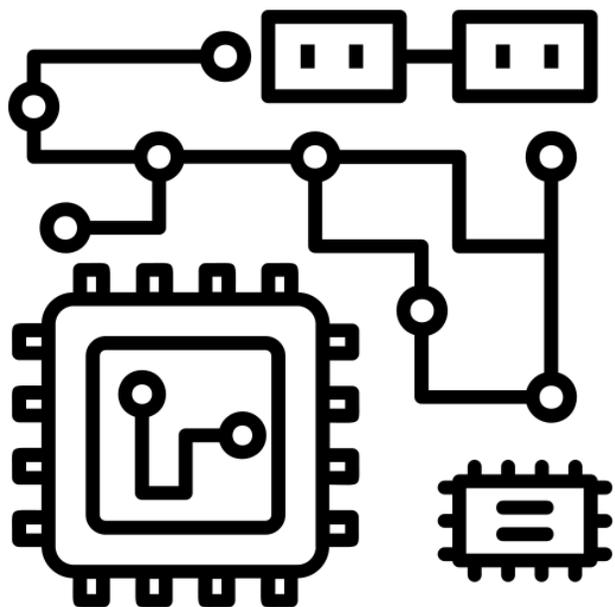
Бесплатные ✕ [Сбросить фильтры](#)

-  **Введение в программирование микроконтроллеров** Бесплатно ❤️  
Братья Вольт  
Курс предназначен для школьников 11-18 лет. Курс является вводным для изучения в рамках очно/заочного курса ЦТПО МГУ  
★★★★☆ 4.4 (50) 👤 1.4K 🕒 1 ч
-  **Занимательное Arduino** Бесплатно ❤️  
Электронный лабораторный практикум состоит из курса лабораторных работ и разработан специально для подготовки обучающихся к конкурсу межпредметных навыков и знаний «Интеллектуальный мегаполис. Потенциал» по ИТ – направлению, связанному с разработкой в среде Arduino.  
★★★★★ 5 (9) 👤 1.3K 🕒 1 ч
-  **Основы программирования ПЛК в среде CODESYS V3.5** Бесплатно ❤️  
ОВЕН  
В рамках курса рассматривается создание проектов для программируемых логических контроллеров (ПЛК) в среде CODESYS V3.5. Эта среда используется для программирования ПЛК множества

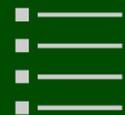
## Stepik: Микроконтроллеры

Курсы по микроконтроллерам обучают программированию и применению этих компактных устройств в различных проектах. Вы изучите архитектуру микроконтроллеров, основы электроники, разработку и отладку устройств и систем на базе популярных платформ, таких как Arduino.

<https://stepik.org/catalog/364?free=true>

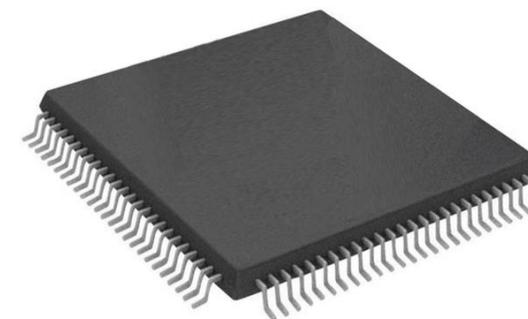


# Введение в микроконтроллеры и встраиваемые системы



# Микроконтроллер и встраиваемая система

- **Микроконтроллер (МК)** — это компактный интегрированный электронный компонент «всё в одном», содержащий процессорное ядро, память и периферийные блоки (интерфейсы ввода-вывода, АЦП, таймеры и т. п.).
- **Цель МК** — выполнять конкретную встроенную функцию (управление, измерение, коммуникация) в составе устройства.
- **Встраиваемая система** — это устройство, специально спроектированное для выполнения определённых задач с помощью микроконтроллера (или другого вычислителя), часто с ограниченными ресурсами, специфическим интерфейсом и требованиями надёжности/энергопотребления.

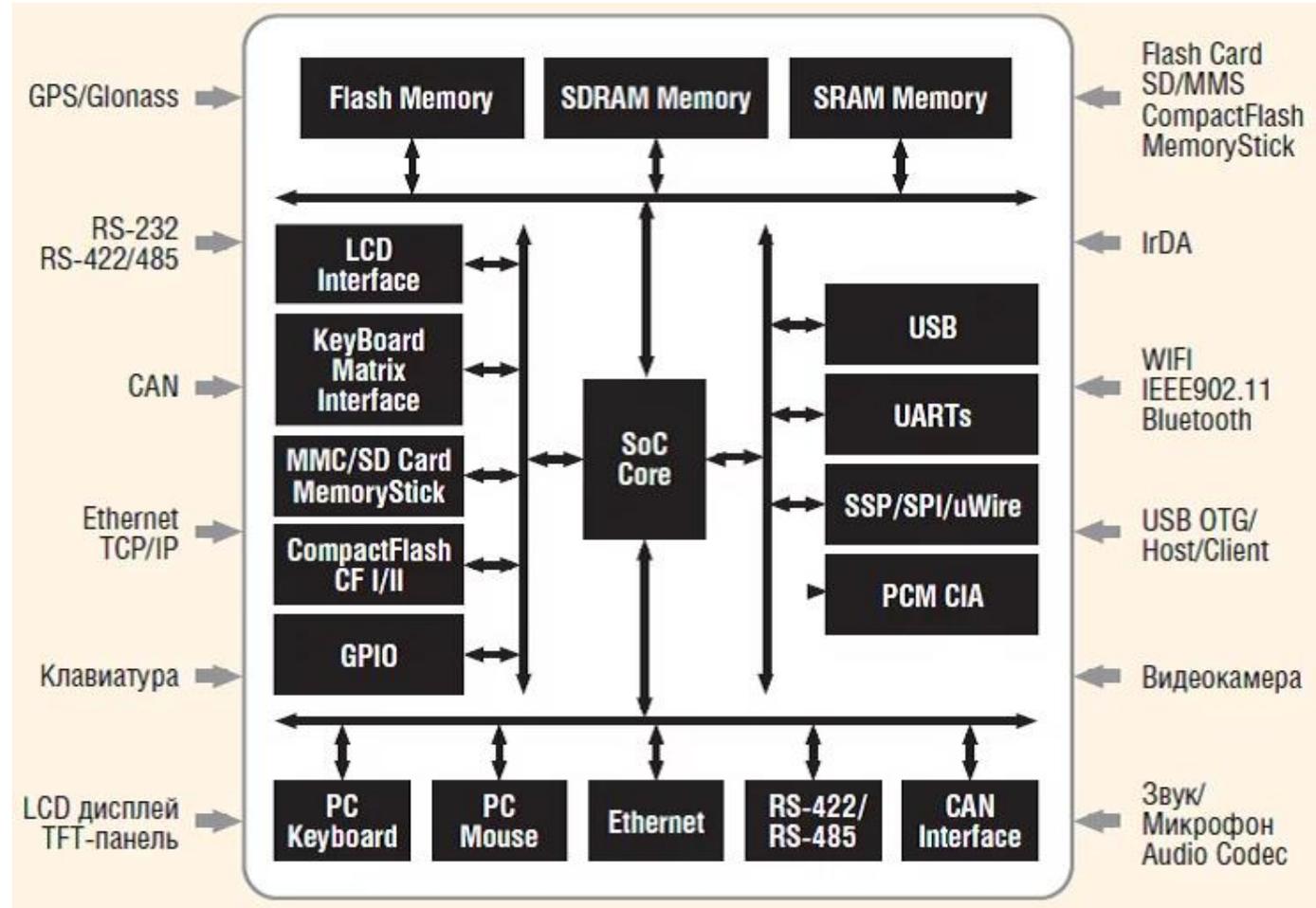


# Отличие контроллеров от других вычислительных платформ

- **Микроконтроллер** – ориентирован на конкретную задачу (встроенное управление), оптимизирован по стоимости, энергопотреблению, реальному времени и аппаратным интерфейсам.
- **Мини-компьютер / одноплатный компьютер** (SBC – Single Board Computer, например Raspberry Pi) – полноценный компьютер на одной плате, обычно с процессором общего назначения (ARM), памятью, графикой; запускает Linux/Android, подходит для приложений, требующих ОС и больших вычислений.
- **Персональный компьютер (ПК)** – универсальная вычислительная платформа для пользователя: сложная ОС, многозадачность, богатый пользовательский интерфейс, большие вычислительные ресурсы.
- **Современный мобильный телефон** – мощный аппарат с многоядерным SoC, GPU, модемами связи, сенсорами, полноценной мобильной ОС; предназначен для пользовательских приложений, коммуникаций и мультимедиа.

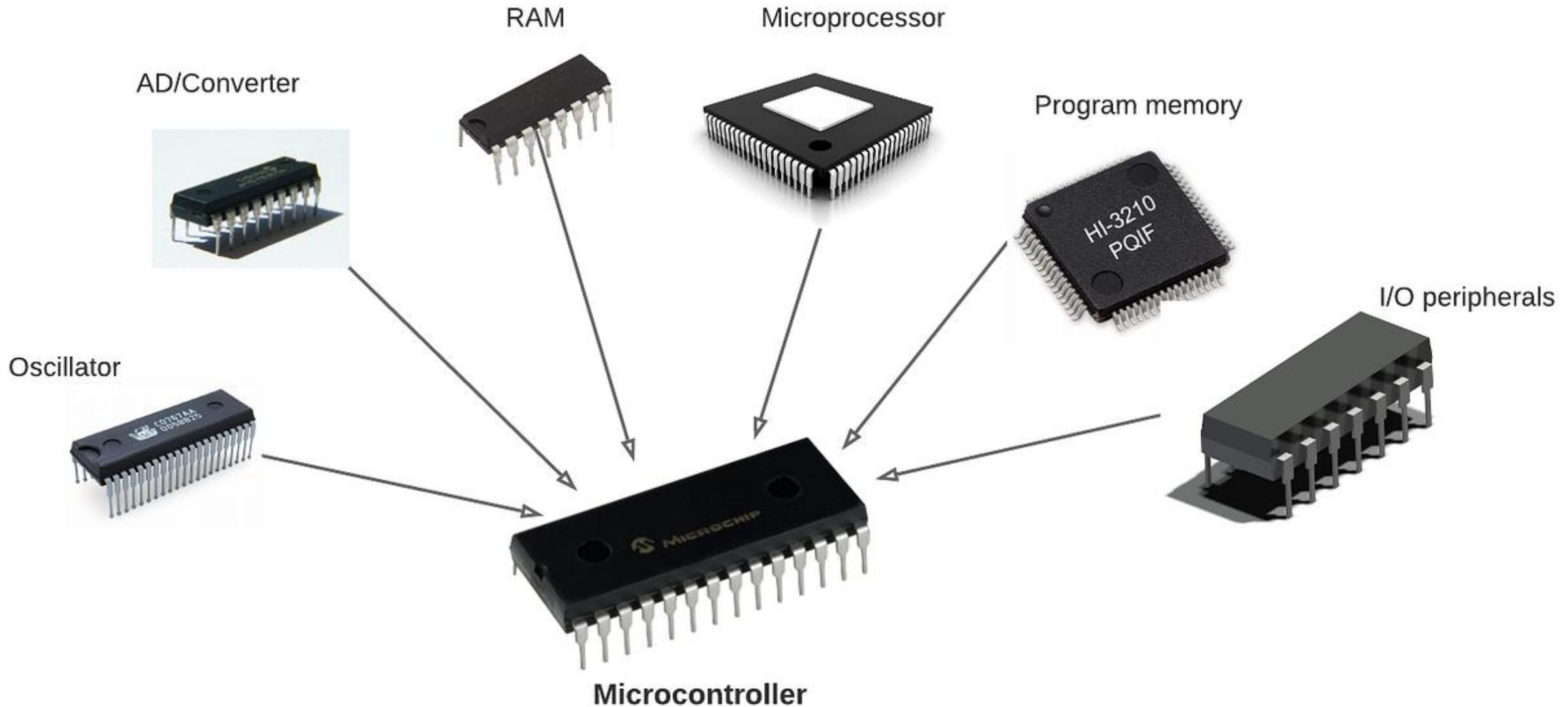
# Отличие контроллеров от других вычислительных платформ

- Система на кристалле (**System-on-a-Chip, SoC**) - это набор аппаратных блоков, расположенных на одном кристалле внутри одной микросхемы.
- Между понятиями МК и SoC довольно широкая граница, по сути **SoC - это сильно навороченный МК**, внутри которого может быть несколько процессоров и гораздо более сложная периферия, например несколько МБ памяти, специальные ядра для обработки информации, блоки шифрования, цифровые сигнальные процессоры (DSP), регуляторы и стабилизаторы напряжения, радиопередатчики и приёмники с антенной, SoC может работать на операционной системе, например Linux.
- Если МК используется в не очень производственных устройствах, то SoC может стоять в смартфоне или WiFi роутере.

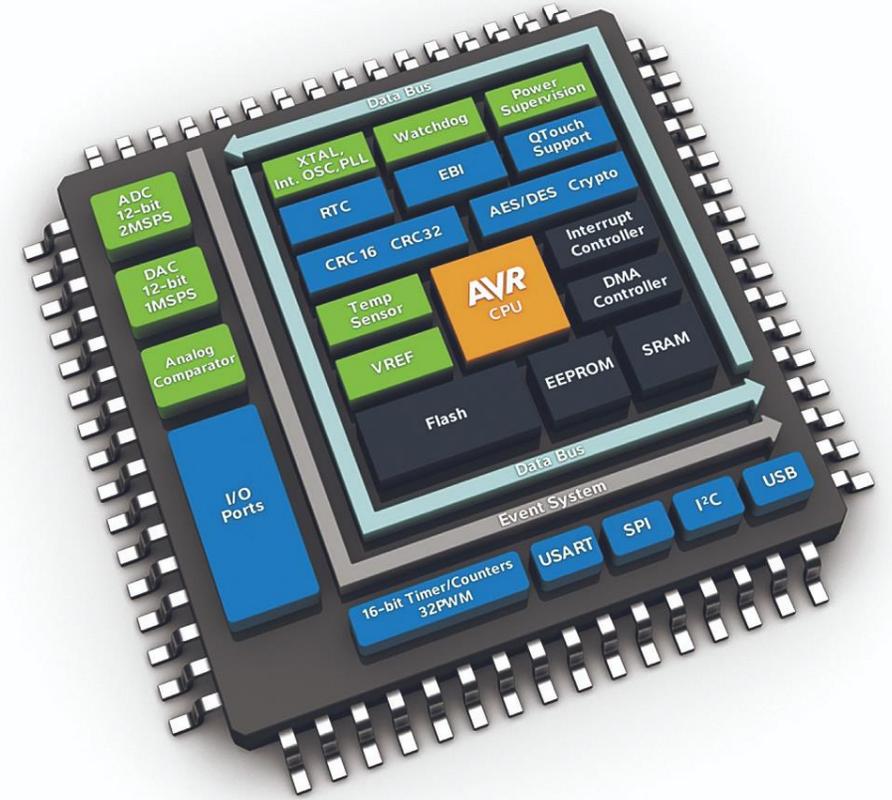
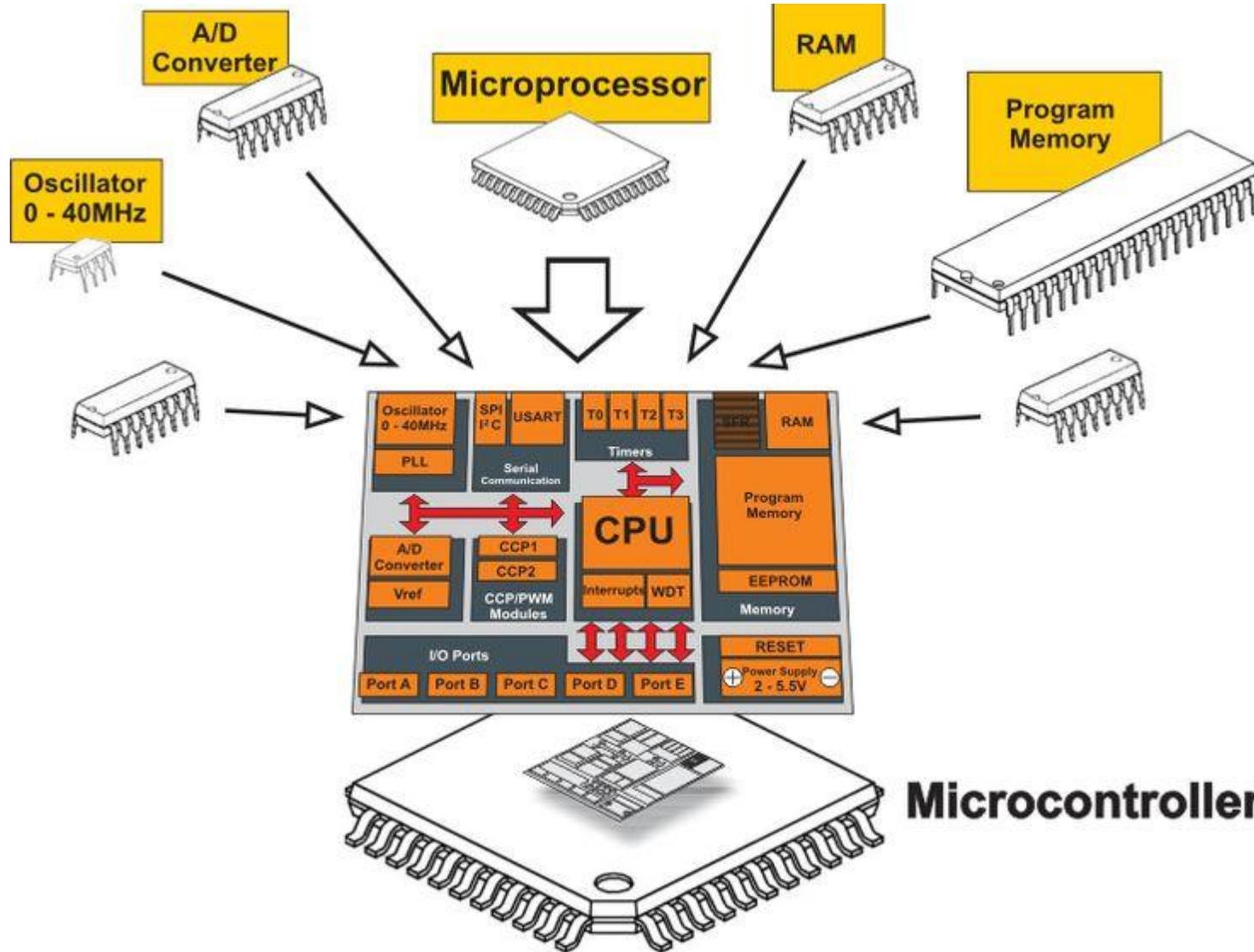


Возможный состав SoC

# Структура типичного микроконтроллера



# Структура типичного микроконтроллера



# Процессор (CPU) vs Микроконтроллер (MCU)

- **Процессор (CPU) и микроконтроллер (MCU) – это оба вычислительные устройства, но они предназначены для разных задач и сфер применения.**
- **Современные процессоры**, такие как Intel Core i9-14900K или AMD Ryzen 9 7950X, ориентированы на высокопроизводительные вычисления: они обладают множеством ядер (до 24 у Intel и 16 у AMD), работают на частотах до 6 ГГц, поддерживают гигабайты оперативной памяти и сложные операционные системы (Windows, Linux). Такие процессоры требуют внешних компонентов – чипсетов, ОЗУ, ПЗУ, систем охлаждения – и используются в настольных ПК, ноутбуках и серверах.
- В отличие от них, **микроконтроллеры**, например Arduino Uno (на базе ATmega328P), STM32F4/F7 или ESP32, представляют собой автономные системы на кристалле (SoC): в одном корпусе интегрированы CPU, память (Flash и RAM), тактовый генератор, периферийные интерфейсы (UART, SPI, I<sup>2</sup>C, ADC) и даже радиомодули (у ESP32 – Wi-Fi и Bluetooth). Они работают на частотах до 240 МГц (ESP32), потребляют минимальную мощность и предназначены для встраиваемых систем, IoT-устройств и реального времени.
- **Основное различие заключается в архитектуре и целях использования: процессоры оптимизированы под максимальную производительность и универсальность, тогда как микроконтроллеры – под компактность, энергоэффективность и управление внешними устройствами.**
- **Процессоры** обычно не имеют встроенной энергонезависимой памяти и требуют ОС для работы, в то время как **микроконтроллеры** запускают программы напрямую из Flash-памяти без ОС (или с RTOS).
- Например, ESP32 может работать от батарейки неделями, выполняя простые задачи сбора данных и передачи по Wi-Fi, тогда как Ryzen 9 потребляет десятки ватт даже в простое, но способен обрабатывать видео 8K в реальном времени.

# Процессор (CPU) vs Микроконтроллер (MCU)

Характеристика	Процессор (CPU)	Микроконтроллер (MCU)
<b>Основное назначение</b>	Высокопроизводительные вычисления, универсальные задачи	Управление внешними устройствами, встраиваемые системы
<b>Архитектура</b>	x86, x86-64, ARM (в ноутбуках/серверах)	8/16/32-бит: AVR, PIC, ARM Cortex-M, RISC-V, Xtensa и др.
<b>Интеграция компонентов</b>	Только ядро(а) CPU; требует внешней памяти, чипсета, периферии	Система на кристалле (SoC): CPU + RAM + Flash + периферия в одном корпусе
<b>Оперативная память (RAM)</b>	Поддержка ГБ–ТБ внешней DRAM (DDR4/DDR5)	Встроенная SRAM: от КБ до нескольких МБ
<b>Постоянная память</b>	Отсутствует; загрузка ОС с внешнего носителя (SSD/HDD)	Встроенная Flash: от КБ до десятков МБ
<b>Тактовая частота</b>	От 2 ГГц до 6+ ГГц	От 1 МГц до 500–600 МГц (рекордные модели)
<b>Количество ядер</b>	От 2 до 128+ (в серверах)	Обычно 1; редко 2–4 (в современных IoT-чипах)
<b>Потребляемая мощность</b>	Высокая: от 15 Вт (ноутбуки) до 300+ Вт (десктопы/серверы)	Очень низкая: от микроватт (спящий режим) до 1–2 Вт
<b>Напряжение питания</b>	Низкое ядерное (0.8–1.4 В), но требует сложной системы питания	Обычно 1.8–5 В, простое питание от батареи или USB
<b>Периферийные интерфейсы</b>	Подключаются через чипсет и контроллеры (PCIe, USB и др.)	Встроенные: GPIO, UART, SPI, I <sup>2</sup> C, ADC, DAC, PWM, CAN, USB и др.
<b>Беспроводная связь</b>	Через внешние модули (Wi-Fi/Bluetooth-адаптеры)	Часто встроена: Wi-Fi, Bluetooth, LoRa, Zigbee и др.
<b>Требуется ОС?</b>	Да (Windows, Linux, macOS и др.)	Нет – работает «из коробки»; может использовать RTOS или bare metal
<b>Время запуска</b>	Секунды–десятки секунд	Микросекунды–миллисекунды
<b>Реальное время (RTOS)</b>	Не гарантируется без специальной настройки	Поддерживается «из коробки» (жесткое/мягкое реальное время)
<b>Стоимость</b>	От \$50 до \$1000+	От \$0.10 до \$10–15 (в массовом производстве)
<b>Типичные применения</b>	ПК, ноутбуки, серверы, рабочие станции	Бытовая техника, датчики, IoT, роботы, автомобильная электроника

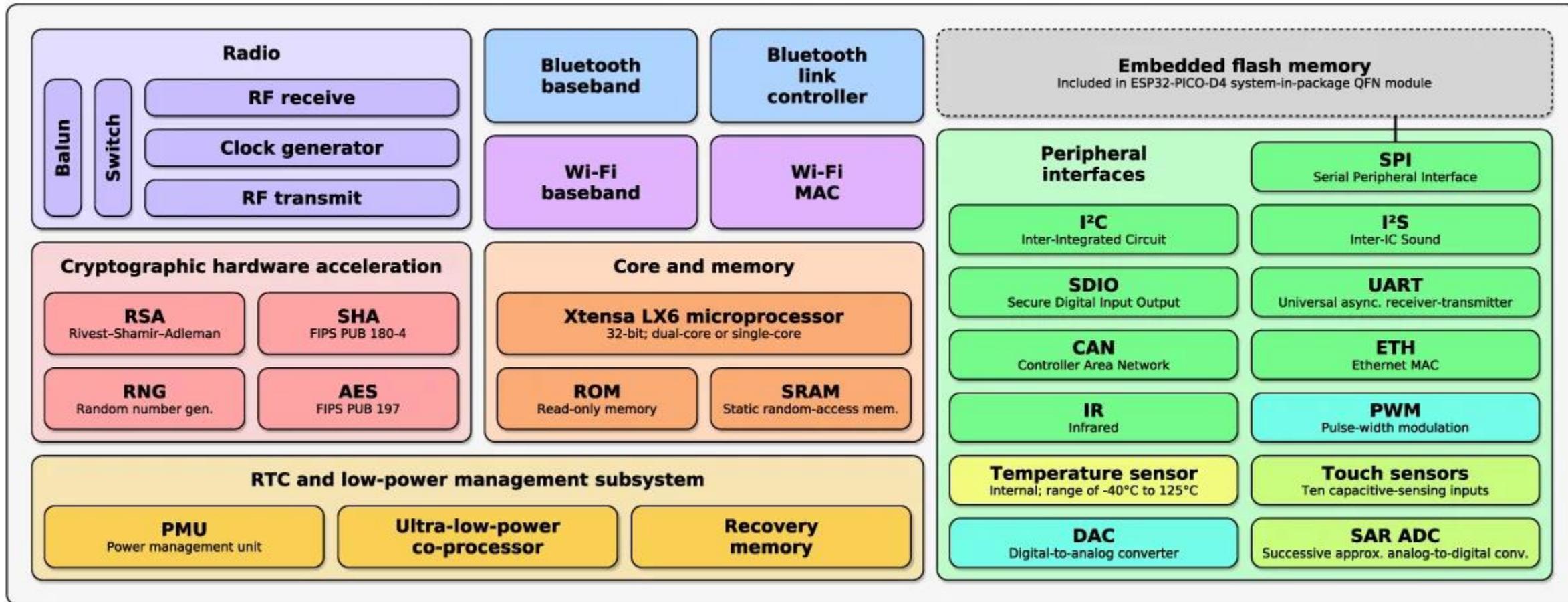
# Микроконтроллер

- **Микроконтроллер, МК (Microcontroller Unit, MCU, MC, UC,  $\mu$ C)** - программируемая цифровая микросхема, состоящая из процессора и широкого набора периферийных блоков.
- Если проводить аналогию с компьютером, то **процессор - это просто процессор, а микроконтроллер - это весь компьютер целиком.** Точнее, его системный блок.
- **В одном корпусе могут уместиться в различных сочетаниях и количествах:**
  - Процессор со всеми своими блоками
  - Постоянная память (ROM, Flash)
  - Оперативная память (RAM, SRAM, DRAM)
  - Энергонезависимая память (EEPROM)
  - Тактовый генератор
  - сторожевой таймер (Watchdog timer)
  - ШИМ контроллер (PWM)
  - Многофункциональный таймер
  - Часы реального времени
  - Аналогово-цифровой преобразователь (АЦП, ADC)
  - Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП, DAC)
  - Компаратор
  - Источник опорного напряжения
  - Универсальные цифровые порты ввода-вывода (GPIO)
  - Интерфейсы ввода-вывода (UART, I<sup>2</sup>C, SPI, CAN, USB...)
  - Контроллеры сенсорных кнопок
  - Контроллеры бесколлекторных и шаговых двигателей
  - Контроллеры дисплеев, камер и клавиатур

**i** Процессору для работы нужна дополнительная периферия (память, устройства ввода-вывода, и т.д.), микроконтроллер же работает самостоятельно - у него всё это есть внутри, включая процессор

# Микроконтроллер

Espressif ESP32 Wi-Fi & Bluetooth Microcontroller — Function Block Diagram



Блок-схема ESP32 - одного из популярных микроконтроллеров (SoC) с WiFi и Bluetooth

# Микроконтроллер

- **Микроконтроллеры** применяются в самых разных сферах, где требуется управление, автоматизация, сбор данных или взаимодействие с физическими устройствами.
- Они представляют собой миниатюрные компьютеры на одной микросхеме, включающие процессор, память и периферийные интерфейсы, и **предназначены для выполнения конкретных задач.**
- Они используются когда нужна детерминированность, низкое энергопотребление, низкая стоимость, компактность.
- То есть применяются **везде, где нужно управлять устройством "внутри",** особенно если важны **стоимость, размер, энергопотребление и автономность.**
- Они – "мозг" миллионов повседневных устройств, от чайника до автомобиля.
- **Примеры:** пульты ДУ, управление электродвигателями, сенсорные узлы IoT, промышленные датчики, бытовая техника (микропроцессор в стиральной машине), контроллеры освещения, драйверы моторных приводов.

# Микроконтроллер

- Существует огромное разнообразие производителей и моделей микроконтроллеров, от простых и дешёвых до навороченных и дорогих.
- По-хорошему, **микроконтроллер подбирается под задачу**, так как если это серийное производство - важен каждый цент, а за каждую "фичу" и байт памяти приходится платить.
- Благодаря такому разнообразию встроенного оборудования и возможности программироваться, один МК может заменить собой огромную и очень сложную электронную схему.
- Более того, практически любые доработки, изменения и исправления ошибок производятся в программе очень быстро и просто по сравнению с изменением электронной схемы.
- В то же время, **МК по сути умеет выполнять по заданной программе всего несколько элементарных действий: производить вычисления; измерять напряжение на выводах; выдавать напряжение на выводах.**
- Но этого достаточно для того, чтобы подключать к нему любые другие микросхемы, электронные компоненты и прочие железки. МК может быть мозгом и сердцем электронных устройств разной степени сложности, от светодиодной мигалки до шагающего робота с камерой и распознаванием лиц нейросетью.
- **Устройства на основе МК окружают нас повсюду:** это компоненты умного дома, стиральные машины, микроволновки, станки с ЧПУ, принтеры, компьютерные клавиатуры и мыши, электронные игрушки... Такие устройства попадают под **понятие встраиваемых систем (embedded system) - система на основе МК** или другого микропроцессора, которая работает непосредственно в устройстве, т.е. "встроена" в него. Также все вот эти поделки на Arduino - это embedded.

# Микроконтроллер и Плата разработки

- Это одна микросхема – интегральная схема, содержащая в себе центральный процессор (CPU), оперативную память (SRAM), флеш-память для хранения программы, тактовый генератор, а также периферийные блоки: GPIO, UART, SPI, I<sup>2</sup>C, АЦП и др. Микроконтроллер сам по себе – это «мозг», но без дополнительных компонентов он не может работать в большинстве практических сценариев.

- Плата разработки (Development Board) - это готовое печатное устройство, на котором установлен микроконтроллер вместе со всем необходимым окружением для его запуска и программирования.

## Плата разработки включает:

- стабилизатор напряжения (например, 3.3 В или 5 В)
- кварцевый резонатор (для точной тактовой частоты)
- кнопку сброса (Reset)
- разъём для программирования/отладки (USB, SWD, UART и др.)
- индикаторы (светодиоды питания, активности)
- разведённые выводы (пины) в удобном формате (например, штыревые разъёмы под макетную плату)
- иногда – дополнительные компоненты: Wi-Fi антенна, USB-UART преобразователь, кнопки, датчики



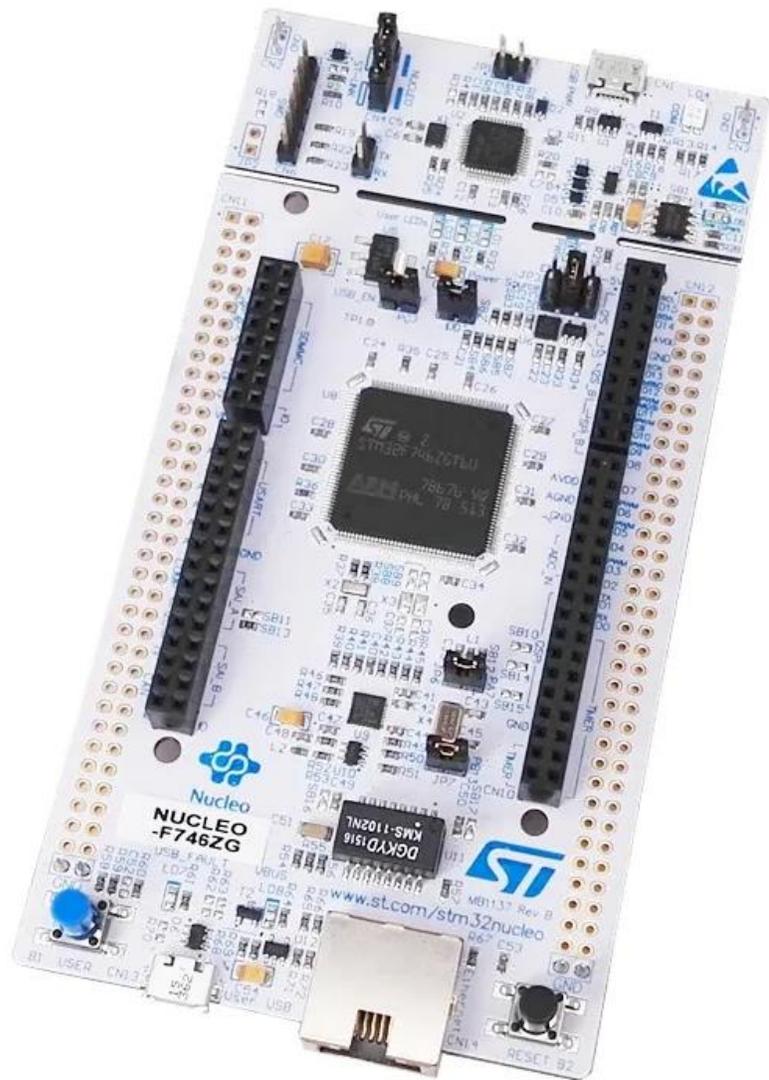
# Семейства микроконтроллеров

- **Современные микроконтроллеры представлены множеством семейств от ведущих производителей**, каждое из которых ориентировано на определённые задачи – от простых DIY-проектов до промышленных и автомобильных систем.
- Рассмотрим семейства микроконтроллеров, актуальные на 2025 год, с краткой характеристикой их особенностей и применения.
- Наиболее распространённые **семейства микроконтроллеров:**
  - 1. STM32 (STMicroelectronics), Швейцария и Франция
  - 2. ESP32 / ESP8266 (Espressif Systems), Китай
  - 3. AVR (Microchip, ранее Atmel), США
  - 4. PIC (Microchip), США
  - 5. RP2040 (Raspberry Pi), Великобритания
  - 6. другие семейства

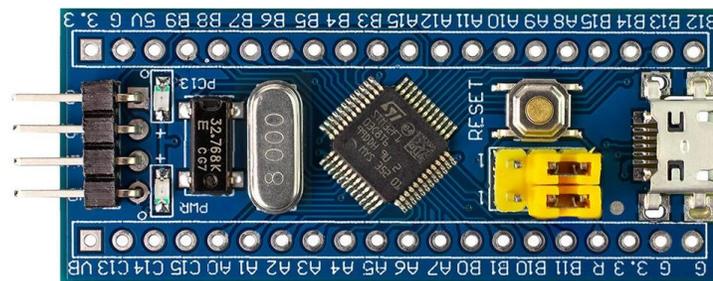
# 1. STM32 (STMicroelectronics)

- Семейство **STM32** основано на ядрах **ARM Cortex-M** и является одним из самых широких и гибких на рынке.
- Оно делится на серии по назначению:
  - **STM32F0/F1/F3** – базовые 32-битные МК на Cortex-M0/M3, недорогие, для общего применения.
  - **STM32L0/L4/L5/U5** – ультранизкого энергопотребления (для батарейных устройств).
  - **STM32F4/F7/H7** – высокопроизводительные (до 550 МГц), с FPU, DSP, Ethernet, камерой – для сложных вычислений и IoT.
  - **STM32WB/WL** – с беспроводной связью: BLE + Zigbee (WB) или LoRa + BLE (WL).
  - **STM32G0/G4** – сбалансированные по цене и функциональности, с улучшенной аналоговой периферией.
- Платформа поддерживается мощной экосистемой: **STM32CubeIDE**, HAL/LL-библиотеки, отладчики ST-Link. Широко используется в промышленности, медицине, IoT и робототехнике.

# 1. STM32 (STMicroelectronics)



NUCLEO-F746ZG, Ср-во разработки:  
STM32, STM32F746ZGT6



STM32F103C8T6 Blue pill

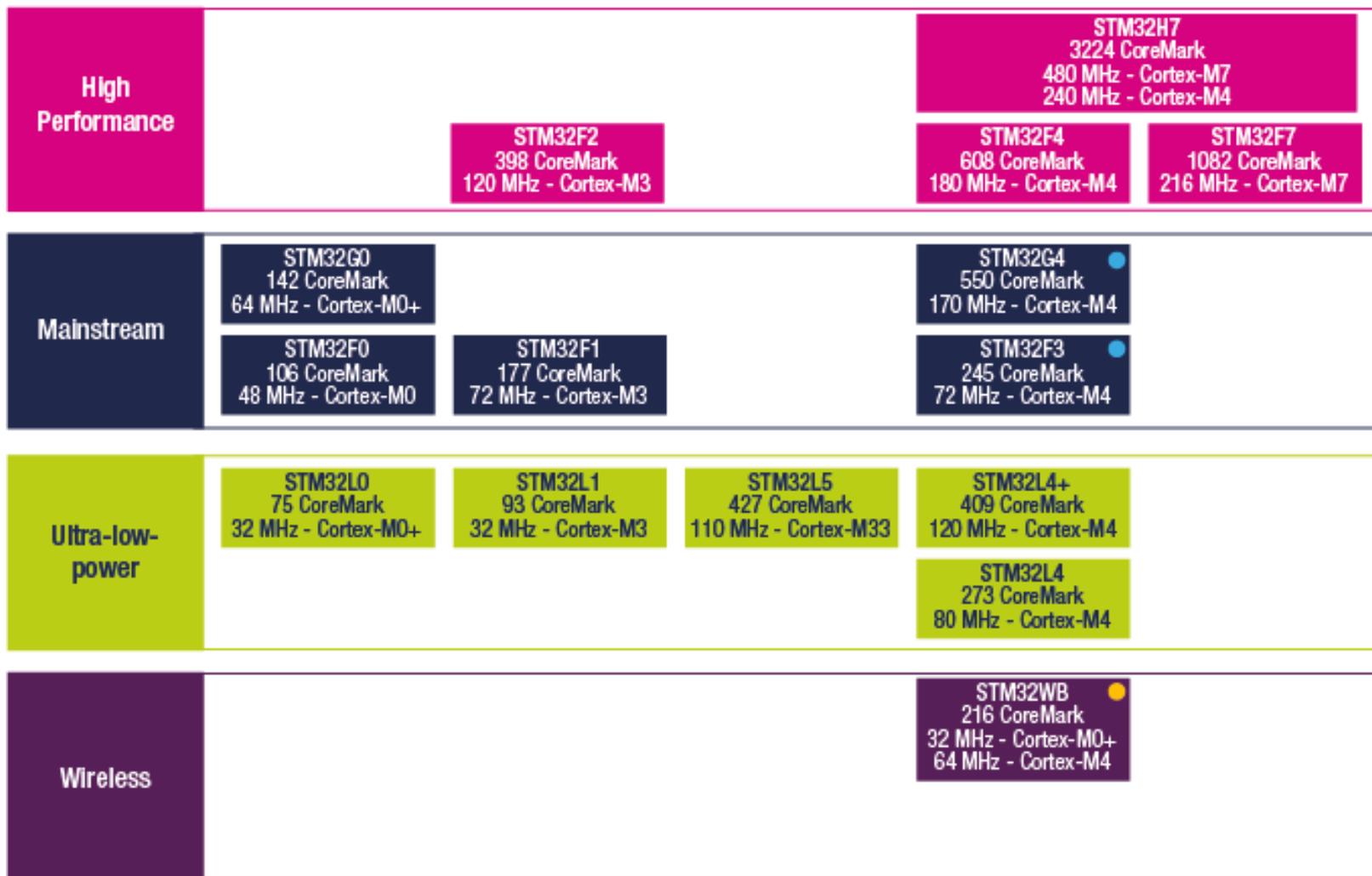


STM32-E407

# 1. STM32 (STMicroelectronics)



## STM32 32-bit Arm® Cortex®-M MCUs



Legend: ● Optimized for Mixed-signals applications ● Cortex-M0+ Radio Co-processor

## STM32 Solutions



Artificial Neural Networks



Graphic User Interface



STM32 Motor Control



STM32Cube Ecosystem



STM32 Community



STM32 Education

# 1. STM32 (STMicroelectronics)



## STM32 MCUs

### 32-bit Arm® Cortex®-M



★  
**High Performance**

STM32F2	STM32F4	STM32F7	STM32H7
398 CoreMark 120 MHz Cortex-M3	608 CoreMark 180 MHz Cortex-M4	1082 CoreMark 216 MHz Cortex-M7	Up to 3224 CoreMark Up to 550 MHz Cortex-M7 240 MHz Cortex-M4

»»  
**Mainstream**

STM32G0	STM32G4	STM32L0	STM32L1	STM32L4	STM32L5	STM32F0	STM32F1	STM32F3
142 CoreMark 64 MHz Cortex-M0+	560 CoreMark 170 MHz Cortex-M4	75 CoreMark 32 MHz Cortex-M0+	93 CoreMark 32 MHz Cortex-M3	273 CoreMark 80 MHz Cortex-M4	443 CoreMark 110 MHz Cortex-M33	106 CoreMark 48 MHz Cortex-M0	177 CoreMark 72 MHz Cortex-M3	245 CoreMark 72 MHz Cortex-M4

● Optimized for mixed-signal applications

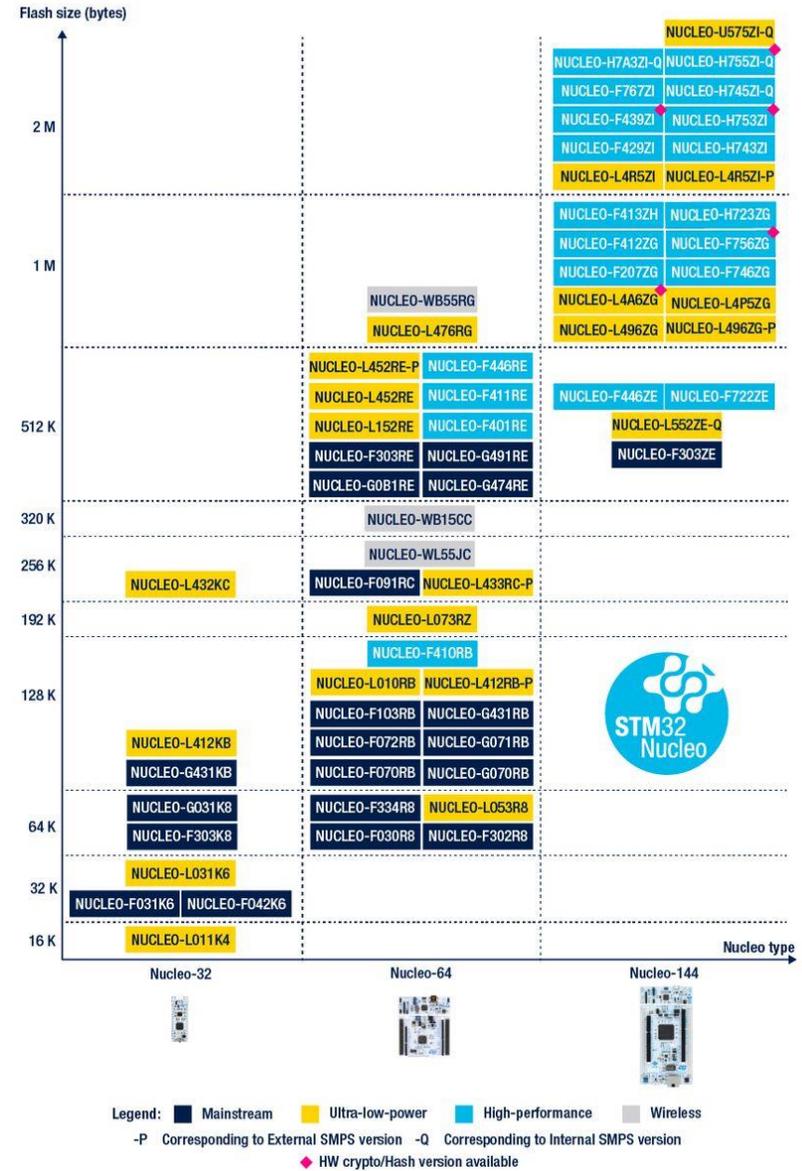
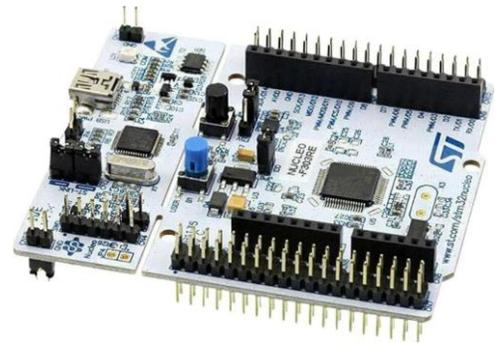
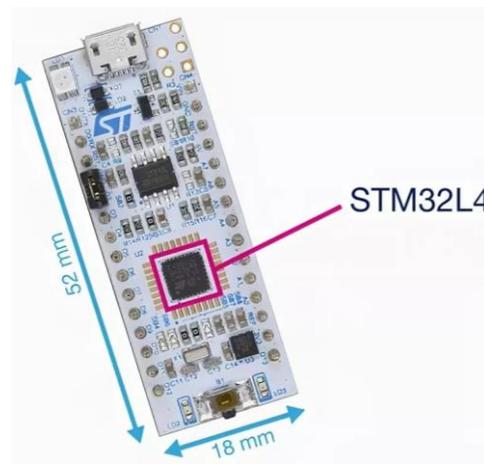
**Ultra-low-power**

STM32L0	STM32L1	STM32L4	STM32L5	STM32L4+	STM32U5
75 CoreMark 32 MHz Cortex-M0+	93 CoreMark 32 MHz Cortex-M3	273 CoreMark 80 MHz Cortex-M4	443 CoreMark 110 MHz Cortex-M33	409 CoreMark 120 MHz Cortex-M4	651 CoreMark 160 MHz Cortex-M33

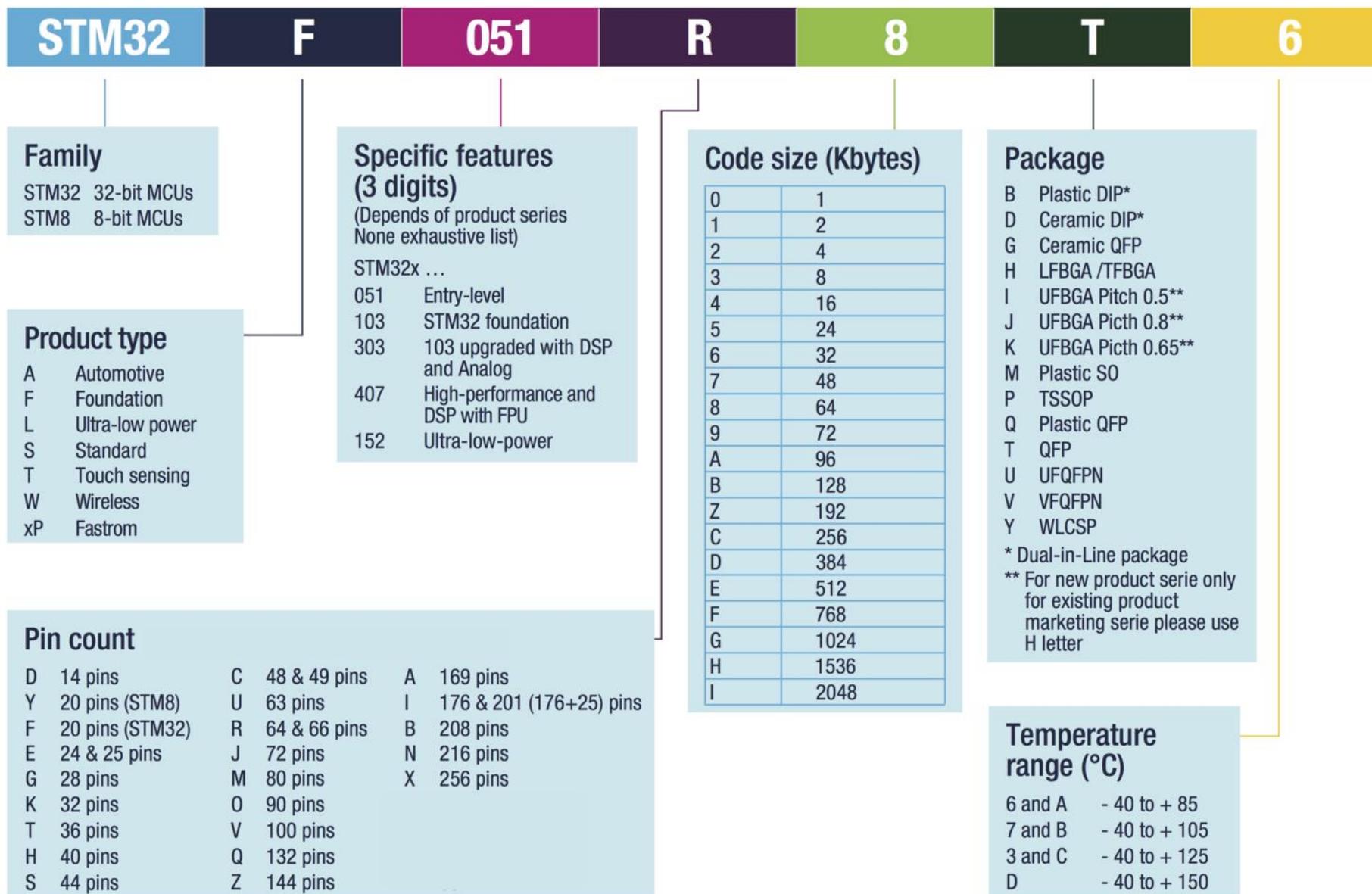
**Wireless**

STM32WL	STM32WB
162 CoreMark 48 MHz Cortex-M4 48 MHz Cortex-M0+	216 CoreMark 64 MHz Cortex-M4 32 MHz Cortex-M0+

● Cortex-M0+ Radio co-processor



# 1. STM32 (STMicroelectronics)



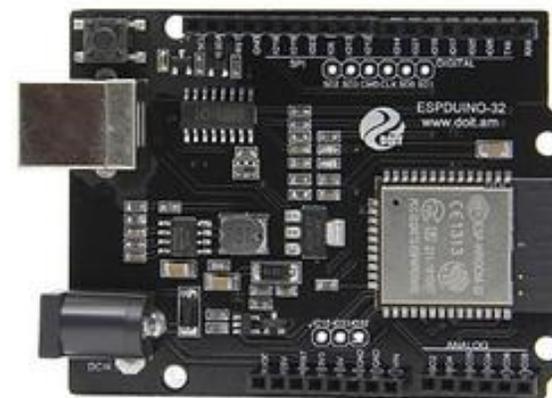
## 2. ESP32 / ESP8266 (Espressif Systems)

- Это системы на кристалле (SoC), разработанные специально для Интернета вещей (IoT):
  - **ESP8266** – первый массовый Wi-Fi-чип с поддержкой Arduino и MicroPython. Дёшев, но ограничен по ресурсам (1 ядро, 80 МГц).
  - **ESP32** – двухъядерный (до 240 МГц), с Wi-Fi + Bluetooth/BLE, АЦП, сенсорным вводом, ULP-сопроцессором.
  - **ESP32-S2/S3/C3/C6** – новые поколения:
    - **S2/S3** – с нативным USB OTG, больше RAM, поддержка PSRAM, камеры.
    - **C3** – на ядре RISC-V, дешевле.
    - **C6** – добавлена поддержка Wi-Fi 6 и Zigbee.
- Идеальны для умного дома, облачных сенсоров, прототипирования.
- Поддерживаются в Arduino IDE, ESP-IDF, PlatformIO, MicroPython.

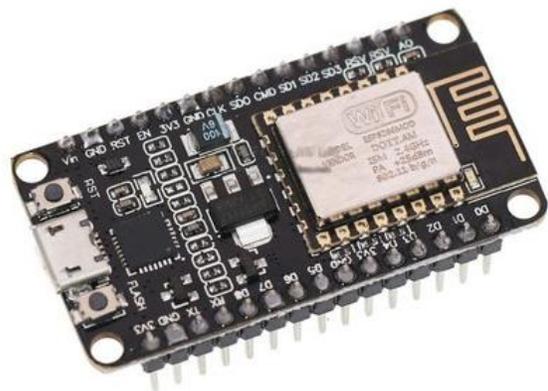
# 2. ESP32 / ESP8266 (Espressif Systems)



# ESP32



# 2. ESP32 / ESP8266 (Espressif Systems)



**NODEMCU V2**



**NODEMCU V3 LOLIN**



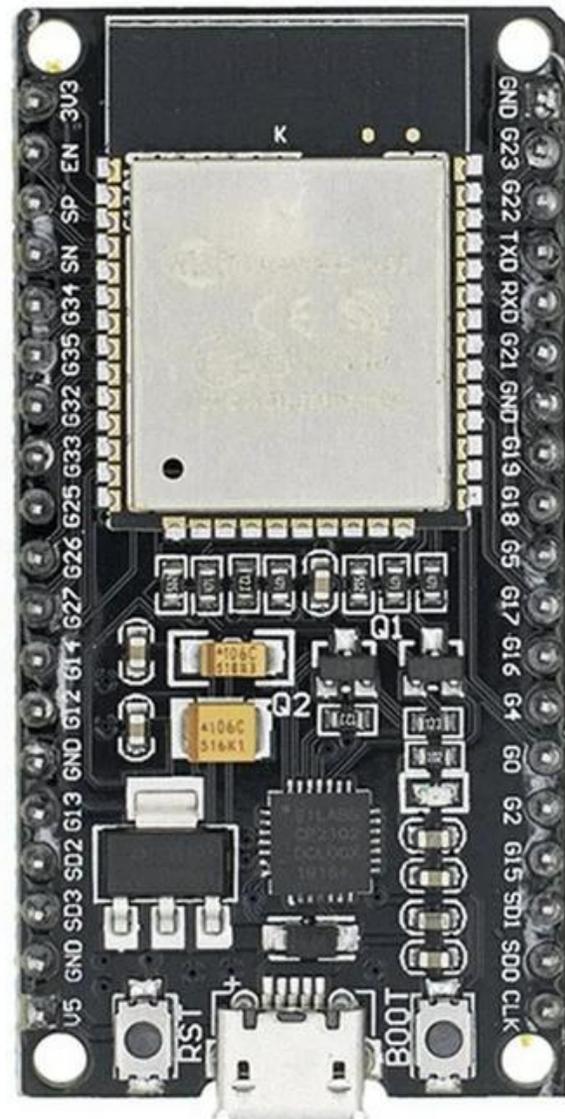
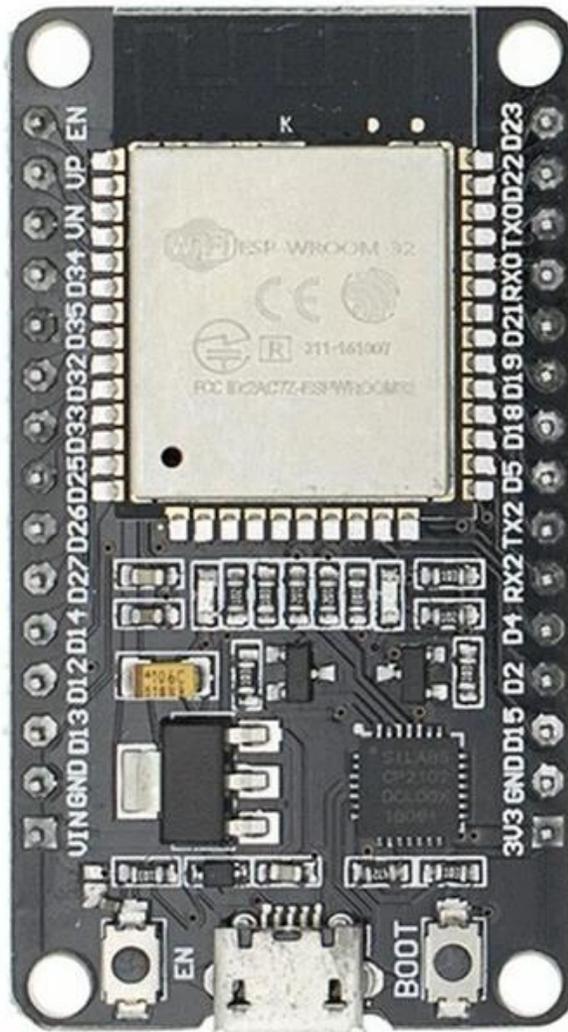
**ESP32 38P**



**ESP32 30P**



**ESP32S 38P**



# 2. ESP32 / ESP8266 (Espressif Systems)



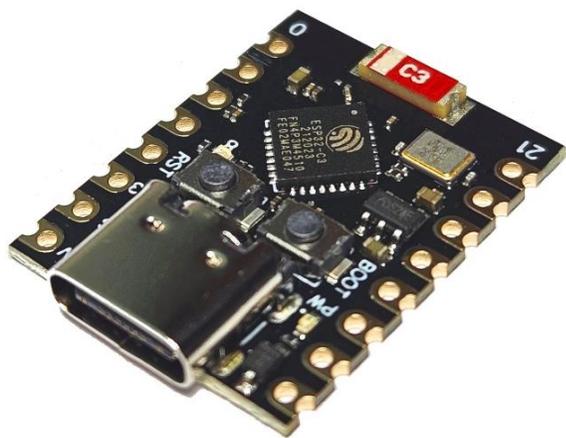
Wemos D1 mini



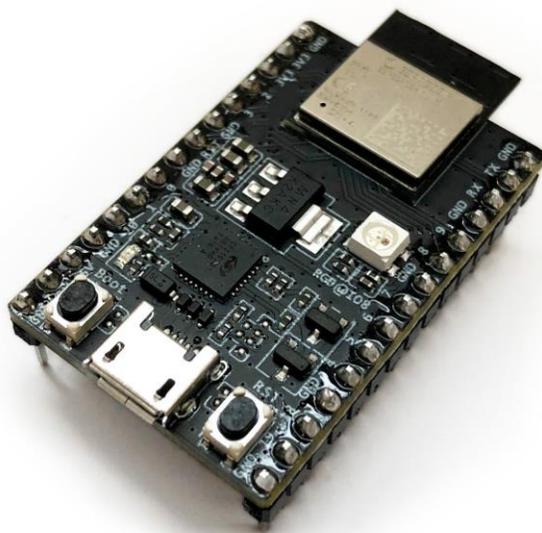
NodeMCU



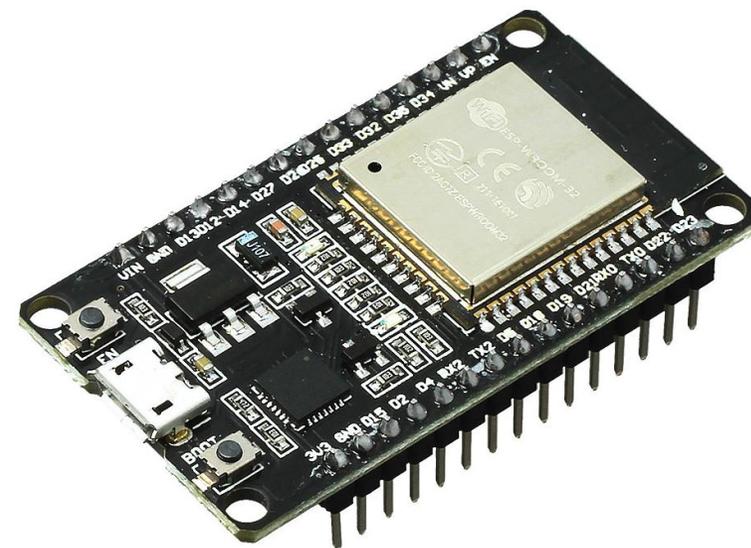
ESP-12 (SoM)



ESP32-C3 Super Mini



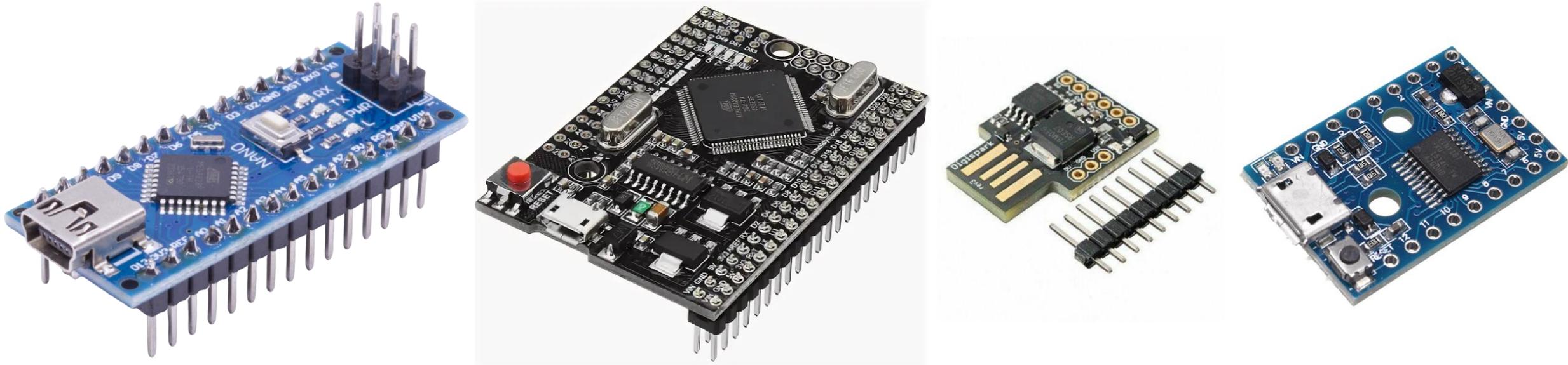
ESP32-C3-DevKitM-1



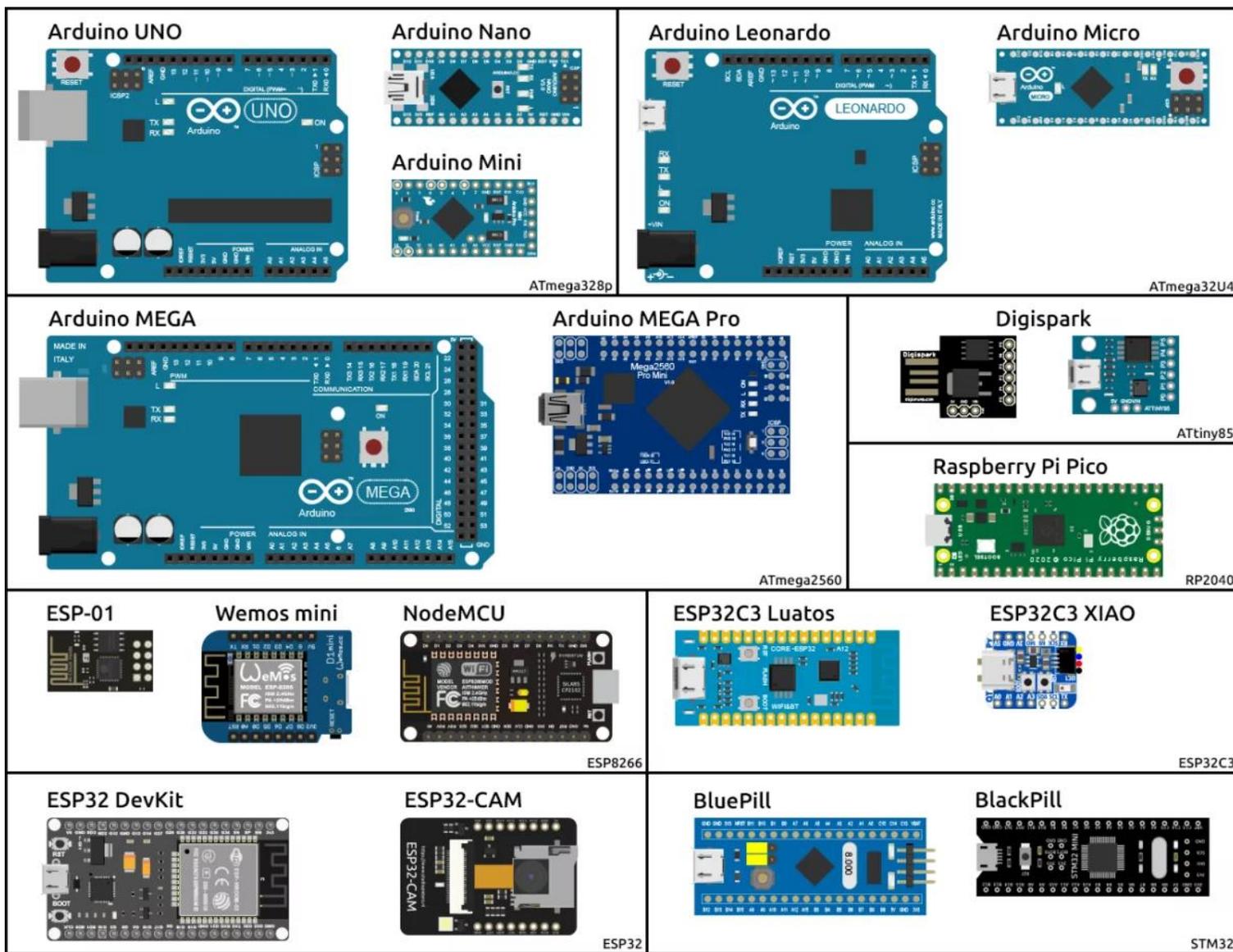
ESP32 WROOM DevKit v1

# 3. AVR (Microchip, ранее Atmel) - Arduino

- **Классические 8-битные микроконтроллеры**, ставшие основой платформы Arduino:
  - **ATmega328P** – сердце Arduino Uno.
  - **ATmega2560** – для Arduino Mega (больше памяти и периферии).
  - **ATtiny85/167** – компактные и дешёвые, для мини-проектов.
- Хотя уступают 32-битным МК по производительности, остаются популярными благодаря простоте, низкой цене и огромному сообществу. **Подходят для обучения и простых задач.**



# Версии платформы Arduino



На данный момент существует несколько сотен разных Arduino-совместимых плат, но для новичка выбор сводится буквально к нескольким популярным моделям. Платы отличаются размером, ценой, а самое главное - микроконтроллером, который задаёт основные возможности и особенности работы. Цена - немаловажный фактор: плату очень легко сломать, неправильно подключив к схеме. Поэтому однозначно не стоит начинать с дорогих моделей

# Версии платформы Arduino

- **Due** – новая плата на базе ARM микропроцессора 32bit Cortex-M3 ARM SAM3U4E.
- **Leonardo** – последняя версия платформы Arduino на ATmega32u4 микроконтроллере. Отличается разъемом microUSB, по размерам совпадает с UNO.
- **Yun** (описание на англ.) - новая плата, с встроенной поддержкой WiFi на базе ATmega32u4 and the Atheros AR9331
- **Micro** – новое компактное решение на базе ATmega32u4.
- **Uno** – самая популярная версия базовой платформы Arduino USB. Uno имеет стандартный порт USB. Arduino Uno во многом схожа с Duemilanove, но имеет новый чип ATmega8U2 для последовательного подключения по USB и новую, более удобную маркировку вход/выходов. Платформа может быть дополнена платами расширения, например, пользовательскими платами с различными функциями.
- **Arduino Ethernet** – контроллер со встроенной поддержкой работы по сети и с опциональной возможностью питания по сети с помощью модуля POE (Power over Ethernet).
- **Duemilanove** – является предпоследней версией базовой платформы Arduino USB. Подключение Duemilanove производится стандартным кабелем USB. После подключения она готова к использованию. Платформа может быть дополнена платами расширения, например, пользовательскими платами с различными функциями.

# Версии платформы Arduino

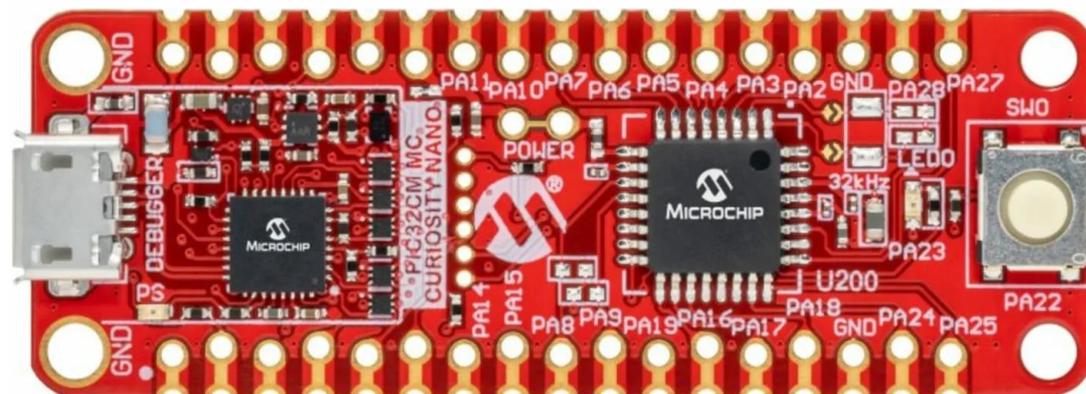
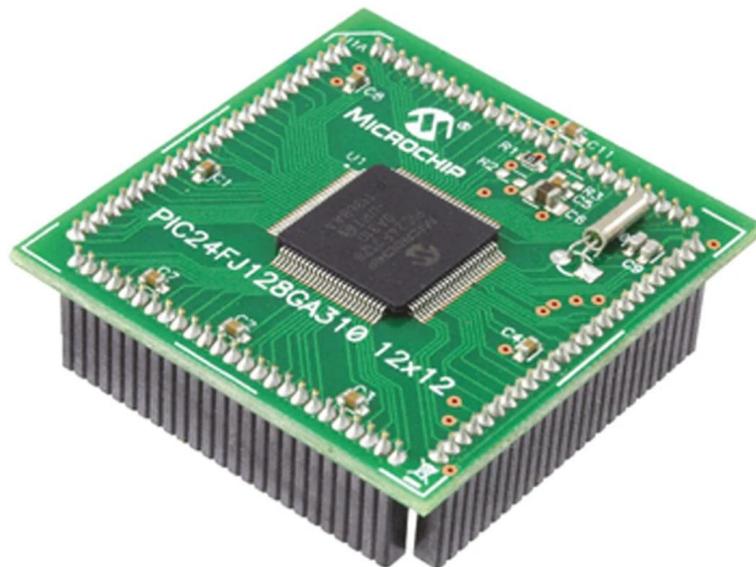
- **Diecimila** – предыдущая версия базовой платформы Arduino USB.
- **Nano** – это компактная платформа, используемая как макет. Nano подключается к компьютеру при помощи кабеля USB Mini-B.
- **Mega ADK** - версия платы Mega 2560 с поддержкой USB host интерфейса для связи с телефонами на Android и другими устройствами с USB интерфейсом.
- **Mega2560** – новая версия платы серии Mega. Построена на базе Atmega2560 и с использованием чипа ATmega8U2 для последовательного соединения по USB порту.
- **Mega** – предыдущая версия серии Mega на базе Atmega1280.
- **Arduino BT** платформа с модулем Bluetooth для беспроводной связи и программирования. Совместима с платами расширения Arduino.
- **LilyPad**– платформа, пурпурного цвета, разработанная для переноски, может зашиваться в ткань.
- **Fio** – платформа разработана для беспроводных применений. Fio содержит разъем для радио XBee, разъем для батареи LiPo и встроенную схему подзарядки.
- **Mini** – самая маленькая платформа Arduino. Прекрасно работает как макетная модель, или, в проектах, где пространство является критическим параметром. Платформа подключается к компьютеру при помощи адаптера Mini USB.

# Версии платформы Arduino

- **Адаптер Mini USB** – плата, конвертирующая подключение USB в линии 5 В, GND, TX и RX для соединения с платформой Arduino Mini или другими микроконтроллерами.
- **Pro** – платформа, разработанная для опытных пользователей, может являться частью большего проекта. Она дешевле, чем Diecimila и может питаться от аккумуляторной батареи, но в тоже время требует дополнительной сборки и компонентов.
- **Pro Mini** – как и платформа Pro разработана для опытных пользователей, которым требуется низкая цена, меньшие размеры и дополнительная функциональность.
- **Serial** – базовая платформа с интерфейсом RS232 для связи и программирования. Плата легко собирается даже начинающими пользователями. (включает схемы и файлы CAD)
- **Serial Single Sided** – платформа разработана для ручной сборки. Она обладает чуть большим размером, чем Diecimila, но совместима с платами расширения Arduino.
- **USB Serial Light Адаптер** - адаптер, позволяющий подключать платы Arduino к компьютеру для обмена данными и заливки скетчей. Удобен для программирования таких плат, как Arduino Mini, Arduino Ethernet и других, не имеющих своего разъема USB

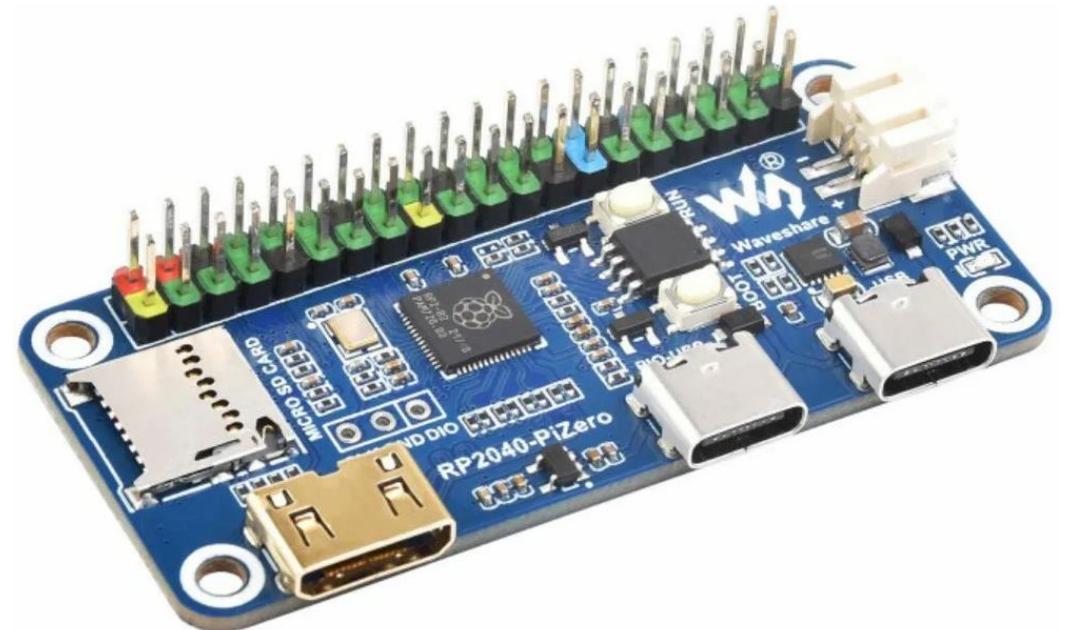
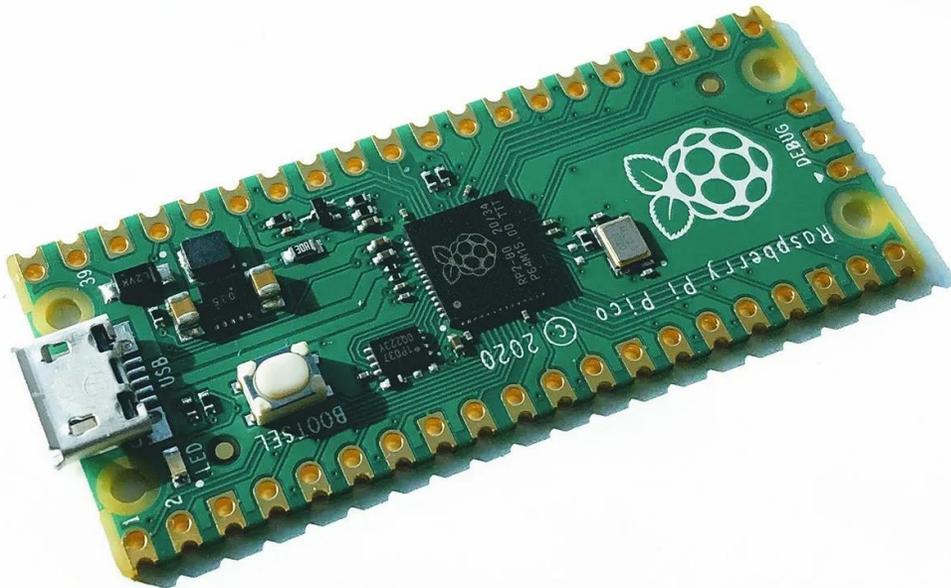
# 4. PIC (Microchip)

- Семейство PIC включает 8-, 16- и 32-битные микроконтроллеры:
  - **PIC10/12/16/18** – 8-битные, используются в бытовой электронике.
  - **PIC24/dsPIC** – 16-битные, с DSP-возможностями.
  - **PIC32** – 32-битные на ядре MIPS, конкурируют с ARM.
- Менее популярны в хоббийской среде из-за закрытой экосистемы (MPLAB X), но широко применяются в промышленности и automotive.



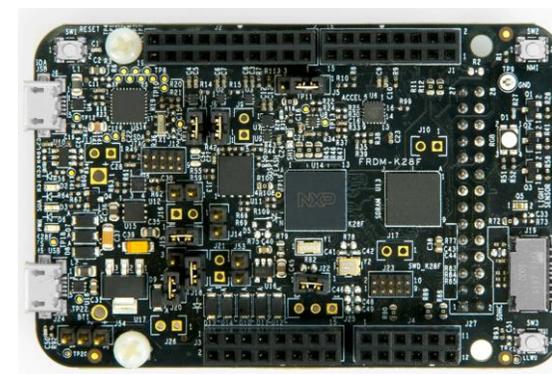
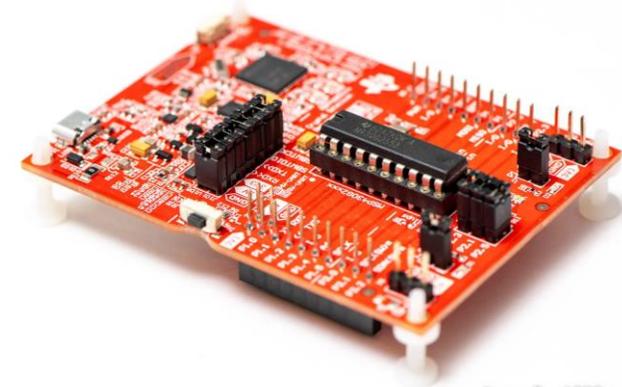
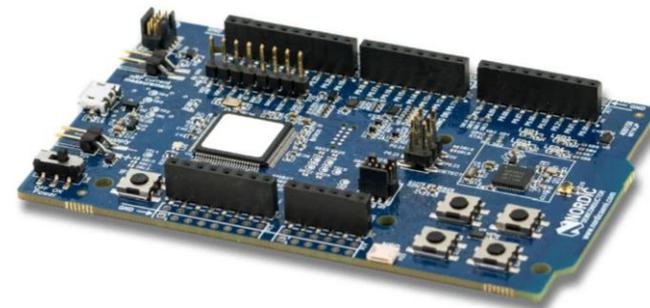
# 5. RP2040 (Raspberry Pi)

- RP2040 от Raspberry Pi Foundation:
  - Двухъядерный ARM Cortex-M0+ (133 МГц).
  - 264 КБ SRAM, гибкая программируемая периферия (PIO).
  - Используется в платах Raspberry Pi Pico, Pico W (с Wi-Fi).
- Открытая документация, поддержка в Arduino, MicroPython, C/C++. Быстро завоевал популярность благодаря цене, производительности и гибкости.



# 6. Другие заметные семейства

- **nRF52/nRF53 (Nordic Semiconductor)** – специализированные МК для BLE и Thread, используются в носимой электронике (умные часы, маячки).
- **MSP430 (Texas Instruments)** – ультранизкое энергопотребление, популярны в медицинских и измерительных устройствах.
- **Kinetis / LPC (NXP)** – ARM Cortex-M МК с поддержкой CAN FD, Ethernet, безопасностью (TrustAnchor), используются в automotive и промышленности.
- **и многие другие**



# Производители микроконтроллеров

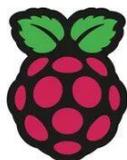


- **1. STMicroelectronics (STM32)**, Швейцария / Франция (штаб-квартиры в Женеве и Монруже) - Один из крупнейших мировых производителей полупроводников. Известен линейкой STM32 – широким спектром 32-битных микроконтроллеров на базе архитектуры ARM Cortex-M (M0, M0+, M3, M4, M7, M33). STM32 охватывают всё: от ultra-low-power устройств до высокопроизводительных решений с DSP, FPU, Ethernet, USB HS и криптографией. Популярны благодаря отличной документации, бесплатным инструментам (STM32CubeIDE), обширному сообществу и совместимости между семействами. <https://www.st.com>



**MICROCHIP**

- **2. Microchip Technology (PIC, AVR)**, США (Чандлер, Аризона) - Американская полупроводниковая компания, является одним из крупнейших в мире производителей микроконтроллеров, аналоговых и интерфейсных решений. После приобретения Atmel в 2016 году компания объединила под своим брендом две легендарные линейки микроконтроллеров: PIC – надёжные 8-, 16- и 32-битные MCU с многолетней историей применения в промышленности, автомобильной электронике и потребительских устройствах, и AVR – популярные 8- и 32-битные контроллеры с гарвардской архитектурой, ставшие основой платформы Arduino. Microchip также активно развивает 32-битные решения на базе ARM Cortex-M (SAM-серия) и предлагает полную экосистему разработки, включая среду MPLAB X, отладчики, RTOS и обширную техническую поддержку, оставаясь ключевым поставщиком для встраиваемых систем по всему миру. <https://www.microchip.com>



**Raspberry Pi  
Foundation**

- **3. Raspberry Pi Foundation / Raspberry Pi Ltd**, Великобритания (Кембридж) - Изначально известная своими одноплатными компьютерами (Raspberry Pi), компания в 2021 году выпустила собственный микроконтроллер RP2040 – двухъядерный 32-битный чип на архитектуре ARM Cortex-M0+ с уникальной периферией PIO (Programmable I/O). RP2040 стал основой платы Raspberry Pi Pico и быстро завоевал популярность благодаря низкой цене, гибкости и открытой документации. Экосистема активно развивается с поддержкой C/C++, MicroPython и CircuitPython. <https://www.raspberrypi.com>

# Производители микроконтроллеров



**NORDIC**  
SEMICONDUCTOR

- **4. Nordic Semiconductor**, Норвегия (Осло) - Лидер в области беспроводных микроконтроллеров для IoT. Семейства nRF52 и nRF53 – это SoC на базе ARM Cortex-M4/M33 с интегрированными радиомодулями: Bluetooth Low Energy (BLE), Thread, Zigbee, Matter, 2.4 ГГц proprietary. nRF52840 и nRF5340 особенно популярны в носимой электронике, умных датчиках и медицинских устройствах. Отличаются низким энергопотреблением, мощной SDK (nRF Connect) и поддержкой современных протоколов. <https://www.nordicsemi.com>



- **5. Texas Instruments**, США (Даллас, Техас) - Американская полупроводниковая компания, является одним из мировых лидеров в разработке и производстве аналоговых компонентов, микроконтроллеров и встраиваемых решений. Особенно известна своими 16-битными микроконтроллерами MSP430, которые задали стандарт ультранизкого энергопотребления и широко применяются в портативной медицинской технике, измерительных приборах и IoT-датчиках, а также линейкой SimpleLink – 32-битных MCU на базе ARM Cortex-M с поддержкой Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee и других беспроводных протоколов. TI производит широкий спектр чипов – от простых 8-битных контроллеров до сложных SoC и аналоговых ИС, – сочетая высокую надёжность, промышленную сертификацию и полную локализацию производственных цепочек в США, что делает её ключевым поставщиком для оборонной, автомобильной и промышленной электроники. <https://www.ti.com>



- **6. NXP Semiconductors**, Нидерланды (головной офис), с корнями в США (бывшая часть Motorola/Freescale) – является одним из ведущих мировых производителей микроконтроллеров и процессоров для встраиваемых систем. Компания специализируется на высокопроизводительных и безопасных решениях на архитектуре ARM Cortex-M, включая популярные семейства LPC (наследие Philips) и Kinetis (от Freescale), а также инновационные кроссплатформенные микроконтроллеры i.MX RT с частотой до 1 ГГц, сочетающие производительность приложений-процессоров с детерминированностью MCU. NXP особенно сильна в автомобильной электронике, промышленной автоматизации и системах с повышенными требованиями к безопасности, предлагая чипы с аппаратной криптографией, защищённой загрузкой и сертификацией по международным стандартам. <https://www.nxp.com>

# Китайские производители микроконтроллеров



- **1. GigaDevice (兆易创新)** - один из крупнейших китайских производителей памяти и микроконтроллеров. Известен своими GD32 – совместимыми по программному обеспечению с STM32 микроконтроллерами на базе ARM Cortex-M. GD32 часто используют как прямую замену STM32 в условиях санкций или дефицита. <https://www.gigadevice.com>



- **2. Espressif Systems** - китайская компания, полностью разрабатывающая свои чипы. ESP32 и ESP8266 – одни из самых популярных IoT-чипов в мире благодаря встроенным Wi-Fi/Bluetooth, низкой цене и открытой экосистеме. <https://www.espressif.com>



- **3. Nuclei System Technology (Нуклеус / 芯来科技)** - специализируется на RISC-V – разрабатывает не только ядра, но и готовые микроконтроллеры и SoC. Партнёр многих китайских фабрик (SMIC, TSMC). Их решения активно используются в промышленности, IoT и автомобильной электронике. <https://www.nucleisys.com/>



- **4. Bouffalo Lab (博流智能)** - компания, специализирующаяся на энергоэффективных IoT-чипах с поддержкой Wi-Fi, Bluetooth, BLE, Zigbee и Thread. Их чипы часто используются в умных устройствах (лампы, розетки, датчики). <https://www.bouffalolab.com>



- **5. APM32 (by Geehy Semiconductor / 合宙)** - производитель прямых аналогов STM32, совместимых по регистрам, пинам и программному обеспечению. Используются в промышленной автоматике, потребительской электронике и телекоммуникациях. <https://www.geehy.com>

# Российские производители микроконтроллеров



- **1. АО «Миландр»**, Зеленоград, Москва - Крупнейший российский разработчик микросхем, входит в госкорпорацию «Ростех». Специализируется на радиационно-стойкой, промышленной и автомобильной электронике. Многие микроконтроллеры Миландра – это клонированные или адаптированные аналоги STM32 и других западных решений, но с локализованной документацией, поддержкой и сертификацией для госсектора. <https://www.milandr.ru>



- **2. АО «НИИЭТ»** (Научно-исследовательский институт электронной техники), Воронеж - Один из старейших центров микроэлектроники СССР и России. Разрабатывает как аналоговые, так и цифровые микросхемы, включая микроконтроллеры для обороны и промышленности. <https://www.niiet.ru>  
<https://ozon.by/seller/nauchno-issledovateljskiy-institut-elektronnoy-tehniki-168932/>



- **3. ООО «ЭЛВИС-НеоТек»** (входит в Группу «ЭЛВИС»), Зеленоград, Москва - Компания разрабатывает не только микроконтроллеры, но и микропроцессоры на базе RISC-V, а также SoC для машинного зрения и ИИ. Активно участвует в проектах импортозамещения в телекоммуникациях и промышленной автоматике. <https://elvis.ru>



- **4. АО «Ангстрем»**, Зеленоград, Москва - Исторически крупный производитель микросхем в СССР. Сегодня сосредоточен на выпуске микроконтроллеров и логических ИС по технологии 250–90 нм. Некоторые чипы создаются на основе лицензированных ядер. <https://www.angstrom.ru/>



- **5. ООО «МЦСТ»** (Московский центр SPARC-технологий), Москва - Хотя МЦСТ известен в основном своими процессорами «Эльбрус» (для ПК и серверов), компания также разрабатывает встраиваемые решения на базе собственных архитектур и RISC-V. <https://www.mcst.ru>

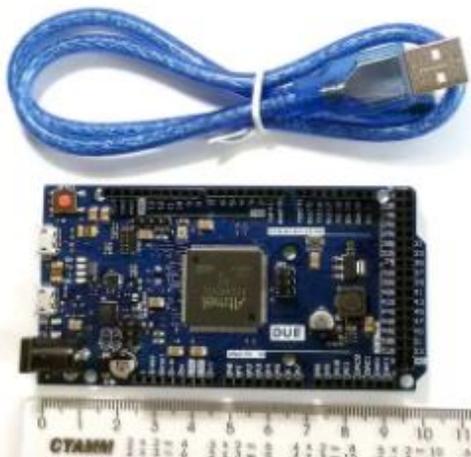
# Применение микроконтроллеров

- Микроконтроллеры, благодаря своим компактным размерам, низкому энергопотреблению, доступности и гибкости, находят широкое **применение в различных областях**:
  - **Управление бытовой техникой:** Используется в таких бытовых приборах, как стиральные машины, холодильники, микроволновые печи и кондиционеры для интеллектуального управления и энергоэффективности.
  - **Автомобильная электроника:** имеет решающее значение в таких системах, как блоки управления двигателем (ЭБУ), антиблокировочные тормозные системы (ABS), системы электронного контроля устойчивости (ESC) и системы управления подушками безопасности, повышая производительность, безопасность и комфорт автомобиля.
  - **Индустриальная автоматизация:** Применяется в робототехнике, управлении производственными линиями и интеллектуальных складских системах, повышая производительность, сокращая затраты и улучшая качество и однородность продукции.
  - **Умные домашние системы:** используется для интеллектуального управления освещением, системами домашней безопасности и интеллектуальным управлением бытовыми приборами, обеспечивая удаленное управление и интеллектуальное управление с помощью смартфонов или голосовых помощников.
  - **Медицинские приборы:** Широко используется в таких устройствах, как пульсометры, тонометры и глюкометры, обеспечивая мониторинг здоровья в режиме реального времени и своевременное оказание медицинских услуг.
  - **Бытовая электроника:** Встречается в смартфонах, планшетах, цифровых камерах, игровых приставках, выполняет различные функции, такие как обработка изображений, обработка звука и связь.
  - **Power Systems:** Применяется для мониторинга и управления электропитанием, интеллектуальных сетей и управления нагрузкой, повышая эффективность, надежность и безопасность энергосистем.
  - **Сельскохозяйственные технологии:** Используется в интеллектуальных системах орошения, интеллектуальной сельскохозяйственной технике, а также в сборе и анализе сельскохозяйственных данных, повышая производительность сельского хозяйства, экономя ресурсы и сокращая затраты на рабочую силу.

# Где купить?

1. ЧПТУ «**БелЧип**», Минск (Автоматика, Робототехника, Микрокомпьютеры) <https://www.belchip.by/catalog/>
2. ООО «**ЧИП и ДИП**», Минск - приборы, радиодетали и электронные компоненты <https://www.chipdip.by>
3. ЧТПУ «**Комполед**» <https://malibor.by/catalog/>
4. **РадиоМаркет**, Витебск <https://radio-market.by>
5. **EasyCraft**, Минск <https://easycraft.by>
6. **Радиоэлектроника**, Минск <https://radioshop.by>
7. **SMD-BEL**, Минск <https://www.smd-bel.by/>
8. **Озон** \ Электроника \ Комплектующие для ПК \ Электронные модули: <https://ozon.by/category/elektronnye-moduli-31565/>
9. **Wildberries** <https://www.wildberries.by/>
10. **Aliexpress** (Китай) <https://aliexpress.ru/category/305/integrated-circuits>
11. и многие другие специализированные онлайн ресурсы

# Arduino Due



Распродажа

52,66 BYN ~~211,43 BYN~~ -75%

10 шт осталось

Arduino

Плата (контроллер) Arduino DUE

R3 SAM3X8E + кабель

★ 5.0 21 отзыв

Осталось 8 шт

217,44 BYN

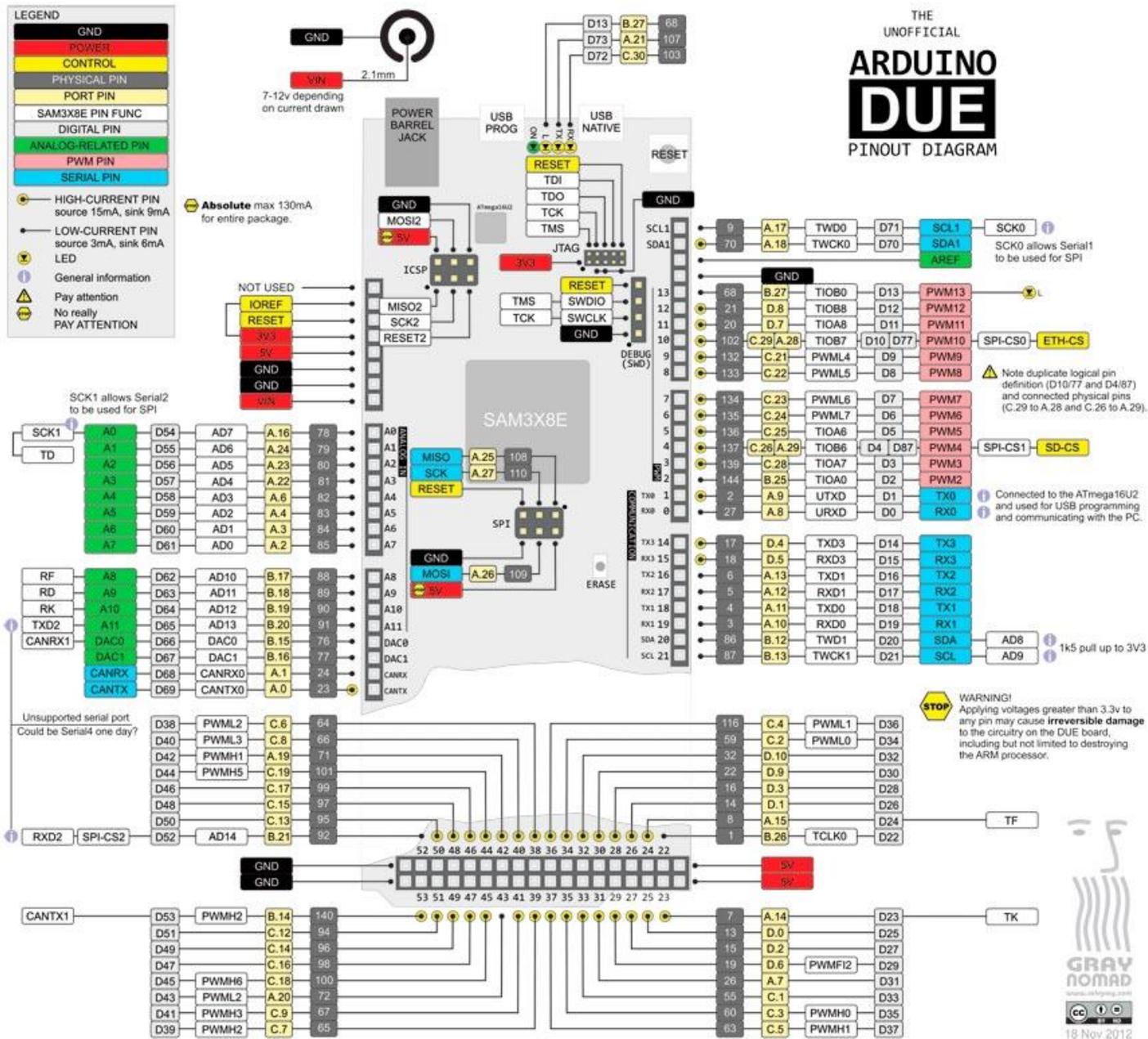
DUE R3 SAM3X8E 32-bit ARM

Cortex-M3 (Arduino

совместимый контроллер) + ...

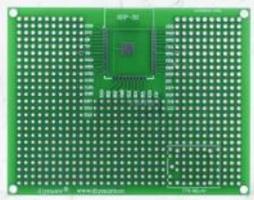
[https://ozon.by/category/elektronnye-moduli-31565/?category\\_was\\_predicted=true&deny\\_category\\_prediction=true&from\\_global=true&text=Arduino+Due](https://ozon.by/category/elektronnye-moduli-31565/?category_was_predicted=true&deny_category_prediction=true&from_global=true&text=Arduino+Due)

<https://www.wildberries.by/catalog/0/search.aspx?search=Arduino%20Due>



Белорусско-Российский университет, Кафедра «Программное обеспечение информационных технологий»

# OZON/WB (2025): ESP платы

 <p><b>Распродажа</b></p> <p><b>21,90 BYN</b> <del>71,16 BYN</del> -69%</p> <p>23 шт осталось</p> <p>Плата разработки ESP32-C6 SuperMini WiFi Bluetooth Zigbee...</p> <p>★ 4.9 ● 17 отзывов</p>	 <p><b>Распродажа</b></p> <p><b>13,36 BYN</b> <del>28,69 BYN</del> -53%</p> <p>44 шт осталось</p> <p>Плата расширения esp32 38 pin</p> <p>★ 4.8 ● 21 отзыв</p>	<p>Макетная печатная плата</p> <p><b>ESP-32</b></p>  <p><b>ESP-12F</b></p> <p><b>Распродажа</b></p> <p><b>11,93 BYN</b> <del>25,79 BYN</del> -53%</p> <p>38 шт осталось</p> <p>Макетная печатная плата для пайки ESP32, ESP-12, ESP8266</p> <p>★ 5.0 ● 1 отзыв</p>	<p><b>ESP32 C3 SUPER MINI + КОРПУС</b></p>  <p><b>РАСПАЯНЫЕ КОНТАКТЫ</b></p> <p><b>WI-FI + BLUETOOTH 5</b></p> <p><b>Распродажа</b></p> <p><b>16,11 BYN</b> <del>40,25 BYN</del> -59%</p> <p>72 шт осталось</p> <p>ESP32 C3 Super Mini с корпусом</p> <p>★ 4.9 ● 66 отзывов</p>	<p><b>ESP32-DEVKIT</b></p> <p>USB TYPE-C CH340</p>  <p><b>Распродажа</b></p> <p><b>18,42 BYN</b> <del>44,69 BYN</del> -58%</p> <p>13 шт осталось</p> <p>ESP32 DEVKIT. Отладочная плата ESP32, CH340, TYPE-C...</p> <p>★ 4.8 ● 418 отзывов</p>	 <p><b>Распродажа</b></p> <p><b>11,59 BYN</b> <del>19,76 BYN</del> -41%</p> <p>9 шт осталось</p> <p>Плата расширения expansion board для ESP32 30pin</p> <p>★ 4.9 ● 32 отзыва</p>	<p><b>ESP8266 CH340</b></p> <p>NodeMCU</p>  <p><b>TYPE-C</b></p> <p>802.11 b/g/n</p> <p>Esp8266, CH340</p> <p><b>Распродажа</b></p> <p><b>13,33 BYN</b> <del>34,98 BYN</del> -61%</p> <p>275 шт осталось</p> <p>Arduino</p> <p>Модуль ESP8266 Wi-Fi NodeMcu v3 контроллер плата CH340...</p>
<p><b>ESP32</b></p> <p>МОЩНАЯ АЛЬТЕРНАТИВА ARDUINO</p> <p>ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПРОЕКТОВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ</p>  <p><b>CP2102</b></p> <p>Плата в Arduino IDE: ESP32 DEV Module ЧИП: ESP32-D0WD-V3 (revision v3.1)</p> <p><b>Распродажа</b></p> <p><b>26,04 BYN</b></p> <p>Плата разработки ESP32 не распаянный CP2102 NodeMCU с Wi-Fi и Bluetooth для Arduino</p> <p>★ 4.8 ● 297 отзывов</p>	<p><b>ESP32+ПЛАТА РАСШИРЕНИЯ ESP32 CH340C</b></p>  <p><b>TYPE-C</b></p> <p>802.11 B/G/N</p> <p><b>Распродажа</b></p> <p><b>22,36 BYN</b> <del>101,99 BYN</del> -78%</p> <p>19 шт осталось</p> <p>ESP32; Модуль ESP32 TYPE-C CH340C + плата расширения...</p> <p>★ 4.9 ● 76 отзывов</p>	<p><b>Seeed-ESP32-C6</b></p>  <p>RISC-V, 2 проц.</p> <p>160 МГц 20 МГц</p> <p>15 мкА в глубоком сне</p> <p>Шифрование на чипе, TEE</p> <p>BLE/Wi-Fi до 80 м + UFL</p> <p>Zigbee + Thread</p> <p><b>Распродажа</b></p> <p><b>42,03 BYN</b> <del>165,48 BYN</del> -74%</p> <p>34 шт осталось</p> <p>Плата для разработки Seeed Studio XIAO ESP32-C6 - RISC-V...</p> <p>★ 4.8 ● 25 отзывов</p>	<p><b>ESP32-WROOM DevKit</b></p> <p>hobby support</p>  <p><b>Распродажа</b></p> <p><b>17,81 BYN</b> <del>39,95 BYN</del> -55%</p> <p>12 шт осталось</p> <p>Плата разработки ESP32-Wroom Dev Kit Type C.</p> <p>★ 5.0 ● 15 отзывов</p>	<p>Беспроводной модуль NodeMCU V3 на Esp8266 CH340</p>  <p><b>Распродажа</b></p> <p><b>9,87 BYN</b> <del>21,10 BYN</del> -53%</p> <p>155 шт осталось</p> <p>Arduino</p> <p>Контроллер Wi-Fi NodeMCU на базе ESP8266</p> <p>★ 4.9 ● 382 отзыва</p>	<p><b>ESP8266 CH340</b></p>  <p>≈ 31mm</p> <p>≈ 57mm</p> <p><b>Распродажа</b></p> <p><b>10,32 BYN</b> <del>15,69 BYN</del> -34%</p> <p>19 шт осталось</p> <p>Контроллер плата ESP8266 MICRO-USB CH340 Wi-Fi...</p> <p>★ 4.8 ● 786 отзывов</p>	<p><b>МОДУЛЬ ESP32 WROOM-32 CH340</b></p>  <p>30 Pin</p> <p>Wi-Fi + Bluetooth</p> <p><b>Распродажа</b></p> <p><b>30,45 BYN</b> <del>87,17 BYN</del> -65%</p> <p>37 шт осталось</p> <p>Модуль ESP32 WROOM32 Type-C USB CH340, Wi-Fi + BT, плата...</p> <p>★ 4.8 ● 6 отзывов</p>

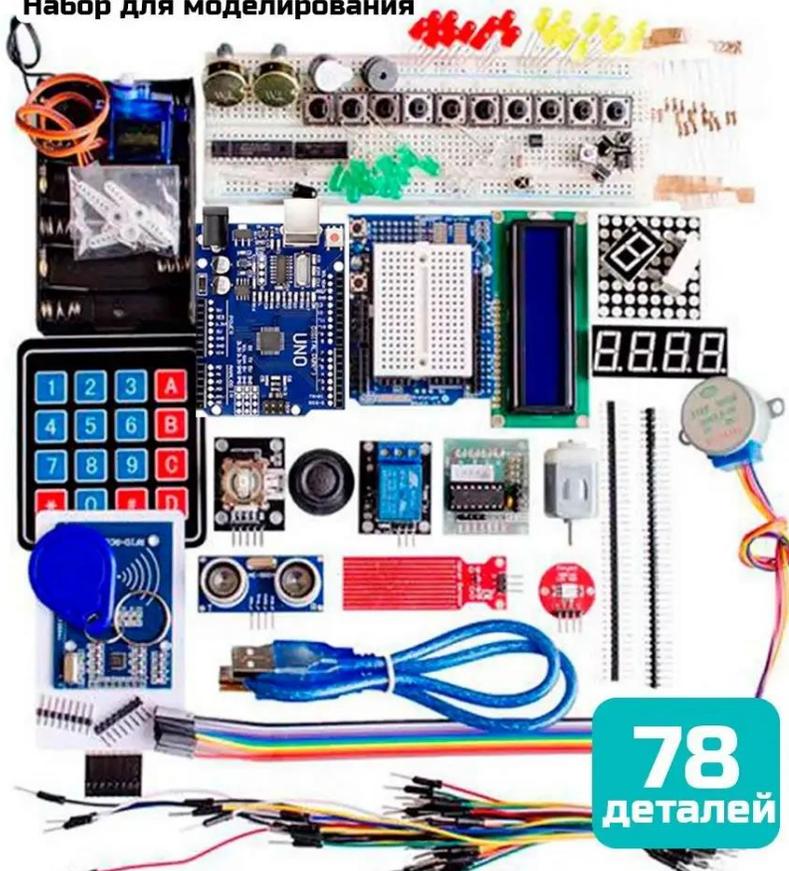
[https://ozon.by/search/?text=ESP+платы&from\\_global=true](https://ozon.by/search/?text=ESP+платы&from_global=true)

<https://www.wildberries.by/catalog/0/search.aspx?search=ESP%20платы>

# Arduino KIT. Готовые наборы

## Arduino UNO R3 KIT#10

Набор для моделирования



для начинающих и опытных робототехников

## Набор Arduino UNO R3 9V Maximum KIT



## Arduino UNO R3 KIT#08

Набор для моделирования



для начинающих и опытных робототехников

[https://ozon.by/category/elektronnye-moduli-31565/?category\\_was\\_predicted=true&deny\\_category\\_prediction=true&from\\_global=true&text=Arduino](https://ozon.by/category/elektronnye-moduli-31565/?category_was_predicted=true&deny_category_prediction=true&from_global=true&text=Arduino)

<https://www.wildberries.by/catalog/0/search.aspx?search=Arduino>

<https://www.chipdip.by/catalog-show/arduino-controllers?p.0=Arduino>

# Arduino набор GyverKIT. Готовые наборы



**GyverKIT – самый большой стартовый Ардуино набор для обучения робототехнике и программированию.**

В состав набора входят самые популярные и универсальные модули и датчики, что позволяет собрать на его базе огромное количество электронных самоделок и провести кучу экспериментов!

<https://kit.alexgyver.ru>





# Производители печатных плат (РСВ)

- **Современные производители печатных плат (РСВ)** играют ключевую роль в разработке электроники — от хобби-проектов до промышленных устройств.
- Любители радиоэлектроники, инженеры и стартапы заказывают себе платы, **чтобы перейти от макетной сборки на беспаячной монтажной плате к надёжному, компактному и повторяемому решению.**
- **Готовая печатная плата обеспечивает стабильную работу схемы**, уменьшает помехи, упрощает монтаж и позволяет легко воспроизводить устройство — будь то контроллер на базе STM32, IoT-датчик на ESP32 или кастомная плата для Arduino.
- Особенно это важно при создании устройств с SMD-компонентами, высокой плотностью монтажа или требованиями к электромагнитной совместимости.
- **Заказать плату для проектов на STM32, ESP32, Arduino или других микроконтроллеров сегодня проще простого:** разработчик создаёт схему и трассировку в САПР (KiCad, Altium, EasyEDA, Eagle и др.), экспортирует Gerber-файлы (стандартный формат для производства РСВ) и загружает их на сайт производителя.
- Большинство сервисов автоматически проверяют файлы на ошибки (DFM-анализ), мгновенно рассчитывают стоимость и сроки, а также позволяют выбрать параметры: количество слоёв (чаще всего 2), толщину платы (1.6 мм), тип покрытия (ENIG, HASL), цвет маски (зелёный, чёрный и др.).
- Для типовых плат под STM32 или ESP32 часто используются готовые шаблоны или open-source проекты с GitHub, что ускоряет процесс.

# Производители печатных плат (PCB)

- Сегодня штучное и мелкосерийное производство (от 1–5 штук) — стандарт для ведущих онлайн-фабрик.
- Особенно популярны китайские сервисы:
  - **JLPCB** — предлагает платы от 5 шт., включая бесплатную базовую сборку (PCBA) для простых проектов, огромную библиотеку компонентов и интеграцию с EasyEDA.
  - **PCBWay** — гибкий сервис с поддержкой не только PCB, но и 3D-печати, CNC, сборки и даже помощи в сертификации.
  - **NextPCB** — делает ставку на скорость и автоматизированную SMT-линию, подходит для быстрого прототипирования.
- Все три компании стабильно доставляют в Беларусь и Россию через DHL, FedEx или ePacket, сроки — от 7 до 20 дней.
- Помимо прямых заказов, **существуют посредники и агрегаторы, упрощающие процесс** для новичков или тех, кто не хочет работать напрямую с иностранными сайтами.
- Например, **PCBChina** и **PCBSolutions** — это, как правило, локальные российские или белорусские компании, которые принимают заказы на русском языке, помогают с подготовкой файлов и пересылают их на китайские фабрики (часто те же JLPCB или PCBWay), но берут наценку за услуги.
- Также **популярны магазины на AliExpress**, где продавцы предлагают «изготовление PCB по вашим файлам» — однако качество, сроки и поддержка там сильно варьируются, а прозрачность минимальна. Такие посредники могут быть удобны для разовых заказов без критичных требований, но для серьёзных проектов рекомендуется работать напрямую с JLPCB, PCBWay или NextPCB — это дешевле, быстрее и надёжнее.

The screenshot displays the JLPCBV website's configuration interface for PCBs. At the top, there's a navigation bar with the JLPCBV logo, a search icon, and options for currency (USD), order status, user profile, and login. Below the navigation, there are four main service categories: Standard PCB/PCBA, Advanced PCB/PCBA, SMT-Stencil, and 3D Printing/CNC. The main content area features a central 'Add gerber file' button with instructions and a 'Log in to view your upload history' link. Below this, there are several configuration sections: 'Base Material' with options like FR-4, Flex, Aluminum, Copper Core, Rogers, and PTFE Teflon; 'Layers' with a range from 1 to 16; 'Dimensions' set to 100x100mm; 'PCB Qty' set to 5; 'Product Type' with options like Industrial/Consumer electronics, Aerospace, and Medical; 'PCB Specifications' including 'Different Design' (1-4), 'Delivery Format' (Single PCB, Panel by Customer, Panel by JLPCBV), 'PCB Thickness' (0.4mm to 2.0mm), and 'PCB Color' (Green, Purple, Red, Yellow, Blue, White, Black). On the right side, there's a 'Charge Details' section showing a 'Special Offer' of \$2.00, 'Via Covering' at \$0.00, and 'Surface Finish' at \$0.00. It also shows 'Build Time' options (2 days for \$0.00, 24 hours for \$7.20) and a 'Calculated Price' of \$2.00 (reduced from \$4.00). A 'Shipping Estimate' of \$23.27 is shown for DHL Express (DDP) with a 2-4 business day lead time. At the bottom of the page, there are four promotional cards: '1-4 Layers' (From \$2/5pcs, Build Time: 24 hours), '6-32 Layers' (From \$2/5pcs, Build Time: 4 days), 'Flex PCBs' (From \$2/5pcs, Build Time: 4 days), and 'PCB Assembly' (From \$8/5pcs, Build Time: 24 hours). Each card includes a 'Quote Now' button and a 'Learn More' link.

**JLPCBV** — один из крупнейших и самых популярных в мире производителей печатных плат (PCB) и услуг по сборке (PCBA), основанный в 2011 году и базирующийся в Шэньчжэне, Китай.

Компания специализируется на **быстром, недорогом и высококачественном изготовлении плат от 5 штук, что делает её идеальным выбором для инженеров, стартапов, студентов и хобби-электронщиков.** JLPCBV поддерживает производство от 1 до 16 слоёв, включая жёсткие, гибкие и жёстко-гибкие платы, с различными вариантами паяльной маски (зелёная, чёрная, красная и др.), покрытий (HASL, ENIG, OSP) и толщин подложки. Особое внимание привлекает **интегрированный сервис автоматической сборки (SMT) — с возможностью заказать готовую собранную плату,** используя обширную библиотеку из более чем 40 000 компонентов, включая пассивные элементы, микросхемы и даже VGA-корпуса.

**Заказ оформляется полностью онлайн:** пользователь загружает Gerber-файлы (или проекты из KiCad, Altium, Eagle и др.), мгновенно получает расчёт стоимости и сроков, выбирает параметры и оплачивает банковской картой, PayPal или другими способами. **Доставка в Беларусь и Россию осуществляется стабильно** — через DHL, FedEx, ePacket или местных курьеров, сроки варьируются от 7 до 20 дней в зависимости от тарифа; при стоимости заказа до \$200–300 пошлины и налоги, как правило, не взимаются. Благодаря сочетанию низких цен, высокой автоматизации, прозрачной системы ценообразования и надёжной логистики, JLPCBV остаётся лидером рынка мелкосерийного PCB-производства для разработчиков по всему миру, включая страны СНГ.

<https://cart.jlpcb.com/quote?spm=Jlpcb.Homepage.1019>

Официальный сайт: <https://jlpcb.com>

Home PCB Instant Quote CNC | 3D Printing PCB Assembly PCB Design OEM Product & Capabilities Why Us? Feedback Shared Projects Module Store

PCB Prototype Instant Quote Full feature prototype PCB custom service at low cost.

Dimensions: Length x Width mm Quantity: Choose Num (pcs)

Layers: 2 Layers Thickness: 1.6mm

Quote Now

PCBWay 8th Project Design Contest Electronic & Mechanical & AIoT

Unleash your creativity, showcase your innovative project designs, and win exciting prizes!

PARTICIPATE NOW

\$5.00 10 pcs 1-2 layer Build Time:24 hours

\$29 free shipping for 1-20pcs assembly

Best Value Manufacturer Direct Pricing 24H Fast Turnaround As fast as 24 hours One-on-one assistance Smooth shopping experience

News: 06-14 Meet the Winners of PCBWay&#39;s 10th Anniversary Bad...  
PCBWay, PCB Prototype the Easy Way With more than a decade in the field of PCB prototype and ... Learn More

How to use Place an order on PCBWay See how it works

Online Quote Upload PCB File Order Review Payment Real-time Fabrication Tracking Delivery Confirm Received

Solutions We Do More Electrical & Mechanical, cable assembly, box build assembly, Final Product Assembly and contract manufacturing... See more >

PCB Prototype From \$5/10pcs Build Time:24 hours

PCB Assembly From \$29 100+ component vendors

Flex,Rigid-Flex PCB From \$46.74 Build Time:6-7 days

HDI PCB From \$349.68 Build Time:7-8 days

CNC machining From \$25 Build Time:7-9 days

3D printing From \$4.98 Build Time:3-4 days

Assembly Service Promotion Only \$29 IN TOTAL for 1-20pcs assembly

One-Stop Solution for PCB & Assembly Made Easy,Quality,On Time

- ✓ SMT & Through-Hole Assembly
- ✓ Wave Solder for PCBA
- ✓ PCBA Online Quote
- ✓ One-stop BOM Purchase Solution
- ✓ Over 99.6% Satisfied rate
- ✓ Box Build,Cable Wire Harness

Inside PCBWay Factory

**PCBWay** — один из ведущих мировых онлайн-производителей печатных плат (PCB) и электронных услуг, основанный в 2006 году и базирующийся в Шэньчжэне, Китай.

**Компания специализируется на быстром прототипировании и мелкосерийном производстве, предлагая изготовление плат от 5 штук с возможностью выбора от 1 до 14 слоёв, включая жёсткие, гибкие (FPC), жёстко-гибкие и алюминиевые (металлоподложечные) платы.** PCBWay поддерживает широкий спектр технологий: HDI, импеданс-контроль, различные типы покрытий (ENIG, HASL, Immersion Silver), цвета паяльной маски и толщины подложки. Помимо PCB, компания предоставляет услуги по сборке (PCBA) с автоматической установкой компонентов (включая 0201, BGA, QFN), 3D-печать, лазерную резку, CNC-обработку и даже помощь в проектировании корпусов.

**Заказ оформляется полностью онлайн:** пользователь загружает Gerber-файлы (или проекты из KiCad, Altium, Eagle и др.), получает мгновенный расчёт стоимости и сроков, проходит бесплатную DFM-проверку и оплачивает заказ банковской картой, PayPal или другими способами.

**Доставка в Беларусь и Россию осуществляется стабильно** — через DHL, FedEx, ePacket и другие курьерские службы; сроки варьируются от 7 до 18 рабочих дней, а при стоимости до \$200–300 пошлины, как правило, не взимаются. Благодаря сочетанию качества, скорости, низких цен и поддержки open-source и образовательных проектов, PCBWay является одним из самых популярных и надёжных выборов для инженеров и разработчиков по всему миру, включая страны СНГ.

Официальный сайт: <https://www.pcbway.com>

PCBWave Главная Ценообразование Возможности Свяжитесь с страницей ПЛИС нами

Моя корзина 0,00 \$

**\$4.9 for 10pcs PCB Prototyping**

Quote Now >

## PCBWAVE - Фабрика производства печатных плат

Компания PCBWAVE из Китая — это крупнейший производитель печатных плат, расположенный в Шэньчжэне, центре крупнейшего в мире рынка электроники. PCBWAVE **специализируется на прототипировании, мелкосерийном и крупносерийном производстве печатных плат, а также сборке электронных узлов и 3D-печати.** Компания предлагает полный комплекс услуг по проектированию и производству, включая закупку компонентов, тестирование и упаковку, помогая стартапам и компаниям снизить издержки и сосредоточиться на разработке и маркетинге.

PCBWave отличается высоким качеством продукции, подтвержденным сертификатами ISO9001 и IATF16949, а также полностью автоматизированным производством SMT с комплексной проверкой качества (SPI, AOI, рентген). Для клиентов обеспечивает прозрачность производства с помощью ERP и MES систем, позволяющих отслеживать статус заказа в любой момент.

Особенностью также является **отсутствие минимального заказа (NO MOQ)** и сильная техническая поддержка для работы с открытым аппаратным обеспечением, в том числе на платформах Arduino и Raspberry Pi.

Основные конкурентные преимущества PCBWave включают доступность цен, широкий выбор продукции и материалов, удобство заказов и доставки, а также надежное послепродажное обслуживание с гарантией качества на пайку и компоненты.

Заказ и доставка печатных плат с PCBWave в Беларусь и Россию осуществляются на официальном сайте PCBWave, где выбираются параметры плат и услуги сборки. Оплата чаще всего доступна банковским переводом. Среднее время доставки — около 5-10 дней от отправки.

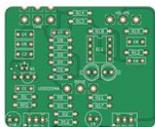
Слои: 1 2 4 6

Размеры: 100 x 100 mm

Количество: 5

Срочный расчет

### Сервис для PCBWAVE



#### Обычный ПЛИС

- Только 1 доллар за ПЛИС размером 100x100 мм
- 55 долларов за квадратный метр при массовом производстве

От \$1 за 10 штук

Получить котировку сейчас



#### Высококачественный ПЛИС

- Алюминий, Гибкий печатный плата, Же-стко-гибкий печатный плата, Печатные платы с высокой плотностью интеграции (HDI)
- Многослойная, чернокорневая, меднокорневая ПЛИС

От \$30 за 5 штук

Получить котировку сейчас

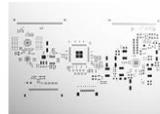


#### Монтаж печатной платы

- Нет минимального количества заказа: приемлемо заказать 1 штуку.
- Сертифицировано по ISO9001, IATF16949
- Система управления ERP и MES

От 30 долларов

Получить котировку сейчас



#### Штамп для ПЛИС

- Нет ограничений на панелирование.

От 5 долларов

Получить котировку сейчас

Официальный сайт: <https://www.pcbwave.com/>

**NextPCB** — китайский производитель печатных плат, основанный в 2005 году и базирующийся в Шэньчжэне, специализирующийся на **быстром прототипировании и мелкосерийном производстве PCB и PCBA** (сборке плат). Компания предлагает изготовление плат от 1 штуки, поддерживает до 32 слоёв, а также производит гибкие (FPC), жёстко-гибкие (Rigid-Flex) и многослойные HDI-платы с импеданс-контролем, масками разных цветов и различными типами покрытий (HASL, ENIG, Immersion Silver и др.). NextPCB **позиционирует себя как альтернативу JLCPCB и PCBWay**, делая акцент на высокой скорости выполнения заказов (от 24 часов для прототипов) и собственной автоматизированной линии SMT-сборки с библиотекой из более чем 30 000 компонентов.

**Заказ оформляется через онлайн-платформу:** пользователь загружает Gerber-файлы, получает мгновенный расчёт стоимости и сроков, выбирает параметры и оплачивает банковской картой или через PayPal.

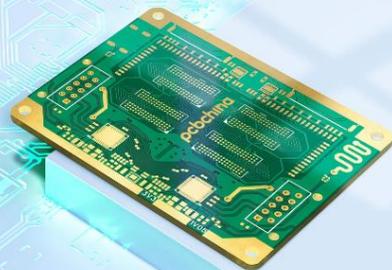
**Доставка в Беларусь и Россию осуществляется регулярно** — через DHL, FedEx или местных логистических партнёров, сроки составляют от 5 до 15 рабочих дней, пошлины при стоимости заказа до \$200–300 обычно не взимаются.

NextPCB активно участвует в международных выставках и сотрудничает с инженерными сообществами, что делает его одним из надёжных вариантов для разработчиков из стран СНГ.

Официальный сайт: <https://www.nextpcb.com>

## Производство печатных плат FR-4 & СВЧ в Китае

- ✓ Современные технологии тестирования
- ✓ Заводское первоклассное качество
- ✓ Доставка в Россию 10-15 дней
- ✓ Оплата в Российских рублях
- ✓ Минимальный заказ 5шт



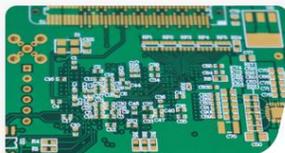
Загрузить гербер

Слой или 1 2 4 6 Больше

Размеры 100 X 100 mm

Количество 5

Рассчитать



### Текстолит FR-4

2000р /5шт  
2300р /10шт

- 1-2 Слоя - 100x100mm
- FR-4 TG-140
- 0.8-1.6 mm
- Маска любого цвета
- Шелкография
- Бесплатная доставка

Рассчитать онлайн

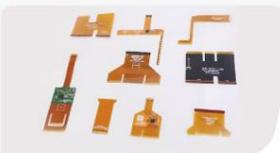


### Алюминий

2000р /5шт  
2300р /10шт

- 1 Слоя - 100x100mm
- Алюминий
- 0.8-1.6 mm
- Желтая маска
- Шелкография
- Бесплатная доставка

Рассчитать онлайн



### Гибкий шлейф

3500р /5шт

- 1-2 Слоя - 100x100mm
- Гибкий шлейф
- 0.11 mm
- Желтая маска
- Шелкография
- Бесплатная доставка

Рассчитать онлайн



### Трафареты

1400р /1шт  
2500р /2шт

- (При заказе вместе с платой)
- 150x100mm
- Нержавеющая сталь 0.15mm
- Точно резки 10 микрон
- Заводская шлифовка
- Бесплатная доставка

Рассчитать онлайн

<https://pcbpi.ru>

⚠ Внимание! Возможны задержки поставок ⚠ Уважаемые клиенты, в связи с большими очередями на границе с Казахстаном наблюдаются задержки в доставке. Просим не оформлять заказ, если для Вас критичны сроки получения. Срок поставки в отдельных случаях может превышать 40 дней. Благодарим за понимание!

Печатные платы Трафарет Доставка

Пожалуйста изучите инструкцию к заказу, требованию к файлам и наши технические возможности  
Файлы можно загрузить после входа в личный кабинет

Основной материал

Текстолит FR-4 Гибкий шлейф Алюминий Медная подложка

Слой

1 2 4 6 8 10 12-32

Размеры

0 \* 0 mm

Количество

5

Характеристики печатной платы

Разный дизайн

1 2 3 4

Формат платы

Одна плата Готовая панель Панель PCBPI

Толщина платы

0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.6 2.0

Цвет маски

Green Purple Red Yellow Blue White

Цвет шелкографии

White

Технология шелкографии

Стандартная шелкография Высокая четкость

Финишное покрытие

HASL(with lead) LeadFree HASL Золото

Другие опции

Детали заказа

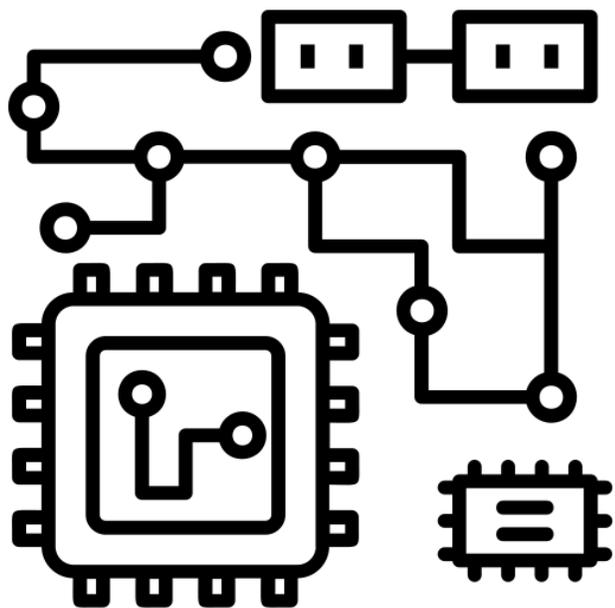
Стоимость производства	2160.00 руб
Техническая поддержка	0.00 руб
Инженеринг	0.00 руб
Упаковка	0.00 руб
Вес заказа	0.000кг
Доставка	Бесплатно

Итого 2160.00 руб

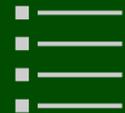
Для юридических лиц стоимость может быть выше до 10%

Пройдите быструю регистрацию, чтобы оформить заказ

Мгновенная регистрация



# Архитектура микроконтроллеров



# Архитектура микроконтроллеров

- Типы архитектур микроконтроллеров определяют, как организованы процессорное ядро, память и шины данных внутри чипа.
- От архитектуры зависят производительность, энергоэффективность, сложность программирования и область применения микроконтроллера.
- **Основные типы архитектур**, используемые в современных микроконтроллерах, – это **архитектура фон Неймана** и **гарвардская архитектура**, а также **их модификации**.

# Архитектура микроконтроллеров

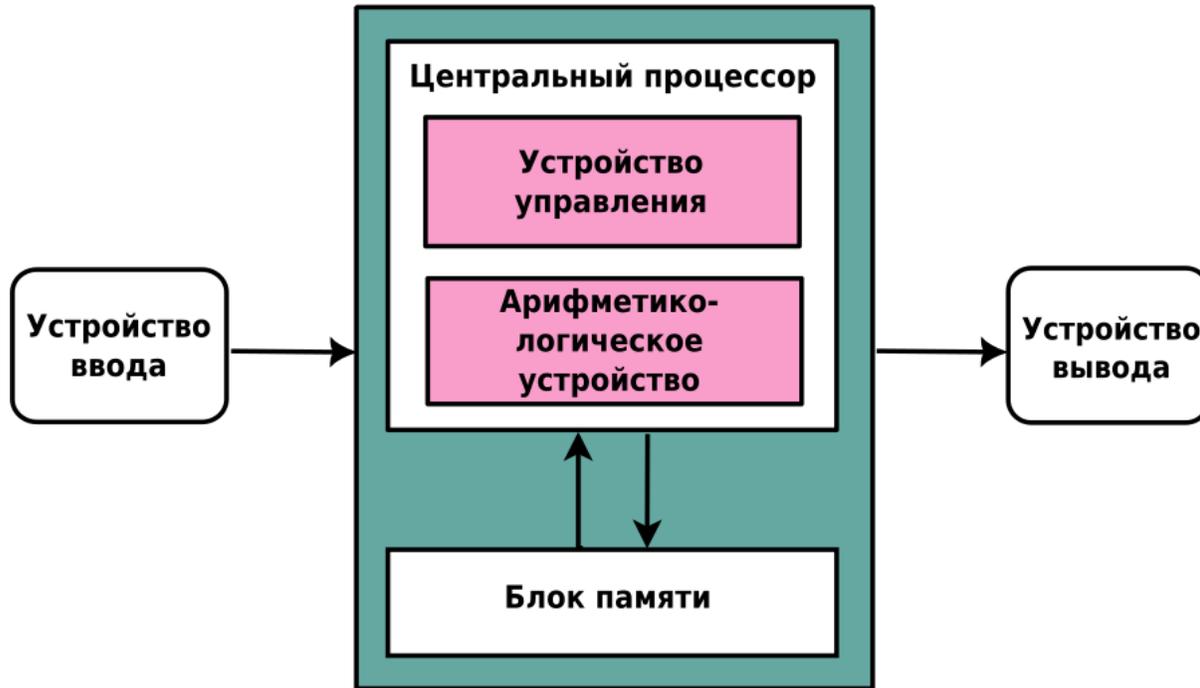
## • **Архитектура фон Неймана**

- В классической архитектуре фон Неймана **программный код и данные хранятся в одной и той же памяти и передаются по единой шине.**
- Это означает, что процессор не может одновременно читать команду и данные – операции выполняются последовательно.
- Такая архитектура проще в реализации и использовании, но ограничивает производительность из-за «узкого места» – общей шины.
- Некоторые ранние и простые 8-битные микроконтроллеры (например, часть PIC от Microchip) используют фон-неймановскую модель или её упрощённые варианты.

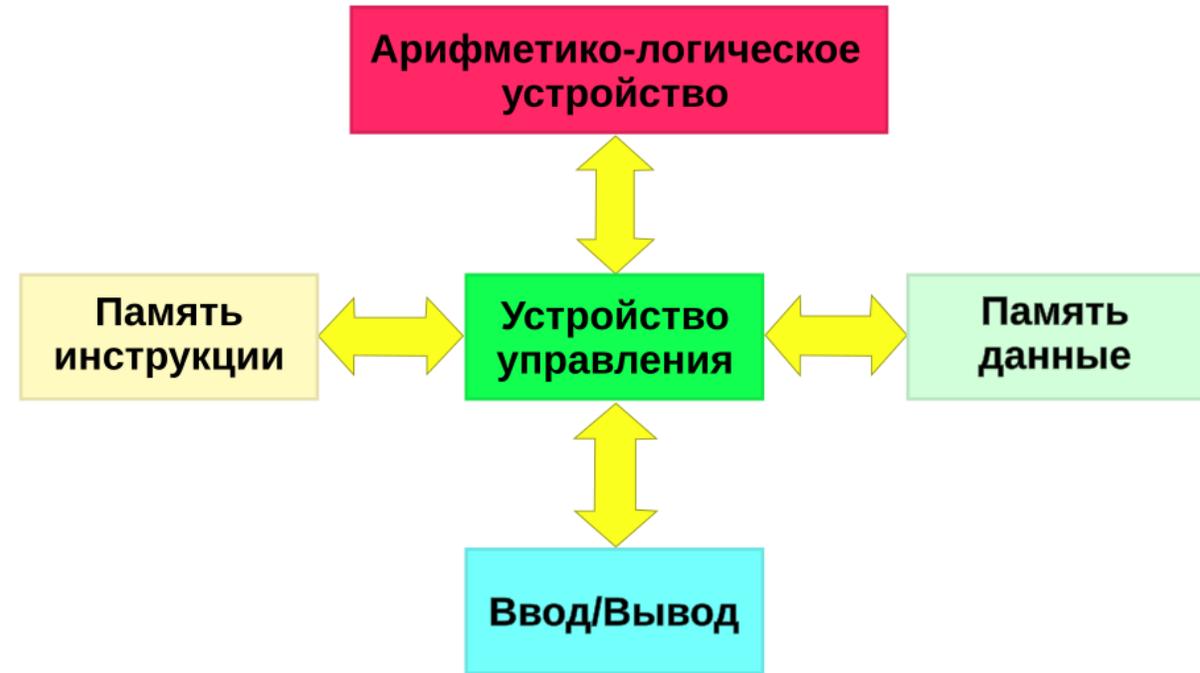
## • **Гарвардская архитектура**

- В гарвардской архитектуре **память программ и память данных физически разделены и имеют отдельные шины.**
- Это позволяет процессору одновременно выбирать инструкцию из памяти программ и читать/записывать данные из оперативной памяти.
- Благодаря этому значительно повышается скорость выполнения кода.
- Большинство современных микроконтроллеров, включая AVR (Arduino Uno), ARM Cortex-M (STM32) и ESP32 (Tensilica LX6), используют модифицированную гарвардскую архитектуру: хотя память логически разделена, на уровне системы может существовать единое адресное пространство или возможность доступа к коду как к данным (например, для загрузки прошивки в RAM).

# Архитектура фон Неймана vs Гарвардская архитектура

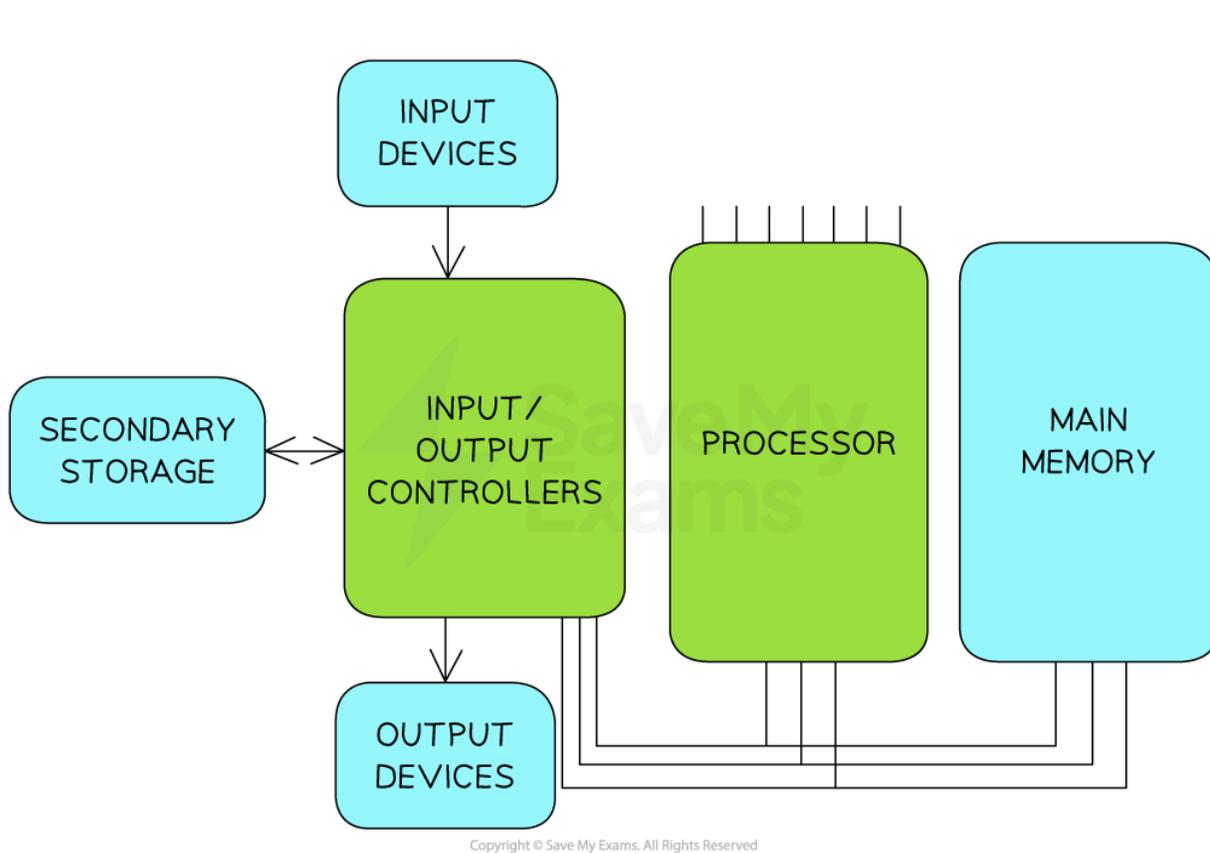


Схематичное изображение архитектуры фон Неймана

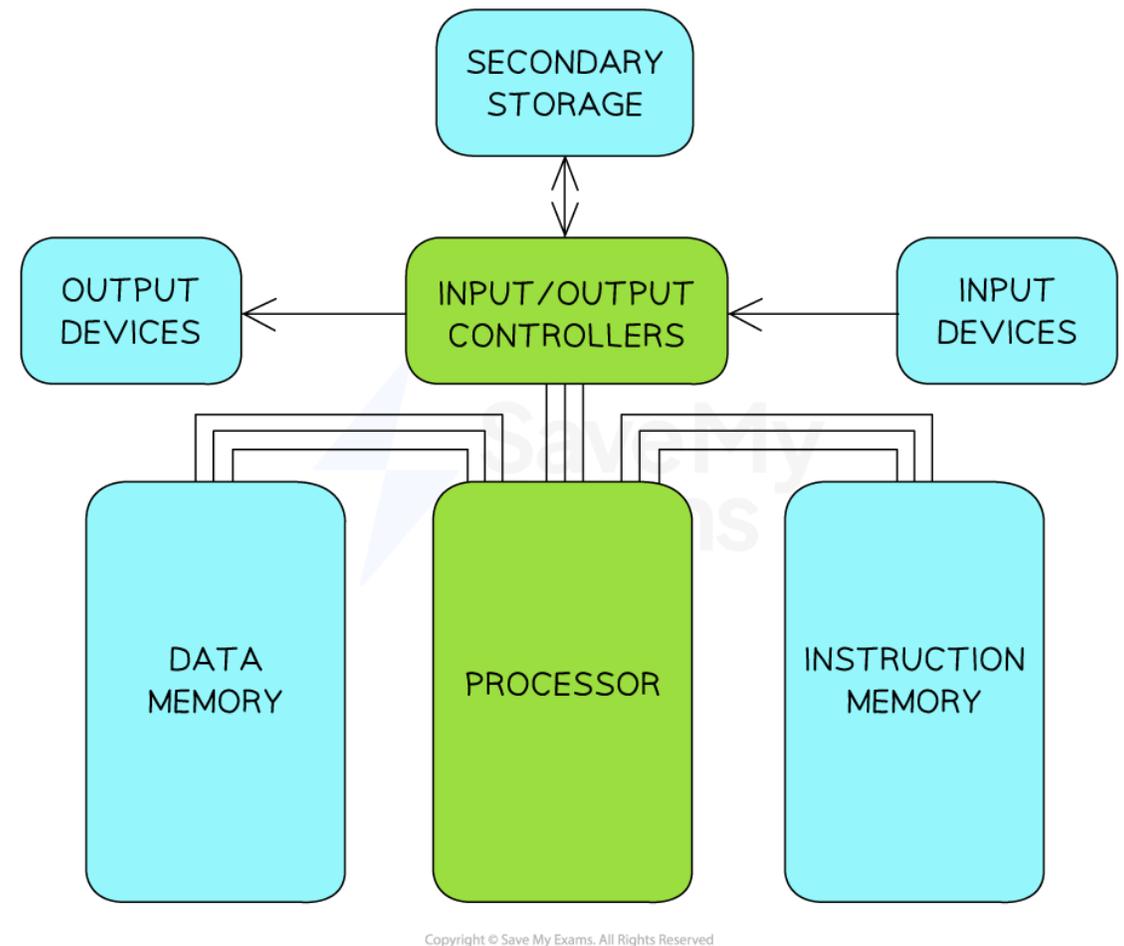


Схематичное изображение Гарвардской архитектуры

# Архитектура фон Неймана vs Гарвардская архитектура



Layout of Von Neumann Architecture



Layout of Harvard Architecture

# Архитектура микроконтроллеров

- **RISC vs CISC.**
- Помимо организации памяти, архитектура классифицируется **по типу набора команд**:
- **CISC (Complex Instruction Set Computing)** – сложные многоцикловые инструкции, характерны для старых архитектур (например, Intel 8051). Одна команда может выполнять несколько операций.
- **RISC (Reduced Instruction Set Computing)** – упрощённый набор быстрых одноцикловых команд. Почти все современные микроконтроллеры (включая ARM Cortex-M, AVR, ESP32) построены на принципах RISC, что обеспечивает высокую производительность при низком энергопотреблении.



# Архитектура микроконтроллеров

- **Одноядерные и многоядерные архитектуры**
- **Традиционные микроконтроллеры** (например, STM32F1, Arduino Uno) – **одноядерные**.
- Однако **современные платформы, такие как ESP32, имеют двухъядерную архитектуру** (два ядра Tensilica LX6), что позволяет распределять задачи: одно ядро обрабатывает Wi-Fi/BLE-стек, другое – пользовательскую логику.
- **Некоторые микроконтроллеры** (например, STM32WB) даже **используют гетерогенные ядра**: Cortex-M4 для приложения и Cortex-M0+ для беспроводного стека.
- Таким образом, **современные микроконтроллеры в подавляющем большинстве используют модифицированную гарвардскую архитектуру в сочетании с RISC-ядром**, что обеспечивает оптимальный баланс между производительностью, энергоэффективностью и простотой программирования.
- Архитектура контроллера напрямую влияет на возможности платформы – от простых сенсорных узлов (**Arduino**) до сложных IoT-устройств с параллельной обработкой (**ESP32**) и промышленных контроллеров реального времени (**STM32**).

# Разрядность микроконтроллеров

Микроконтроллеры классифицируются по нескольким основным параметрам:

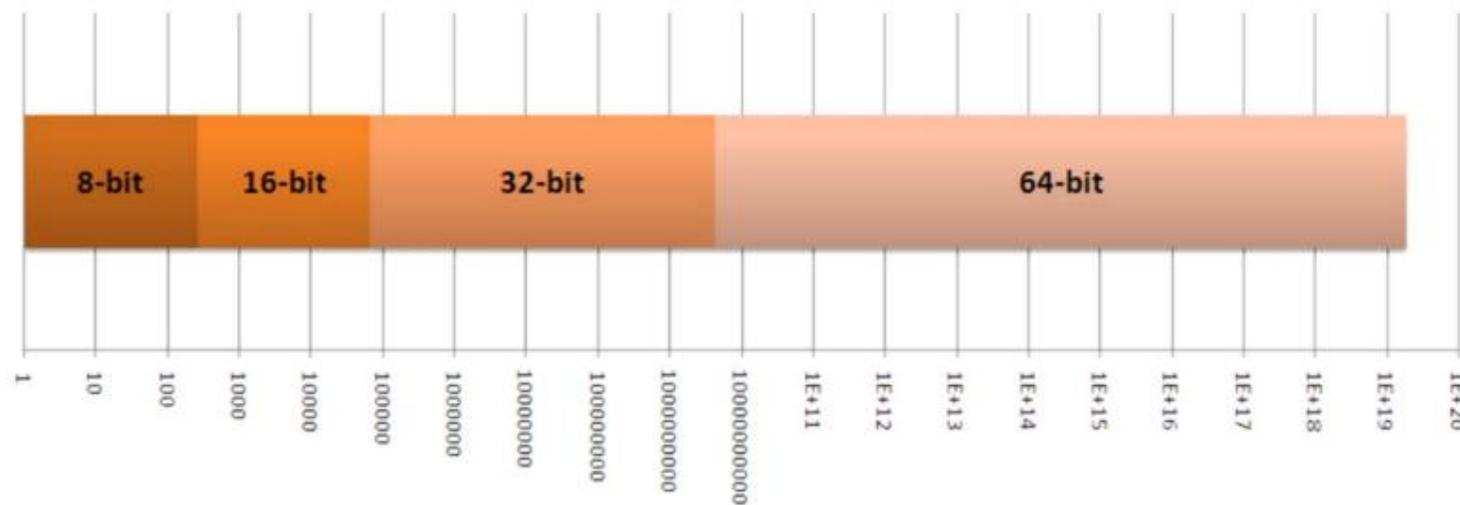
## По разрядности

Микроконтроллеры различаются по разрядности процессора, что влияет на их производительность и область применения:

**8-битные:** Это простые и экономичные решения, которые идеально подходят для управления светодиодами или считывания данных с датчиков. Они не требуют больших вычислительных мощностей, что делает их доступными и эффективными для простых приложений.

**16-битные:** Эти микроконтроллеры предлагают более высокую вычислительную мощность, поэтому находят применение в промышленности и бытовой электронике.

**32-битные:** Высокопроизводительные микроконтроллеры, предназначенные для решения более сложных вычислительных задач. Они используются в смартфонах, мультимедийных системах и роботах, где требуется высокая производительность и возможность работы с большими объемами информации.



Количество битов	Минимальное значение	Максимальное значение
8	0	255 ( $2^8 - 1$ )
16	0	65 535 ( $2^{16} - 1$ )
32	0	4 294 967 295 ( $2^{32} - 1$ )
64	0	18 446 744 073 709 551 615 ( $2^{64} - 1$ )

# Архитектура микроконтроллера

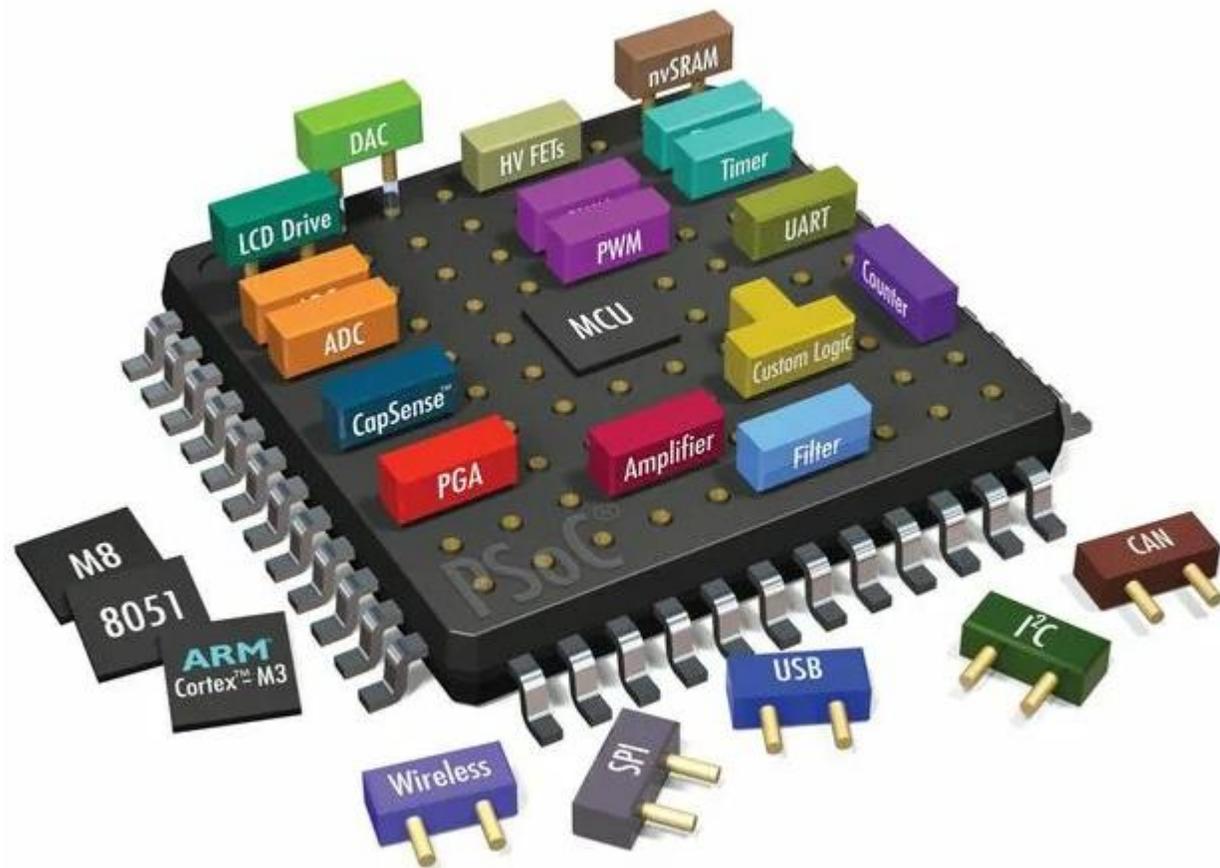
- **Архитектура микроконтроллера представляет собой интегрированную систему на кристалле (SoC), объединяющую все необходимые компоненты для автономной работы встраиваемого устройства.**

- **Основные функциональные блоки** включают:

- **1.** Ядро (CPU – Central Processing Unit)
- **2.** Память программ (Flash)
- **3.** Память данных
- **4.** Периферийные интерфейсы

- Все эти компоненты объединены внутренней шиной и управляются тактовым генератором.

- Благодаря такой интеграции микроконтроллер способен автономно выполнять сложные задачи, взаимодействуя с датчиками, актуаторами и компьютерами без внешних чипов.



# Архитектура микроконтроллера

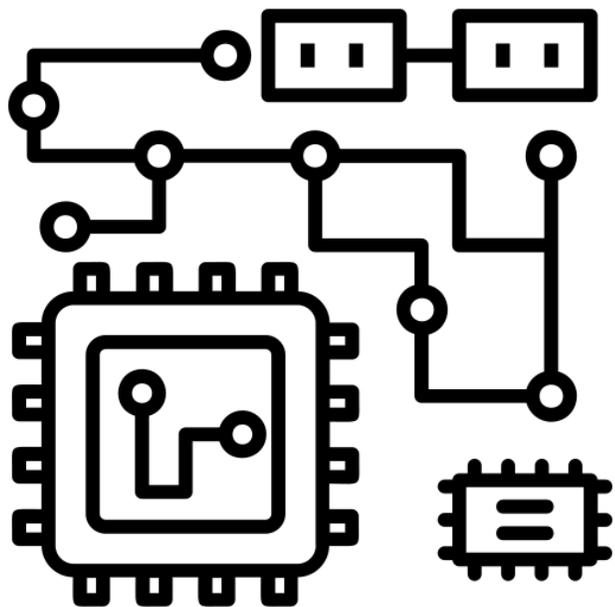
- **1. Ядро (CPU – Central Processing Unit)** – центральный процессор, выполняющий программный код. В современных микроконтроллерах (например, STM32, ESP32) ядро обычно основано на архитектуре ARM Cortex-M (M0, M3, M4 и др.) или специализированных RISC-ядрах (Tensilica в ESP32, AVR в Arduino). Ядро определяет разрядность (8/16/32 бита), производительность, поддержку инструкций (например, DSP, FPU) и энергоэффективность.
- **2. Память программ (Flash)** – энергонезависимая память, в которой хранится прошивка (исполняемый код). После включения питания микроконтроллер начинает выполнение программы именно из Flash. Объём варьируется от нескольких килобайт (в простых AVR) до нескольких мегабайт (в STM32H7 или ESP32 с внешней памятью). Flash допускает многократную перезапись (обычно  $10^4$ – $10^5$  циклов).

# Архитектура микроконтроллера

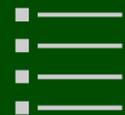
- **3. Память данных включает:**
- **RAM (ОЗУ)** – энергозависимая память для хранения переменных, стека и буферов во время работы. При отключении питания данные теряются. Объём RAM критичен для сложных приложений (графика, сетевые стеки).
- **EEPROM** – энергонезависимая память для хранения небольших объёмов данных, которые должны сохраняться между перезагрузками (настройки, калибровки, счётчики). Не все микроконтроллеры имеют встроенную EEPROM (например, в STM32 её эмулируют в Flash, а в ESP32 – в отдельной области памяти).

# Архитектура микроконтроллера

- **4. Периферийные интерфейсы** – аппаратные блоки, обеспечивающие взаимодействие с внешним миром:
- **GPIO (General Purpose Input/Output)** – универсальные цифровые выходы для ввода/вывода сигналов.
- **UART/USART** – для асинхронной последовательной связи (отладка, модули GPS/GSM).
- **SPI и I<sup>2</sup>C** – синхронные шины для подключения датчиков, дисплеев, памяти.
- **CAN** – промышленная шина для помехоустойчивой связи (автомобили, автоматика).
- **PWM (ШИМ)** – генерация импульсов для управления яркостью LED, скоростью моторов.
- **ADC (АЦП)** – аналого-цифровой преобразователь для чтения аналоговых датчиков (температура, освещённость).
- **DAC (ЦАП)** – цифро-аналоговый преобразователь для генерации аналогового напряжения (звук, управление).



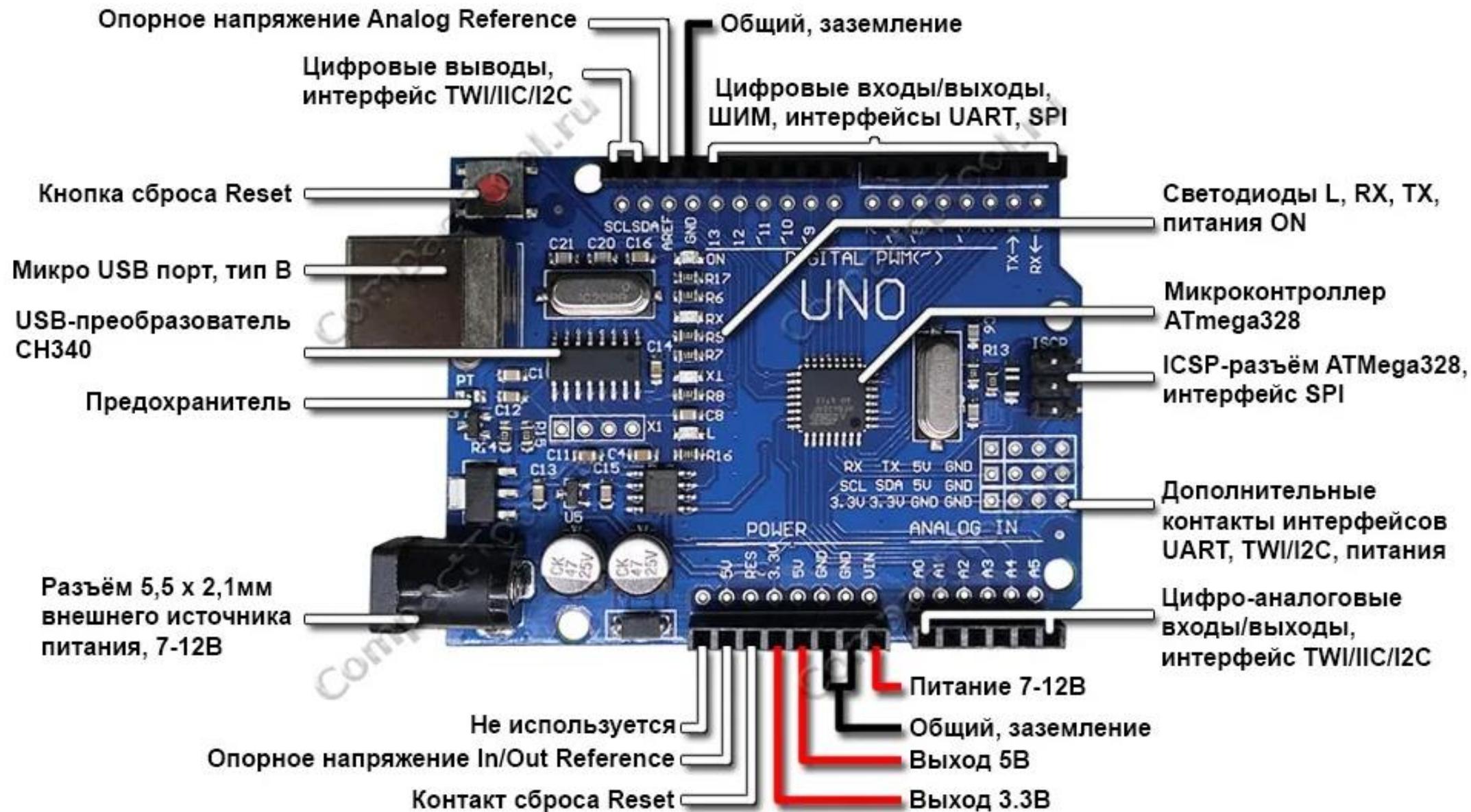
# Аппаратные интерфейсы и протоколы связи контроллера с ПК и периферией



# Интерфейсы

- **Интерфейс** – совокупность средств и методов взаимодействия между элементами системы. Совокупность унифицированных технических и программных средств и правил (описаний, соглашений, протоколов), обеспечивающих одновременное взаимодействие устройств и/или программ в вычислительной системе или обеспечение соответствия систем. Если интерфейс стандартизирован, это даёт возможность модифицировать сам объект, не перестраивая принципы его взаимодействия с другими объектами.
- **Физический (аппаратный) интерфейс** – способ взаимодействия физических устройств.
- **Пропускная способность** – метрическая характеристика, показывающая соотношение предельного количества проходящих единиц (информации, предметов, объёма) в единицу времени через канал, систему, узел.
- **Пиковая пропускная способность** – теоретическая максимальная пропускная способность; в реальных условиях производительность интерфейса, как правило, окажется значительно ниже, нежели та, что приведена в таблице.

# Примеры наличия интерфейсов



# Аппаратные интерфейсы и протоколы связи контроллера с ПК и периферией

- В современных встраиваемых системах критически важно понимать различия между последовательными шинами, сетевыми и беспроводными протоколами, чтобы обеспечить надёжный, эффективный и безопасный обмен данными.
- Микроконтроллеры Arduino, ESP32, STM32 и др. взаимодействуют с периферийными устройствами и персональным компьютером через стандартизированные аппаратные интерфейсы, которые обеспечивают обмен данными, управление и синхронизацию.
- Наиболее распространёнными из них являются последовательные протоколы: **UART, SPI и I<sup>2</sup>C**.
- **UART** (или USART в STM32) используется для простой асинхронной связи «точка-точка» – например, для отладочного вывода или связи с GPS-модулем.
- **SPI** обеспечивает высокоскоростную полнодуплексную передачу с дисплеями, флеш-памятью или АЦП, а **I<sup>2</sup>C** благодаря двухпроводной шине и адресации позволяет подключать десятки датчиков (температуры, давления, акселерометров) к одной паре выводов.
- Все три платформы имеют встроенные аппаратные блоки для этих интерфейсов, что обеспечивает надёжность и освобождает ресурсы процессора.

# Аппаратные интерфейсы и протоколы связи контроллера с ПК и периферией

- Подключение к ПК чаще всего осуществляется через **USB**, но реализация различается. Arduino Uno использует внешний чип (ATmega16U2 или CH340) как USB-UART преобразователь, создавая виртуальный COM-порт.
- Более продвинутые платы, такие как Arduino Leonardo или STM32 Nucleo, имеют встроенный USB-контроллер и могут эмулировать стандартные USB-устройства: **CDC** (виртуальный COM-порт), **HID** (клавиатура/мышь) или Mass Storage.
- ESP32 в классическом исполнении (ESP32-D0WD) также полагается на внешний USB-UART чип, но новые версии (ESP32-S2/S3) поддерживают нативный USB OTG, позволяя напрямую взаимодействовать с ПК без промежуточных преобразователей. Это упрощает прошивку, отладку и реализацию пользовательских интерфейсов.
- **Для промышленных и специализированных применений доступны более сложные интерфейсы.**
- **CAN** (Controller Area Network) широко используется в автомобильной электронике и промышленной автоматике; STM32 имеет встроенный CAN-контроллер, ESP32 поддерживает его через TWAI, а Arduino требует внешнего модуля (MCP2515).
- **Ethernet** реализуется в STM32 через встроенный MAC и внешний PHY-чип, что позволяет строить проводные IoT-устройства с поддержкой TCP/IP и MQTT.
- **Беспроводные протоколы – Wi-Fi и Bluetooth/BLE** – являются ключевым преимуществом ESP32, в то время как STM32WB добавляет поддержку BLE и Zigbee «из коробки».
- Эти интерфейсы расширяют возможности подключения к локальным сетям, облачным сервисам и мобильным устройствам.

# Аппаратные интерфейсы и протоколы связи контроллера с ПК и периферией

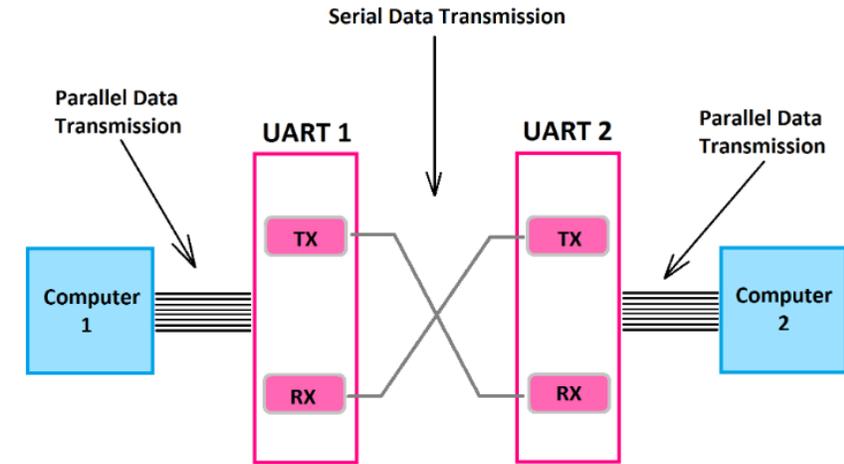
- При практической реализации важно учитывать не только логику протокола, но и **физический уровень**: согласование напряжений (3.3 В vs 5 В) с помощью уровневых преобразователей, установка подтягивающих резисторов на шине I<sup>2</sup>C, защита от помех и индуктивных выбросов.
- Например подключение к ПК через USB не только позволяет загружать прошивку (например, в режиме DFU или через виртуальный COM-порт), но и организовывать двусторонний обмен данными – например, отправку команды с ПК и получение структурированного ответа от микроконтроллера через Serial Monitor.
- **Правильный выбор интерфейса зависит от требований к скорости, дальности, количеству устройств, энергопотреблению и совместимости с ПК.**
- Благодаря богатой периферии и гибким средствам разработки, Arduino, ESP32, STM32 и др. позволяют эффективно решать задачи от простой индикации до построения сложных распределённых систем Интернета вещей.

# Аппаратные интерфейсы и протоколы связи

- Современные микроконтроллеры (МК), такие как STM32, ESP32, платформы на базе Arduino и др., взаимодействуют с периферийными устройствами и персональным компьютером **через стандартизированные аппаратные интерфейсы и протоколы связи.**
- Эти интерфейсы обеспечивают обмен данными, управление и синхронизацию между компонентами встраиваемой системы.
- Ниже приведено структурированное описание ключевых интерфейсов, их архитектурных особенностей, применяемых протоколов и способов подключения к ПК.

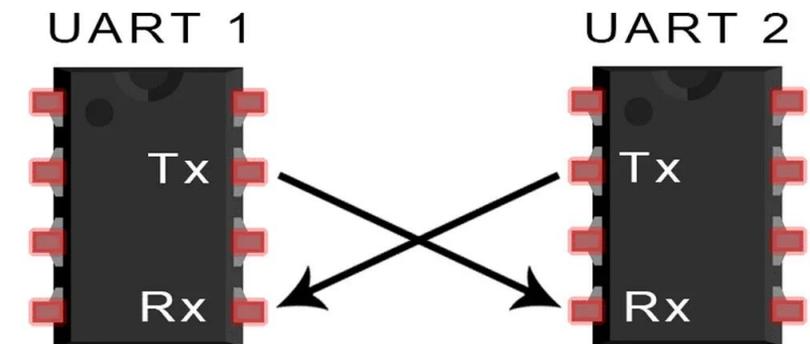
# UART / USART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)

- **UART** – это один из самых простых и широко распространённых последовательных интерфейсов для асинхронной передачи данных между двумя устройствами. Он не требует общего тактового сигнала: вместо этого передатчик и приёмник заранее согласовывают скорость передачи (baud rate), формат кадра (количество бит данных, наличие бита чётности, стоп-биты). **Данные передаются побитно по одной линии** (TX – передача, RX – приём). Благодаря своей простоте UART легко реализуется как аппаратно (встроенный периферийный блок в МК), так и программно (бит-бейнгинг), хотя последнее менее надёжно и ограничено по скорости.
- **В контексте взаимодействия с ПК UART сам по себе несовместим с USB, поэтому для подключения к компьютеру используется внешний преобразователь USB-UART** (например, на чипах CP2102, CH340 или FTDI). После подключения ОС создаёт виртуальный COM-порт, через который можно обмениваться данными с помощью терминалов (Tera Term, PuTTY, Arduino Serial Monitor). **На платформах Arduino UART часто используется для отладочного вывода** (Serial.print()), а в STM32 и ESP32 – для связи с модулями GPS, GSM, Bluetooth (например, HC-05) или другими микроконтроллерами. В STM32 интерфейс называется USART, так как поддерживает и синхронный режим (с тактовым сигналом), но чаще используется в асинхронном (UART) режиме.



TX - Transmitter  
RX - Receiver  
UART - Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

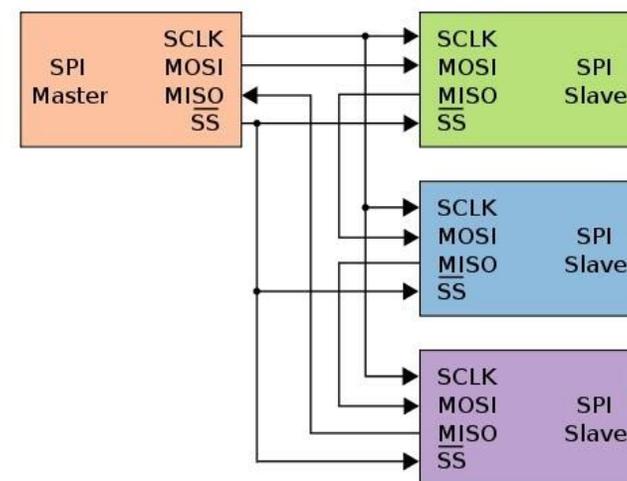
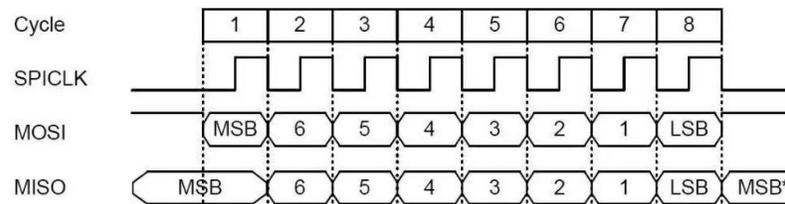
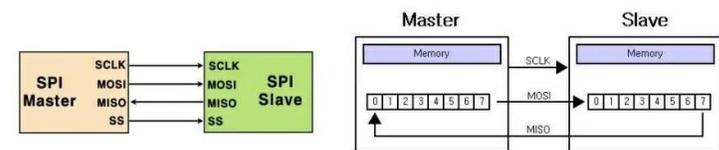
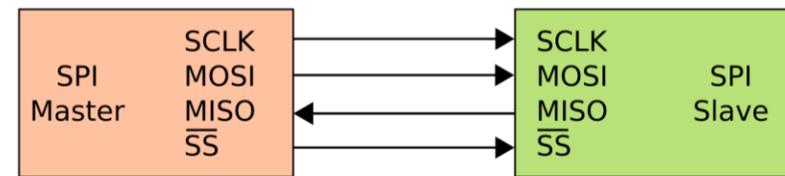
UART Block Diagram



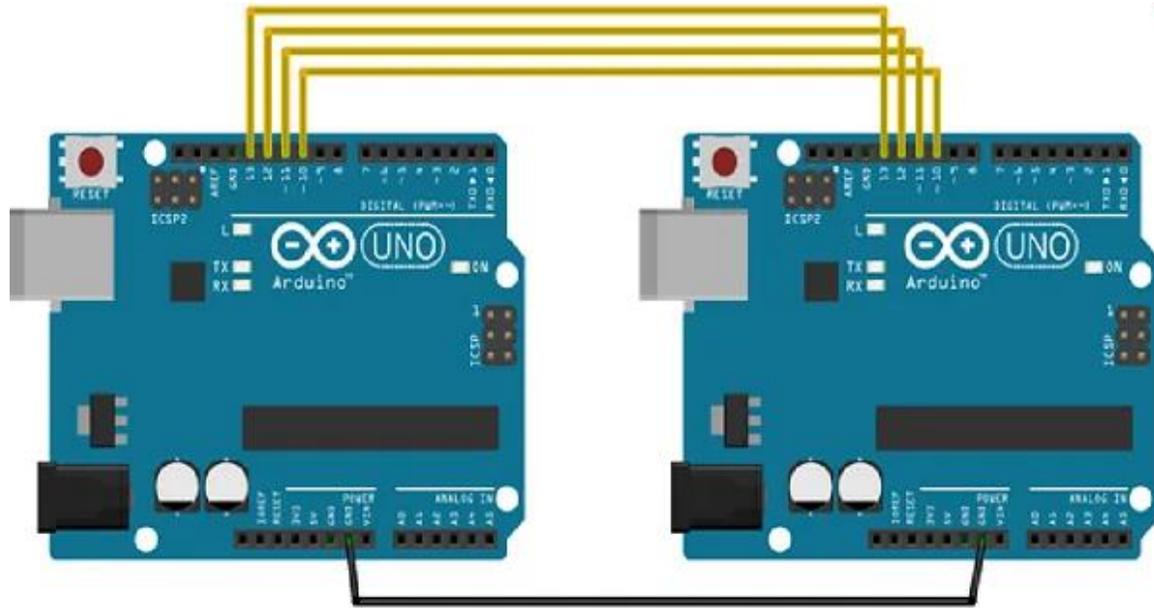
# SPI (Serial Peripheral Interface)

- **SPI – это высокоскоростной синхронный последовательный интерфейс, работающий по принципу «мастер–раб» (master–slave).** Он использует четыре основные линии: SCK (тактовый сигнал от мастера), MOSI (Master Out Slave In), MISO (Master In Slave Out) и CS/SS (Chip Select – выбор конкретного раба). **Мастер генерирует тактовый сигнал и управляет обменом, а раб отвечает только при активированной линии CS.** SPI поддерживает полнодуплексную передачу, то есть данные могут передаваться в обоих направлениях одновременно, что делает его одним из самых быстрых последовательных протоколов (скорость может достигать десятков мегабит в секунду).

- **SPI широко применяется для подключения высокоскоростных периферийных устройств:** TFT/OLED-дисплеев, SD-карт, внешней флеш-памяти (например, W25Q), АЦП и цифровых потенциометров. Однако напрямую подключить SPI к ПК невозможно – для этого требуются специализированные USB-SPI адаптеры (например, на базе FTDI или самого микроконтроллера). В STM32 и ESP32 имеется несколько аппаратных SPI-контроллеров, что позволяет одновременно управлять разными устройствами. Arduino также поддерживает SPI через стандартные пины (обычно 10–13 на Uno), а библиотека SPI.h упрощает работу. Важно помнить, что каждый раб требует отдельной линии CS, что может быстро исчерпать количество GPIO на МК.



# SPI (Serial Peripheral Interface)

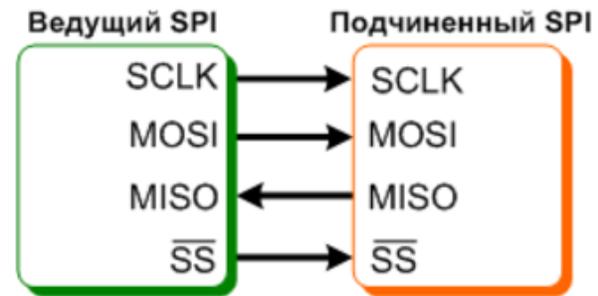


**MOSI** – выход ведущего, вход ведомого (Master Out Slave In) для передачи данных от ведущего устройства ведомому;

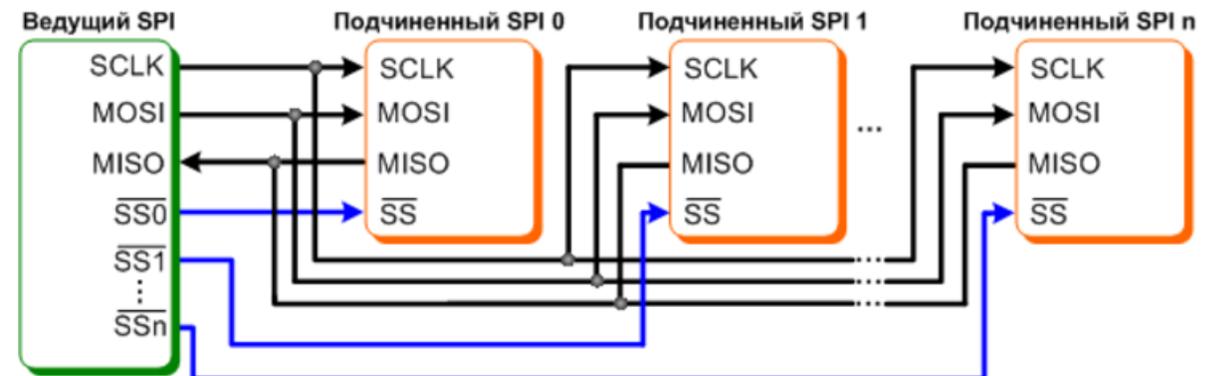
**MISO** – вход ведущего, выход ведомого (Master In Slave Out) для передачи данных от ведомого устройства ведущему;

**SCLK** – последовательный тактовый сигнал (Serial Clock) для передачи тактового сигнала для ведомых устройств.

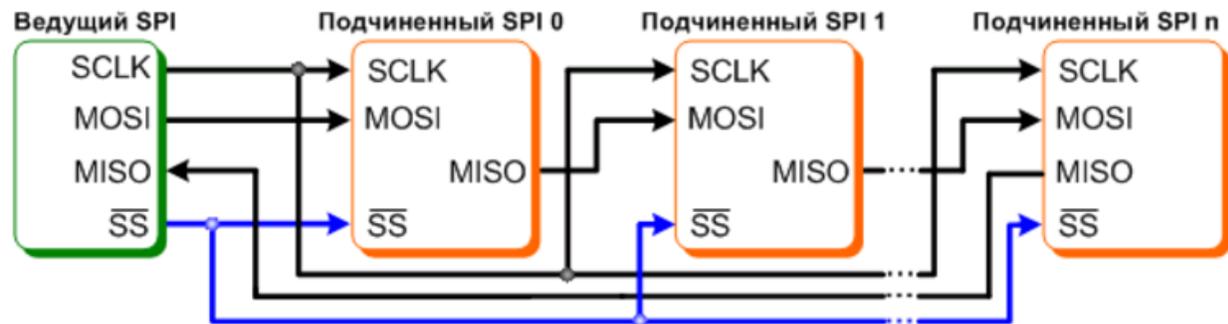
**CS или SS** – выбор микросхемы, выбор ведомого (Chip Select, Slave Select)



Простейшее подключение



Независимое подключение

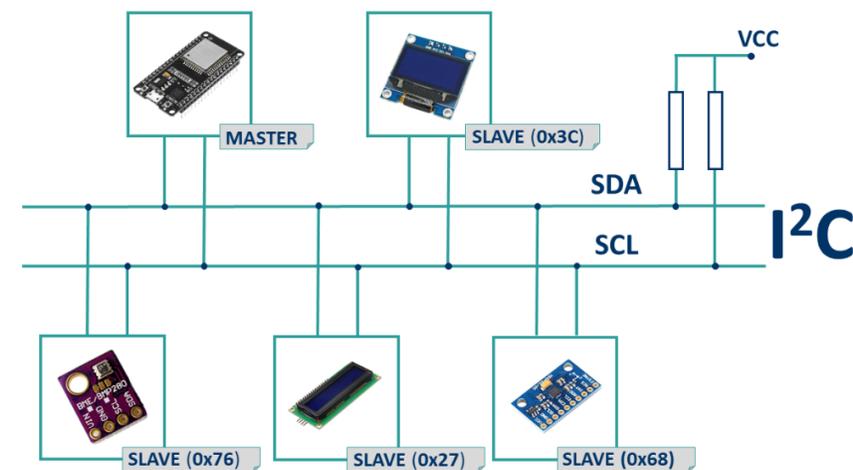
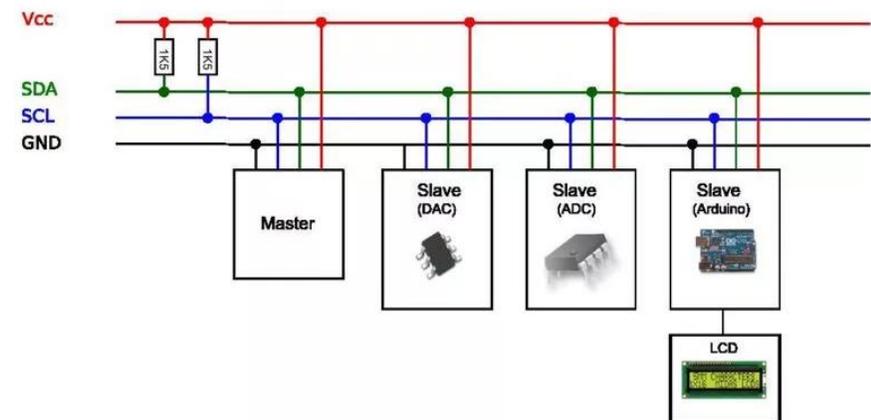


Каскадное подключение

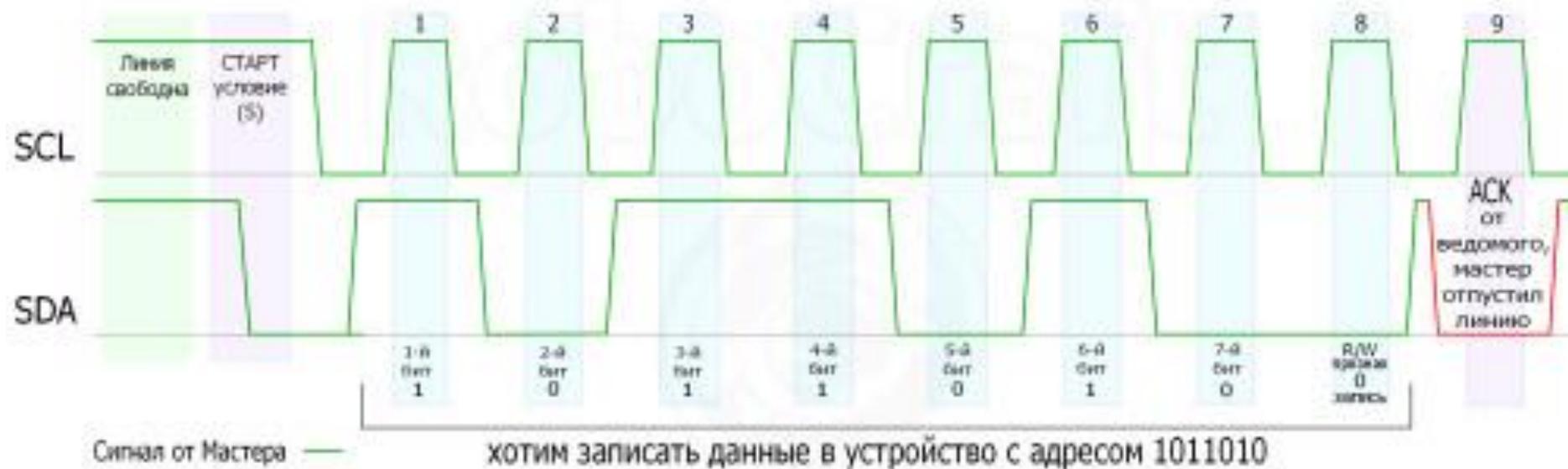
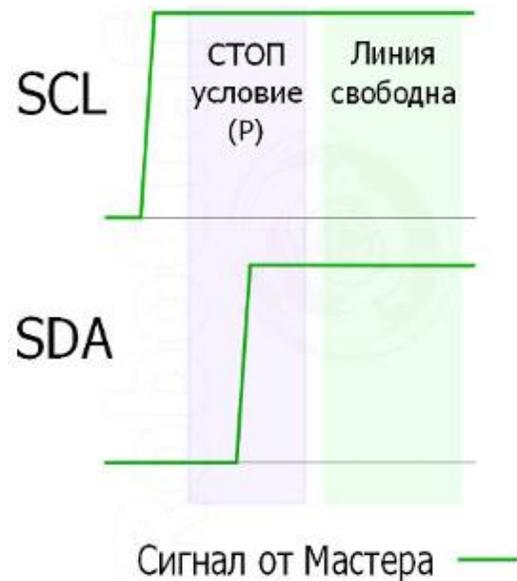
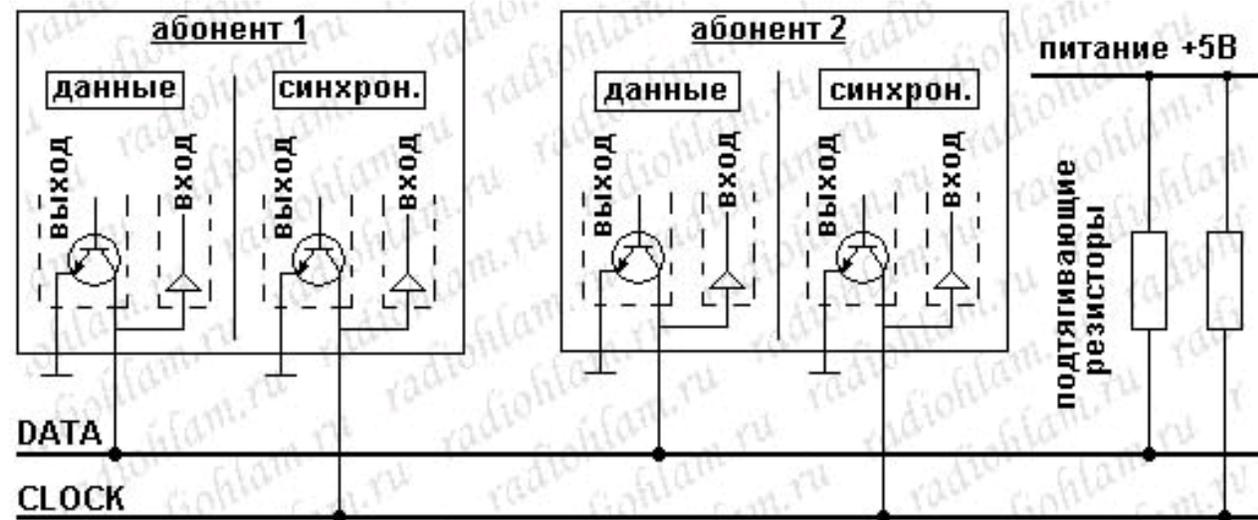
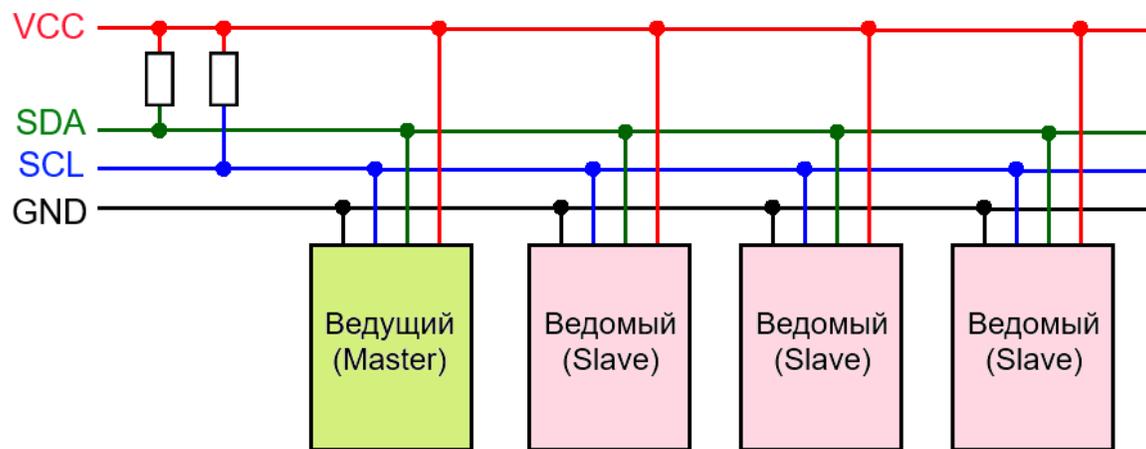
# I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit)

- **I<sup>2</sup>C – это двухпроводной синхронный последовательный интерфейс**, разработанный компанией Philips (ныне NXP). Он использует всего две линии: **SDA** (данные) и **SCL** (тактовый сигнал), обе с подтяжкой к питанию через резисторы. Все устройства на шине соединены параллельно и идентифицируются по уникальному 7- или 10-битному адресу. Мастер инициирует передачу, отправляя адрес раба, и только выбранный раб отвечает. I<sup>2</sup>C поддерживает многомастерную конфигурацию и режимы: стандартный (100 кГц), быстрый (400 кГц) и высокоскоростной (до 3,4 МГц в специальных версиях).
- Благодаря экономии выводов **I<sup>2</sup>C идеально подходит для подключения множества датчиков на одной плате**: акселерометров (MPU6050), магнитометров, датчиков температуры (BME280), часов реального времени (DS3231) и EEPROM. Для подключения к ПК используются USB-I<sup>2</sup>C адаптеры (например, на чипе FT232H или специализированные от Total Phase). Все рассматриваемые платформы – STM32, ESP32 и Arduino – имеют встроенные аппаратные I<sup>2</sup>C-контроллеры (в Arduino называется Wire). Библиотеки, такие как Wire.h, упрощают чтение и запись по адресу. Однако из-за ограничений по длине линии и скорости I<sup>2</sup>C редко используется для связи на расстоянии, но незаменим внутри компактных устройств.

Интерфейсная шина I<sup>2</sup>C



# I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit)



# I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit)

## 1) Сеанс передачи от "Master" к "Slave"



## 2) Сеанс передачи от "Slave" к "Master" (чтение из "Slave")

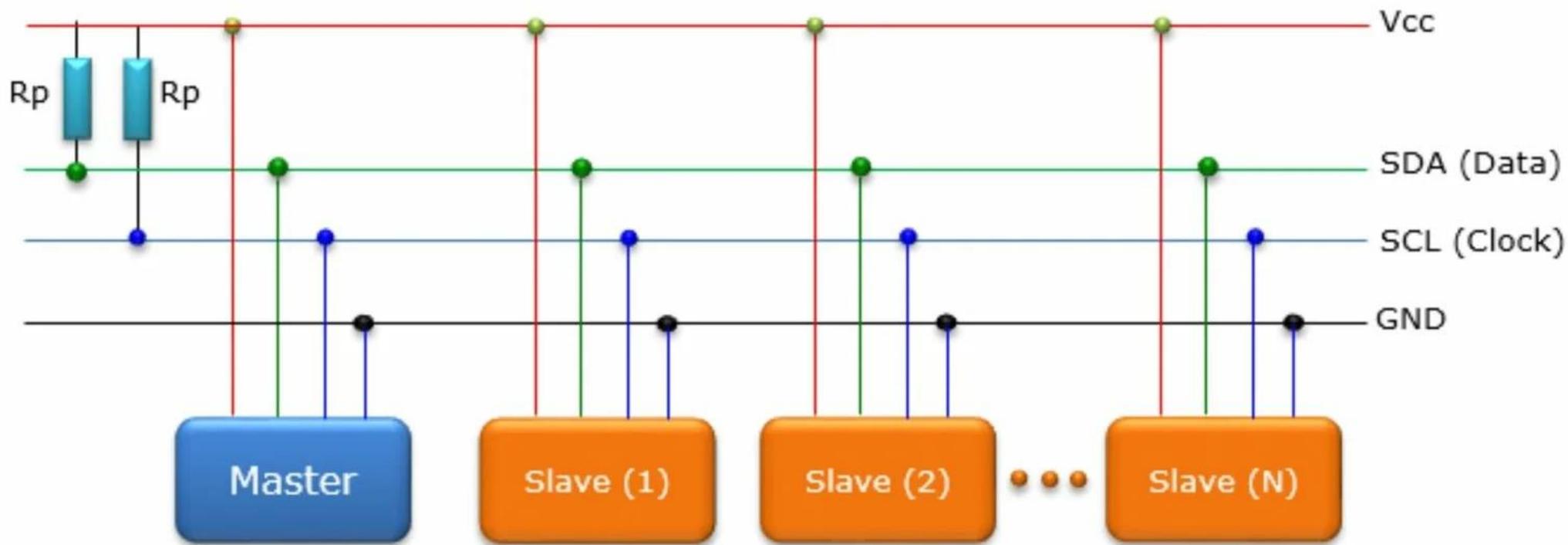


- S** "Старт" - условие
- P** "Стоп" - условие
- A** бит подтверждения ( $\overline{ACK}$ )
- A** отсутствие подтверждения

Цветом ячейки обозначено - какое именно устройство выставляет данный бит на шину DATA:

-  бит выставляется "Master" - устройством
-  бит выставляется "Slave" - устройством

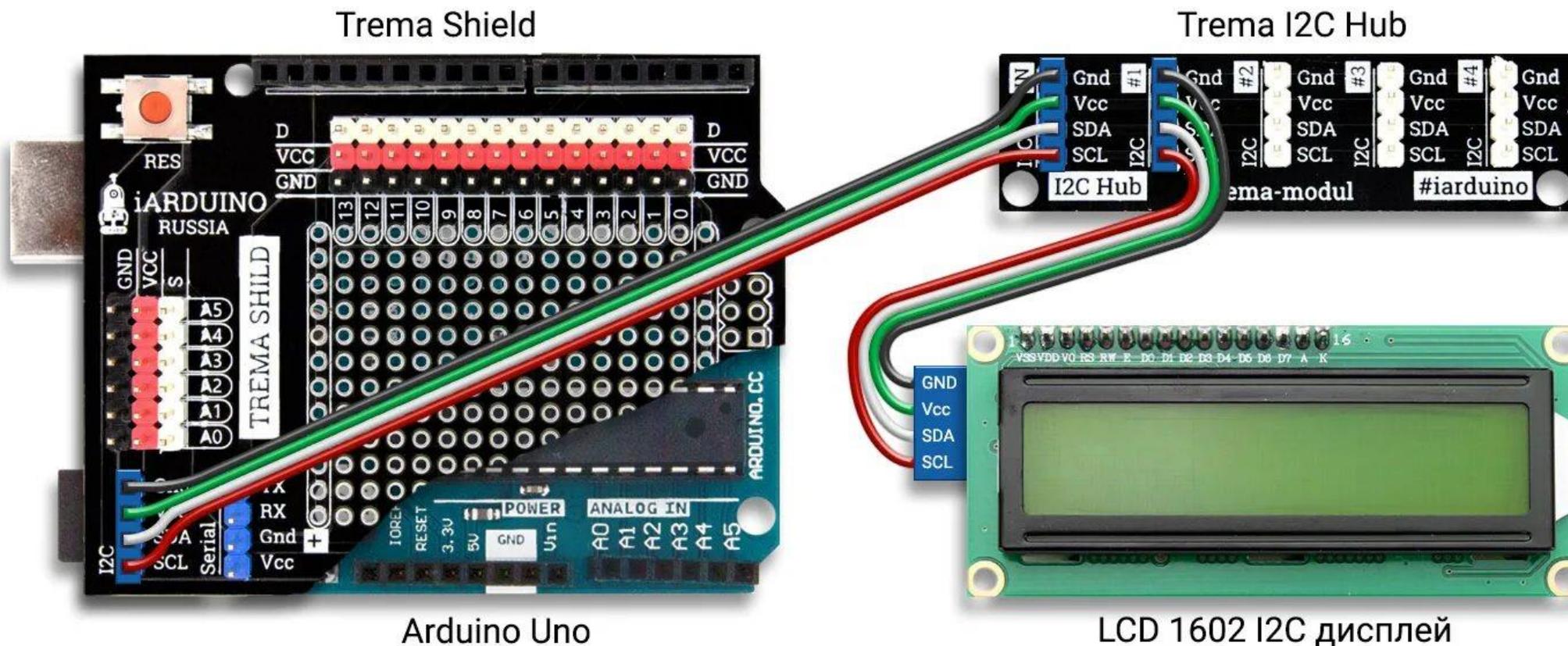
# I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit)



Examples

Image source: sharetechnote

# I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit)



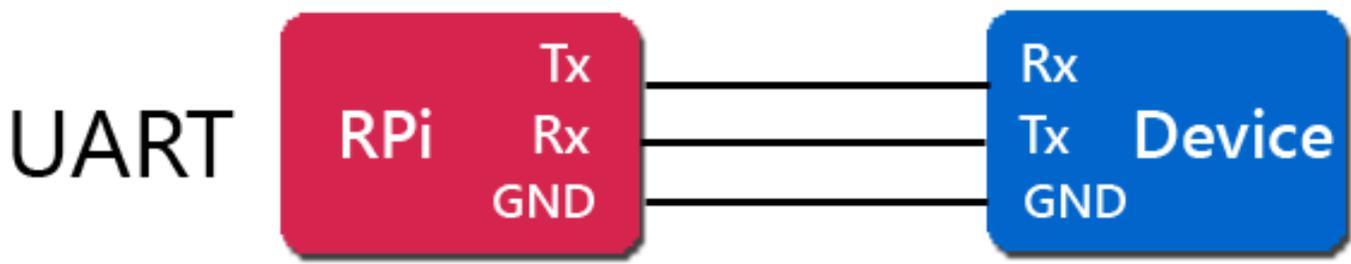
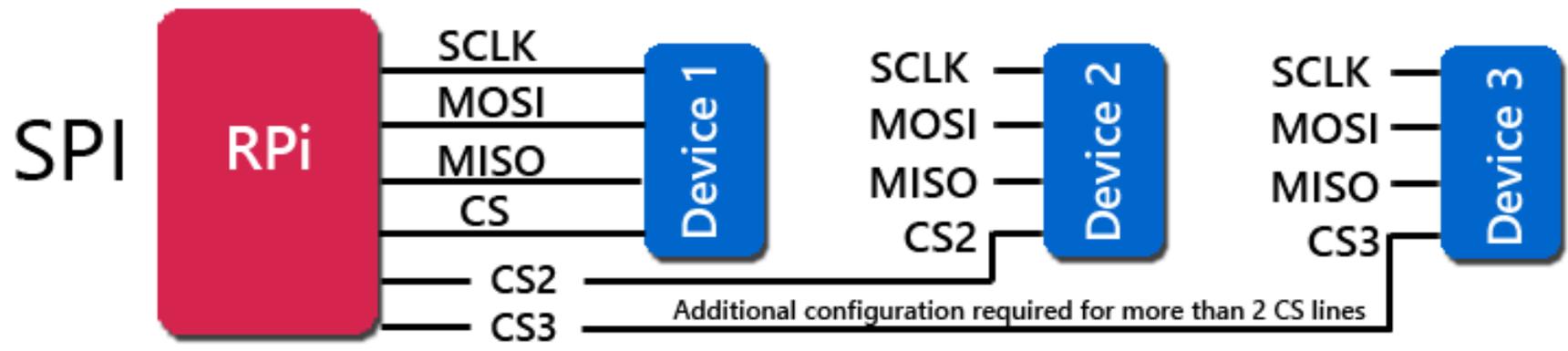
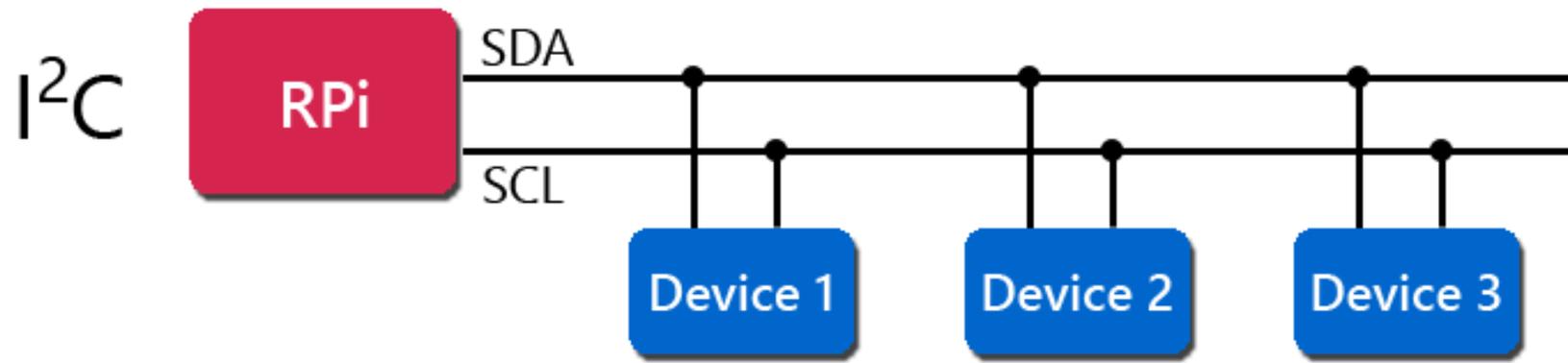
Свободные выводы шины I2C  
для подключения внешних устройств

Урок. Узнаём адреса устройств на шине I2C

<https://lesson.iarduino.ru/page/urok-24-uznaem-adresa-ustroystv-na-shine-i2c/>

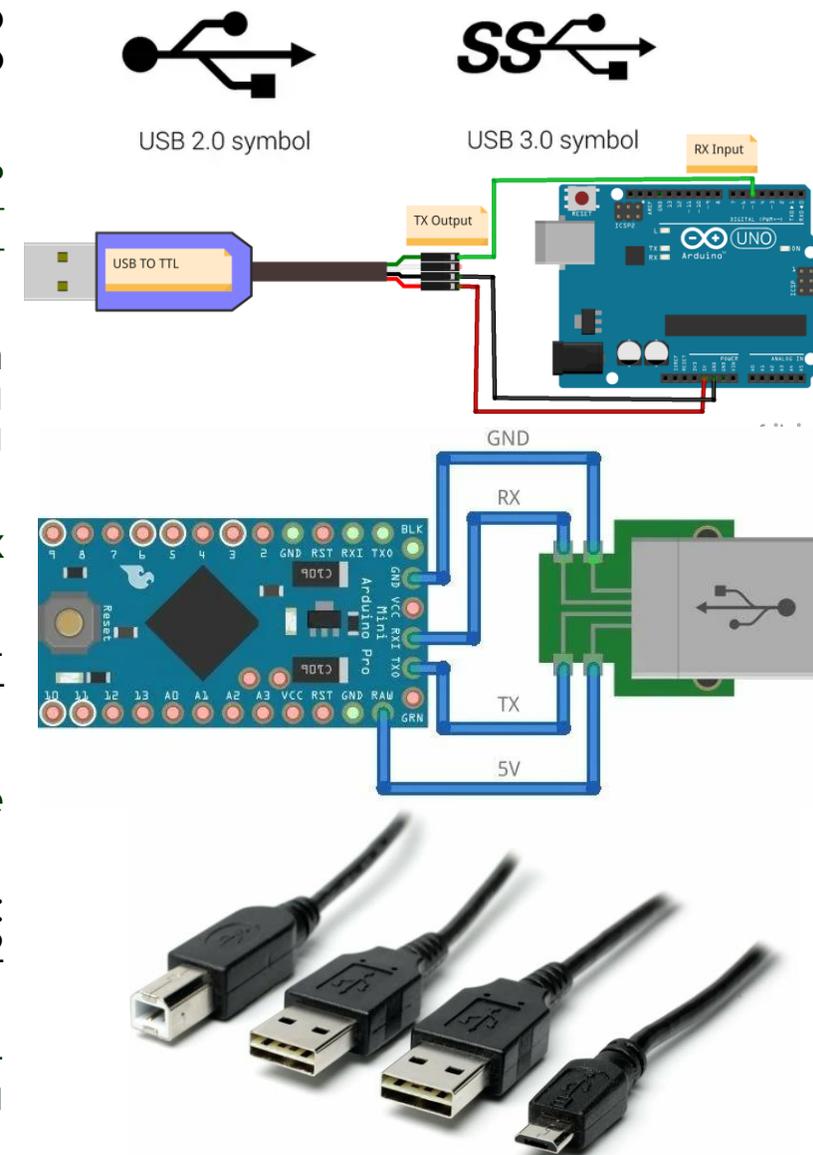
# I<sup>2</sup>C / SPI / UART

Белорусско-Российский университет, Кафедра «Программное обеспечение информационных технологий»



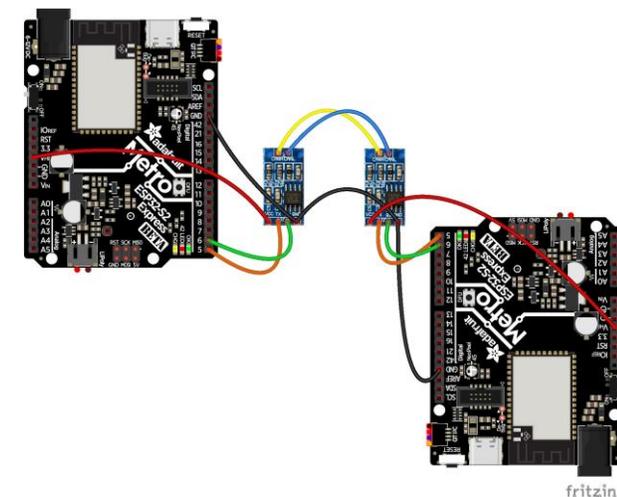
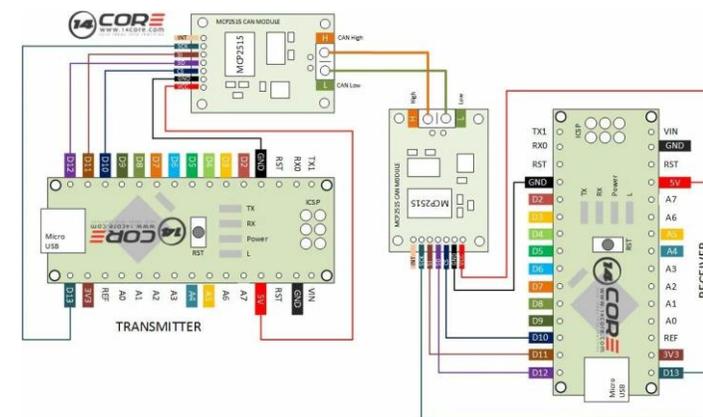
# USB (Universal Serial Bus)

- **USB – это стандартизированный интерфейс, изначально созданный для подключения периферии к ПК, но сегодня широко используемый и в микроконтроллерах.**
- В режиме USB Device микроконтроллер может эмулировать стандартные классы устройств: CDC (Communication Device Class – виртуальный COM-порт), HID (Human Interface Device – клавиатура/мышь), MSC (Mass Storage – флеш-накопитель).
- Для этого требуется встроенный USB-контроллер и поддержка соответствующего стека (например, STM32Cube USB stack или TinyUSB для ESP32-S3). USB обеспечивает как передачу данных, так и питание (до 500 мА при USB 2.0).
- **Подключение к ПК через USB не требует дополнительных преобразователей** – устройство определяется автоматически.
- Например, Arduino Leonardo или STM32F4 с включённым CDC-классом появляются в системе как COM-порт, а ESP32-S3 может эмулировать клавиатуру.
- Это делает USB удобным для прошивки (DFU – Device Firmware Upgrade), отладки и создания HID-устройств.
- Однако не все микроконтроллеры имеют встроенный USB: классический ESP32 и Arduino Uno используют внешний чип (CP2102 или ATmega16U2) для преобразования UART в USB.
- В новых поколениях (ESP32-S2/S3, STM32G0/G4, Arduino MKR) USB-контроллер интегрирован прямо в кристалл, что упрощает схему и расширяет функциональность.



# CAN (Controller Area Network)

- **CAN – это надёжный дифференциальный последовательный интерфейс, разработанный для работы в условиях сильных электромагнитных помех, характерных для автомобильной и промышленной электроники.** Он использует две линии – CAN\_H и CAN\_L – и работает по принципу «шины»: все устройства подключены параллельно, а передача осуществляется по методу CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). Каждое сообщение имеет идентификатор, определяющий его приоритет, что позволяет критически важным данным передаваться первыми. CAN поддерживает обнаружение ошибок и автоматическую повторную передачу.
- В микроконтроллерах STM32 большинство серий (F1, F4, G4 и др.) оснащены встроенным CAN-контроллером (bxCAN), требующим лишь внешнего трансивера (например, TJA1050) для согласования уровней. ESP32 поддерживает CAN через модуль TWAI (Two-Wire Automotive Interface), совместимый с CAN 2.0B. Arduino требует внешнего контроллера (например, MCP2515).
- Для подключения к ПК используются USB-CAN адаптеры, которые эмулируют виртуальную шину.
- **CAN редко применяется в бытовых IoT-устройствах, но незаменим в автомобильных системах, промышленных контроллерах и распределённых системах автоматизации, где важны надёжность и детерминированность.**



fritzing

# Ethernet

- **Ethernet – это стандарт проводной локальной сети, обеспечивающий высокоскоростную (10/100/1000 Мбит/с) и надёжную связь.**
- В микроконтроллерах реализуется через встроенный MAC-контроллер (Media Access Control), который формирует кадры, и внешний PHY-чип (Physical Layer), преобразующий цифровые сигналы в дифференциальные для передачи по витой паре (RJ45).
- STM32F4, F7, H7 и другие высокопроизводительные серии имеют встроенный MAC, а для подключения к сети требуется только PHY (например, LAN8720). Стек TCP/IP (часто LwIP – Lightweight IP) реализует сетевые протоколы поверх MAC.
- Подключение к ПК осуществляется через обычный Ethernet-кабель в рамках локальной сети. Микроконтроллер получает IP-адрес (статический или через DHCP) и может выступать как веб-сервер, клиент MQTT или FTP-сервер.
- Это позволяет управлять устройством через браузер или интегрировать его в промышленные SCADA-системы. ESP32 не имеет встроенного Ethernet MAC, но может подключаться через внешний модуль по SPI.
- Arduino требует специализированных шилдов (например, на базе W5500).
- Ethernet предпочтителен там, где важны стабильность, безопасность и высокая пропускная способность – в отличие от Wi-Fi, он не подвержен помехам и не требует аутентификации в эфире.

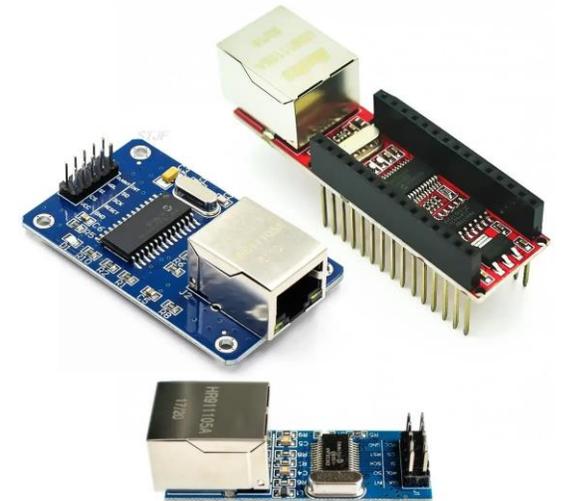
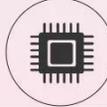
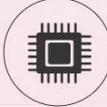
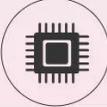
## ARDUINO Ethernet модуль W5100



Скорость подключения: 10 и 100 Мбит/с

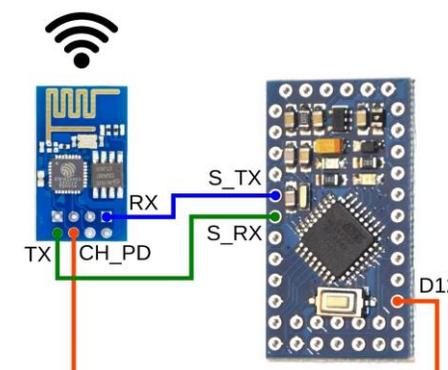
Внутренний буфер 16 кбит

Одновременная и независимая поддержка 4-х соединений.



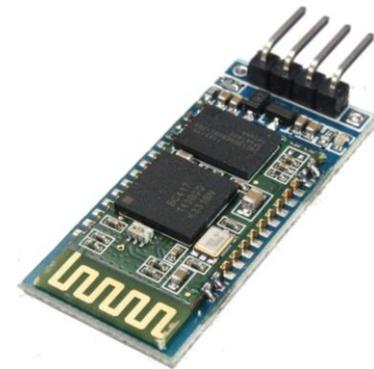
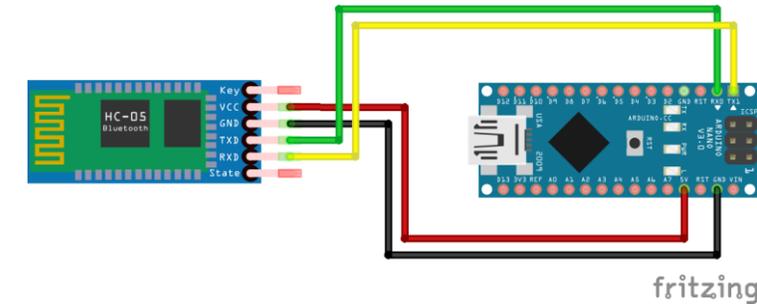
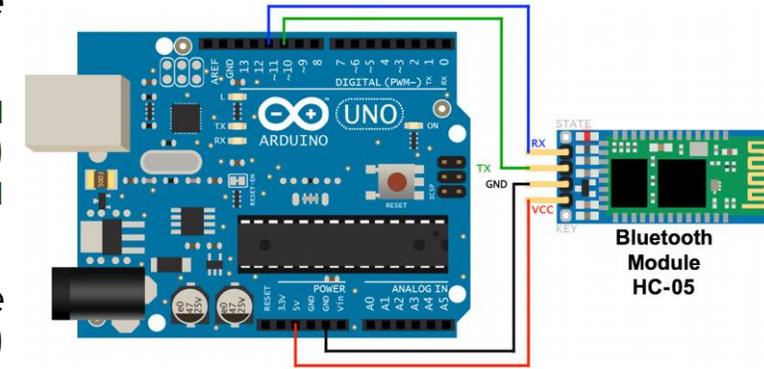
# Wi-Fi

- **Wi-Fi – это беспроводной стандарт связи на основе IEEE 802.11, позволяющий подключаться к локальной сети и интернету без проводов.**
- В контексте микроконтроллеров он реализуется либо через встроенный радиомодуль, либо через внешний Wi-Fi чип. ESP32 является ярким примером SoC с интегрированным Wi-Fi 802.11 b/g/n, поддерживающим режимы STA (клиент), AP (точка доступа) и одновременно оба.
- Он включает полный TCP/IP-стек, позволяя легко реализовывать HTTP, MQTT, WebSocket и другие протоколы. STM32 и Arduino, как правило, требуют внешнего модуля (например, ESP-01 по UART или ATWINC1500 по SPI).
- **Взаимодействие с ПК через Wi-Fi происходит по сетевым протоколам:** ПК и микроконтроллер находятся в одной подсети, и обмен данными идёт через сокеты, REST API или облачные сервисы (например, AWS IoT, Blynk).
- Это делает Wi-Fi идеальным для IoT-устройств: умных розеток, датчиков, систем управления освещением.
- Преимущества – мобильность и простота интеграции в домашнюю сеть; недостатки – повышенное энергопотребление и зависимость от качества сигнала.
- В новых версиях ESP32 (S2, S3) добавлена поддержка Wi-Fi 4 (802.11n) и улучшенная безопасность (WPA3), что расширяет их применение в коммерческих продуктах.



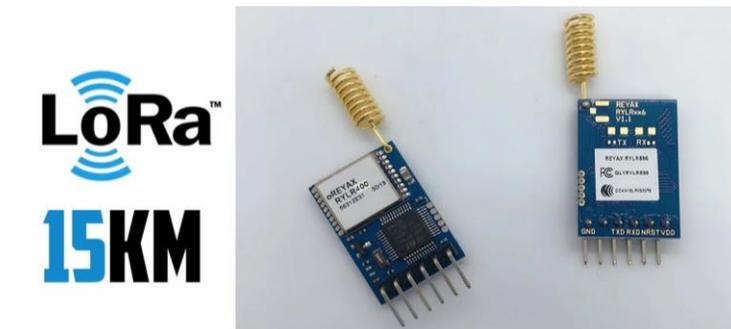
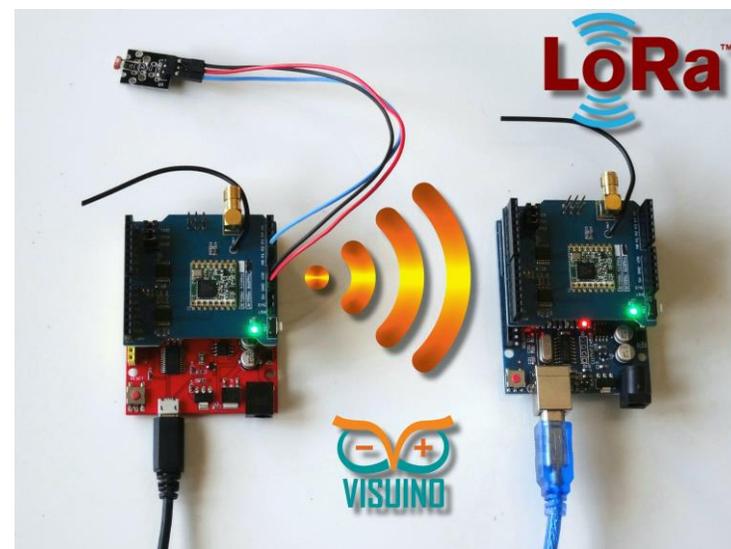
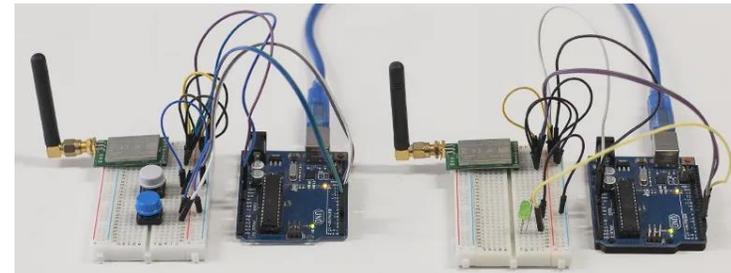
# Bluetooth / BLE (Bluetooth Low Energy)

- **Bluetooth** – это стандарт беспроводной связи на короткие расстояния (до 10–100 м).
- **Классический Bluetooth (BR/EDR)** используется для передачи аудио и файлов, тогда как **BLE** (Bluetooth Low Energy, версии 4.0–5.3) оптимизирован для передачи малых объёмов данных с минимальным энергопотреблением.
- BLE работает на основе профилей и служб (GATT – Generic Attribute Profile), где центральное устройство (например, смартфон) подключается к периферийному (микроконтроллеру) и читает/записывает характеристики (например, температуру, состояние кнопки).
- ESP32 поддерживает как Classic Bluetooth, так и BLE, что позволяет создавать устройства для передачи данных на ПК или смартфон без подключения к Wi-Fi.
- STM32WB – это специальная серия с двухъядерной архитектурой: Cortex-M4 для приложения и Cortex-M0+ для радио (BLE/Zigbee). Arduino требует внешних модулей (HM-10, nRF51822).
- Взаимодействие с ПК возможно, если на нём есть Bluetooth-адаптер и поддержка BLE (Windows 10+, macOS, Linux).
- BLE идеален для носимых устройств, маячков (beacons), медицинских датчиков и систем «умного дома», где важны автономность и простота сопряжения.
- Энергопотребление в режиме сна может составлять единицы микроатомов, что позволяет работать от батареи годами.



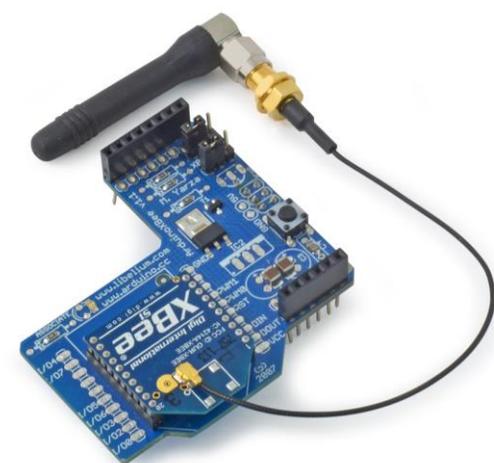
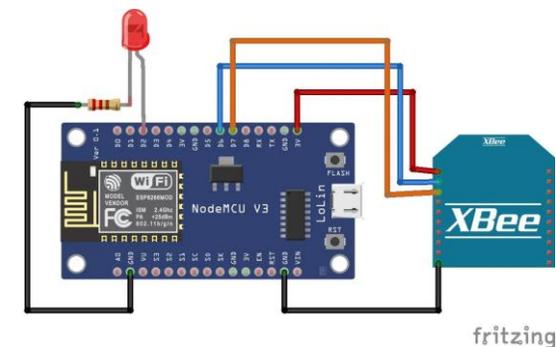
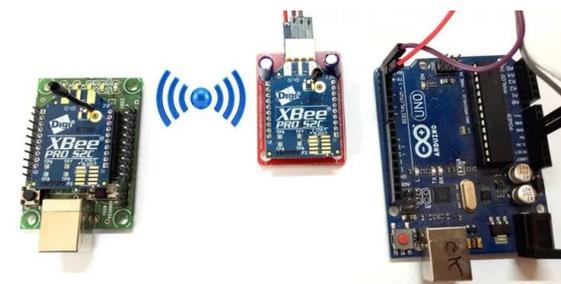
# LoRaWAN

- **LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) – это низкоэнергетический, дальнобойный протокол связи, разработанный для масштабных сетей Интернета вещей (IoT).**
- Он основан на физическом уровне LoRa (Long Range), использующем модуляцию CSS (Chirp Spread Spectrum), которая **обеспечивает высокую помехоустойчивость и дальность передачи – до 15 км в сельской местности и 2–5 км в городских условиях при работе на частотах 433/868/915 МГц** (в зависимости от региона).
- LoRaWAN работает в лицензируемых и нелицензируемых ISM-диапазонах, что делает его доступным для коммерческого и любительского использования без платы за частоту.
- Архитектура LoRaWAN построена по принципу «звезда»: конечные устройства (сенсоры, актуаторы) передают данные на шлюзы (gateways), которые агрегируют трафик и пересылают его в облачный сервер сети (Network Server) через интернет (Ethernet, Wi-Fi, 4G).
- Сервер обрабатывает данные, управляет безопасностью (двухуровневое шифрование – на уровне сети и приложения) и маршрутизирует их в конечные приложения.
- LoRaWAN оптимизирован для передачи небольших объёмов данных (десятки-сотни байт) с низкой частотой (раз в минуту/час), что обеспечивает срок работы от батареи до 5–10 лет.
- Встраиваемые платформы, такие как ESP32 и STM32, могут работать с LoRa через внешние трансиверы (например, SX1276/SX1262), подключаемые по SPI.
- Библиотеки, такие как RadioLib или LMIC, позволяют реализовать стек LoRaWAN даже на микроконтроллерах с ограниченными ресурсами.



# Zigbee

- **Zigbee – это стандарт беспроводной связи на короткие расстояния**, основанный на спецификации IEEE 802.15.4 и работающий в диапазоне 2.4 ГГц (глобально), а также 868 МГц (Европа) и 915 МГц (США).
- **В отличие от LoRaWAN, Zigbee ориентирован на высокую плотность устройств и низкую задержку**, поддерживая ячеистую (mesh) топологию: каждый узел может ретранслировать данные, что увеличивает покрытие сети и обеспечивает отказоустойчивость.
- Максимальная дальность одного «прыжка» – около **10–100 метров**, но за счёт mesh-маршрутизации сеть может охватывать целые здания.
- **Zigbee предназначен для приложений, требующих частого обмена данными и надёжного управления** – например, умное освещение, системы безопасности, автоматизация зданий.
- Он поддерживает до 65 000 узлов в одной сети и обеспечивает низкое энергопотребление (устройства могут работать от батареи годами в режиме сна). Безопасность обеспечивается шифрованием AES-128.
- В отличие от LoRaWAN, Zigbee обычно не выходит в интернет напрямую – он требует координатора или шлюза (например, на базе Raspberry Pi или специализированного хаба), который связывает локальную сеть с облаком или ПК. Микроконтроллеры STM32WB имеют встроенный радиомодуль, поддерживающий Zigbee (и BLE) «из коробки».
- Для ESP32 и Arduino требуется внешний чип (например, CC2530, CC2652 или EFR32), подключаемый по UART или SPI. Стеки Zigbee (например, Z-Stack от Texas Instruments) сложны в освоении, но существуют упрощённые решения, такие как Zigbee2MQTT, позволяющие интегрировать устройства в умный дом.

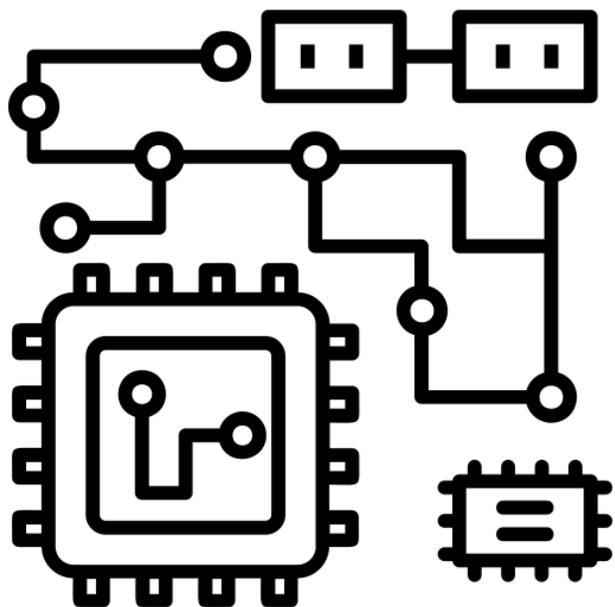


# Сравнительная таблица интерфейсов

Интерфейс / Протокол	Тип связи	Скорость	Дальность	Топология	Питание от шины	Подключение к ПК	Типичное применение
<b>UART</b>	Асинхронный, точка-точка	До 1–2 Мбит/с	До 10–15 м (без преобразователя)	Точка-точка	Нет	Через USB-UART адаптер → COM-порт	Отладка, GPS, GSM, связь с модулями
<b>SPI</b>	Синхронный, полнодуплексный	До 10–100 МГц	До 0.5 м (на практике)	Мастер–рабы	Нет	Через USB-SPI адаптер	Дисплеи, SD-карты, флеш-память, АЦП
<b>I<sup>2</sup>C</b>	Синхронный, полудуплексный	100 кГц – 1 МГц	До 1–2 м	Шина (много рабов)	Нет	Через USB-I <sup>2</sup> C адаптер	Датчики, RTC, EEPROM, компактные модули
<b>USB</b>	Синхронный	12 Мбит/с (FS), 480 Мбит/с (HS)	До 5 м (кабель)	Звезда	Да (до 500 мА)	Напрямую	Виртуальный COM, HID, прошивка, периферия
<b>CAN</b>	Дифференциальный	До 1 Мбит/с	До 40 м (на 1 Мбит/с), до 1 км (на 10 кбит/с)	Шина	Нет	Через USB-CAN адаптер	Автомобили, промышленная автоматика
<b>Ethernet</b>	Сетевой (проводной)	10/100/1000 Мбит/с	До 100 м (витая пара)	Звезда	Нет (PoE – опционально)	Через LAN (в одной подсети)	Удалённый мониторинг, SCADA, промышленный IoT
<b>Wi-Fi</b>	Беспроводной (2.4/5 ГГц)	До 150 Мбит/с (802.11n)	До 30–100 м (в помещении)	Звезда (через AP)	Нет	По Wi-Fi в локальной сети	Умный дом, облачные IoT-устройства, веб-интерфейсы
<b>BLE</b>	Беспроводной (2.4 ГГц)	~1 Мбит/с	До 10–100 м	Звезда	Нет	Через Bluetooth ПК/смартфон	Носимые устройства, маячки, датчики с низким энергопотреблением
<b>LoRaWAN</b>	Беспроводной (суб-ГГц)	0.3–50 кбит/с	До 2–5 км (город), до 15 км (поле)	Звезда	Нет	Через шлюз → интернет → ПК	Сельское хозяйство, ЖКХ, логистика, редкие измерения
<b>Zigbee</b>	Беспроводной (2.4 ГГц)	20–250 кбит/с	10–100 м (с mesh – до 1 км+)	Mesh (ячеистая)	Нет	Через шлюз (Zigbee2MQTT, хаб)	Умное освещение, автоматизация зданий, системы безопасности

# Практические рекомендации

- **Для отладки и простой связи с ПК** → используйте UART через USB-UART или встроенный USB-CDC (если доступен).
- **Для подключения множества датчиков на одной плате** → I<sup>2</sup>C (экономия выводов).
- **Для высокоскоростной передачи** (дисплеи, память) → SPI.
- **Для промышленных и автомобильных систем** → CAN.
- **Для IoT и беспроводного доступа** → Wi-Fi/BLE (ESP32) или STM32 + внешний модуль.
- **Для прямого подключения к ПК без адаптеров** → выбирайте МК с встроенным USB (STM32 с USB FS/HS, ESP32-S3, Arduino Leonardo/MKR).
- **Для дальнобойной связи без интернета** → LoRa.
- **Для умного дома с низкой задержкой** → Zigbee или BLE.

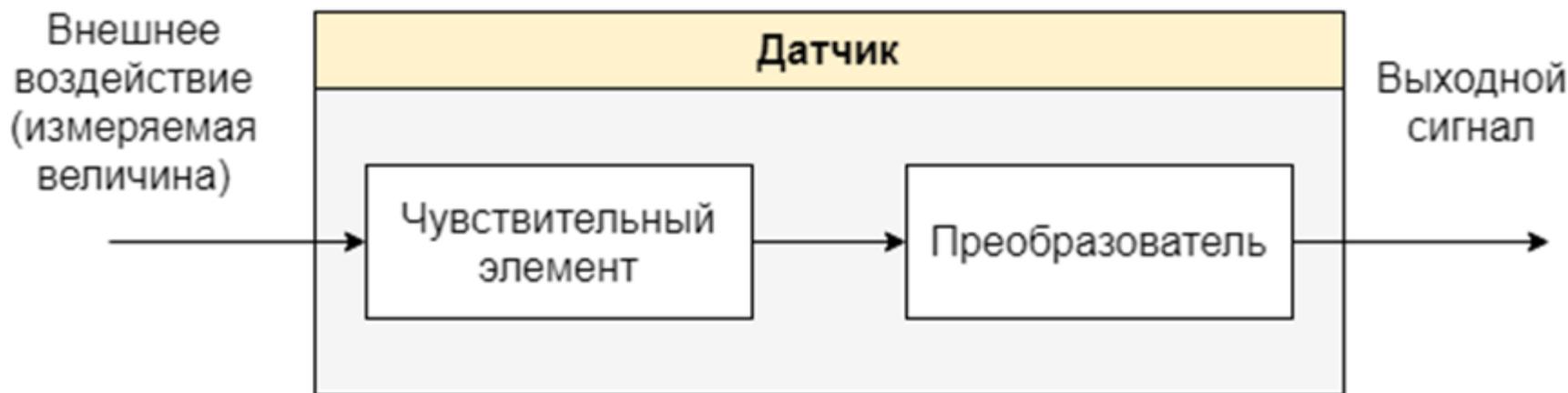


# Датчики и измерительные интерфейсы



# Датчики (сенсоры)

- Датчики (сенсоры) – это устройства, предназначенные для обнаружения и измерения физических, химических или биологических величин окружающей среды и преобразования их в электрический сигнал, понятный микроконтроллеру или другой электронной системе.
- Они выступают «органами чувств» встраиваемой системы, позволяя ей воспринимать реальный мир и реагировать на изменения в нём.
- **Измерительный интерфейс** – совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих преобразование, передачу и обработку сигнала.
- Выбор интерфейса зависит от типа датчика (аналоговый или цифровой), требуемой точности, скорости измерения, помехоустойчивости и архитектуры системы.



# Датчики (сенсоры)

- Датчики преобразуют такие параметры, как **температура, влажность, освещённость, давление, ускорение, магнитное поле, расстояние, газовый состав, уровень жидкости** и многие другие, в аналоговое напряжение, **цифровой код** или **изменение сопротивления/частоты**.
- **Например**, термистор меняет своё сопротивление в зависимости от температуры, фотодиод генерирует ток под действием света, а цифровой датчик температуры и влажности DHT22 выдаёт готовые данные по протоколу однопроводной связи.
- Микроконтроллер (например, STM32, ESP32 или Arduino) считывает этот сигнал через аналоговый вход (АЦП) или цифровой интерфейс (I<sup>2</sup>C, SPI, UART), обрабатывает его и принимает решение – включить вентилятор при перегреве, отправить данные в облако или вывести информацию на дисплей.
- **Без датчиков микроконтроллеры были бы «слепыми»** – они могли бы выполнять программу, но не могли бы взаимодействовать с реальной средой.
- Именно сенсоры делают возможными **умные дома, носимую электронику, промышленную автоматизацию, медицинские приборы, системы безопасности и Интернет вещей (IoT)**.



# Классификация датчиков

- Классификация датчиков очень разнообразна.
- **Все датчики делятся на два основных класса:**
- **Пассивные**, которые не нуждаются во внешнем источнике электроэнергии, и в ответ на входное воздействие генерируют электрический сигнал.
- Примерами таких датчиков являются термопары, фотодиоды и пьезоэлектрические чувствительные элементы.
- **Активные**, которые требуют для своей работы внешний сигнал, называемой сигналом возбуждения. Поскольку, такие датчики меняют свои характеристики в ответ на изменение внешних сигналов, их называют **параметрическими**.
- Примерами активных датчиков являются терморезисторы, сопротивление которых можно вычислить путем пропускания через них электрического тока.



**Современные датчики. Справочник.** ДЖ. ФРАЙДЕН Перевод с английского Ю. А. Заболотной под редакцией Е. Л. Свинцова ТЕХНОСФЕРА Москва Техносфера, 2005 - 592 с.

# Классификация датчиков

- Другим важным критерием для нас является **выбор точки отсчета данных**.
- Таким образом датчики бывают:
  - **Абсолютные**, измеряемое значение физической величины которых не зависит от условий измерения и внешней среды.
  - **Относительные**, когда выходной сигнал такого датчика в каждом конкретном случае трактуется по разному.
- Ярким **примером** является **терморезистор**, сопротивление которого напрямую зависит только от температуры измеряемого объекта, и термопара, выходное напряжение которой зависит от разности температур между горячим и холодным концами.



**Современные датчики. Справочник.** ДЖ. ФРАЙДЕН Перевод с английского Ю. А. Заболотной под редакцией Е. Л. Свинцова ТЕХНОСФЕРА Москва Техносфера, 2005 - 592 с.

# Классификация датчиков

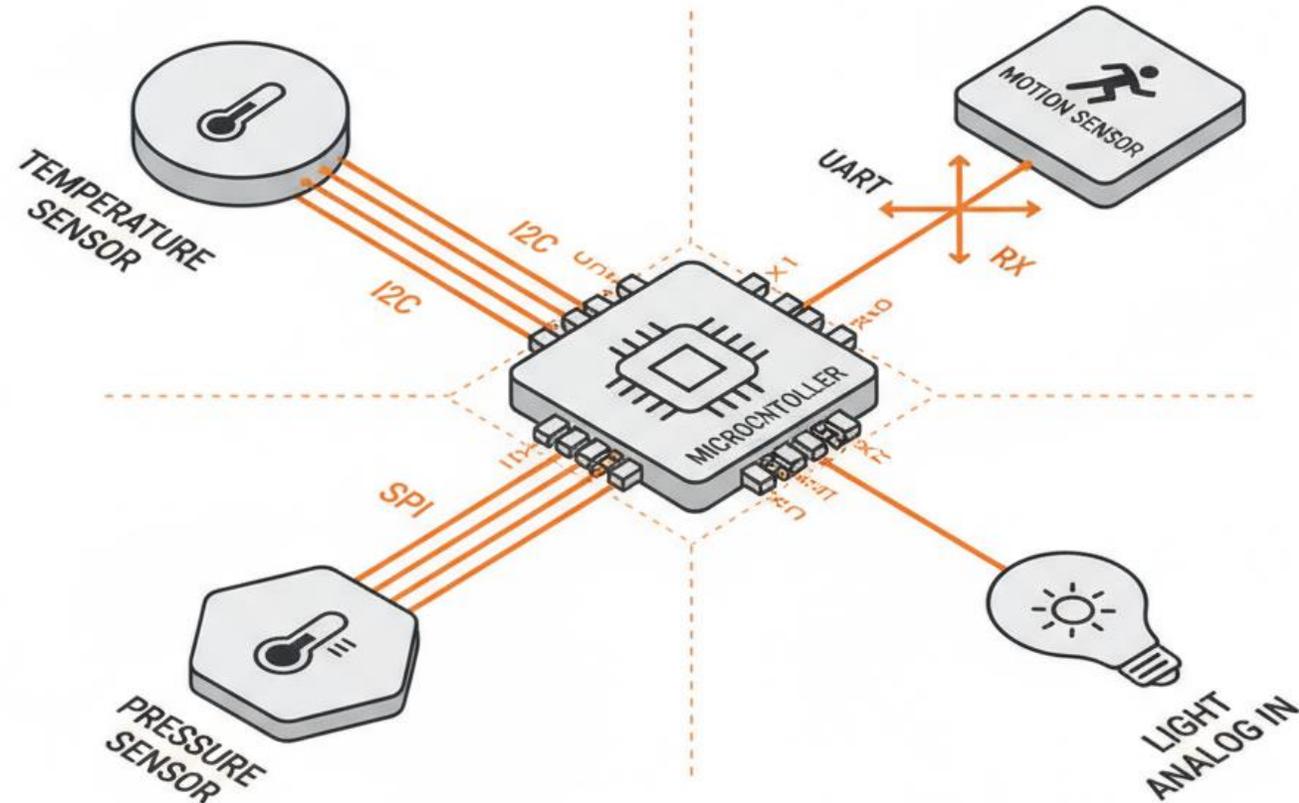
- При разработке радиоэлектронного оборудования важным фактором характеристик датчика также является **характер выходного сигнала**.
- **Аналоговые датчики** на выходе имеют непрерывный выходной сигнал, для снятия которого необходимо использовать аналого-цифровой преобразователь, после чего необходимо произвести преобразования значения АЦП в формат измеряемой величины.
- **Цифровые датчики**, информация с которых снимается с помощью различных цифровых интерфейсов. Как правило, информация доступна непосредственно в формате измеряемой величины и не требует проведения дополнительных преобразований.
- **Дискретные датчики**, имеющие только два варианта сигнала на выходе канала датчика – лог 0. и лог. 1. Примером такого датчика является конечный выключатель, имеющий состояния замкнут и разомкнут. Дискретный датчик может иметь несколько выходных каналов, каждый из которых находится в одном из двух состояний. Например, 12-разрядный абсолютный датчик положения.
- **Импульсные датчики**, формирующие импульсы выходного сигнала, амплитуда или длительность которых зависит от измеряемой величины. Например, инкрементальный датчик положения формирует на выходе код Грея. При этом, чем выше частота вращения вала датчика, тем большая частота сигнала будет на выходе, что позволит с высокой точностью определить частоту вращения вала.

# Классификация датчиков

- **Специализированные датчики** объединяют в себе сложные физические принципы и часто включают как аналоговые, так и цифровые компоненты.
- К ним относятся:
- **Ультразвуковые датчики расстояния** (например, HC-SR04), измеряющие время прохождения звукового импульса;
- **Инфракрасные датчики** (например, Sharp GP2Y0A), использующие триангуляцию или отражение ИК-луча;
- **PIR-датчики движения**, реагирующие на изменение инфракрасного излучения от тёплых объектов;
- **Газовые сенсоры** (например, MQ-2, MQ-135), изменяющие сопротивление в зависимости от концентрации газа;
- **IMU-модули** (Inertial Measurement Unit), сочетающие акселерометр, гироскоп и часто магнитометр (например, MPU6050, LSM9DS1) для определения ориентации и движения.
- Такие устройства могут иметь как аналоговый, так и цифровой выход, но чаще всего взаимодействуют с микроконтроллером по I<sup>2</sup>C или SPI. Они широко применяются в робототехнике, системах безопасности, носимой электронике и IoT-устройствах, где требуется не просто измерить величину, а интерпретировать сложное поведение или состояние окружающей среды.

# Датчики

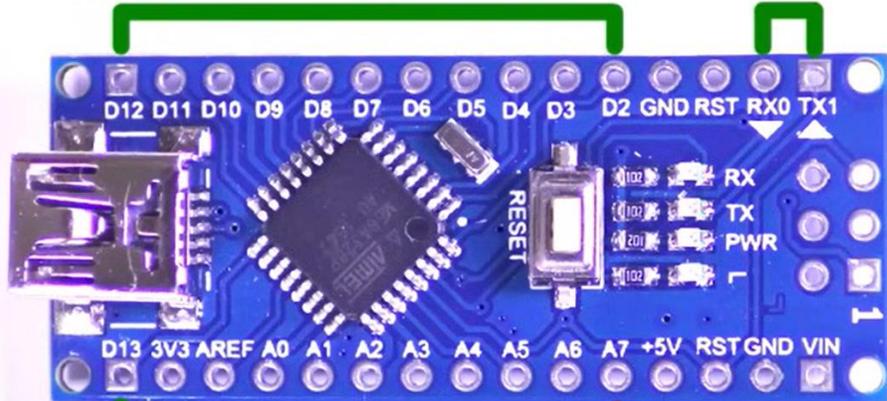
- **Классификаций датчиков очень много.**
- В нашей лекции не стоит задача глубоко изучить всю классификацию датчиков, рассмотреть все типы датчиков и принципы их работы.
- Нам важно укрупненно рассмотреть их и понять как они совместно работают с микроконтроллерами.



# Микроконтроллер -- Датчики

Могут принимать и выдавать цифровой сигнал (при подключении на землю, пин GND)

Цифровые порты (D2-D12) DO и DI



D13 Аналоговые порты (A0-A7)

1. Могут принимать и выдавать цифровой сигнал (при подключении на землю, пин GND)
2. Могут измерять напряжение от 0 до 5 В с шагом 5/1024 ~ 5 милливольт

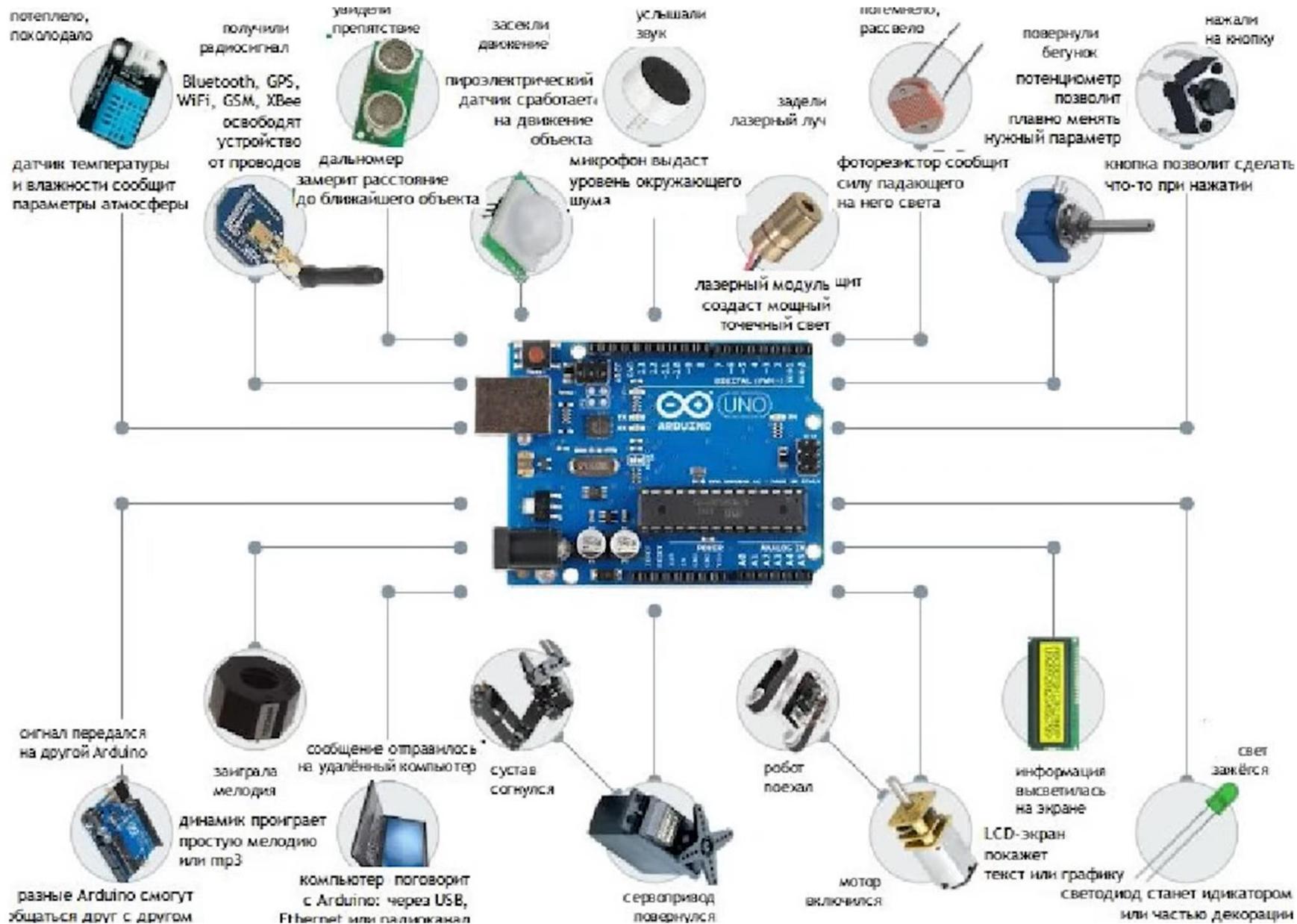


Цифровой сигнал  
10001010011100010  
Скачки напряжения 0 и 5 Вольт



Аналоговый сигнал  
Плавно изменяющееся напряжение

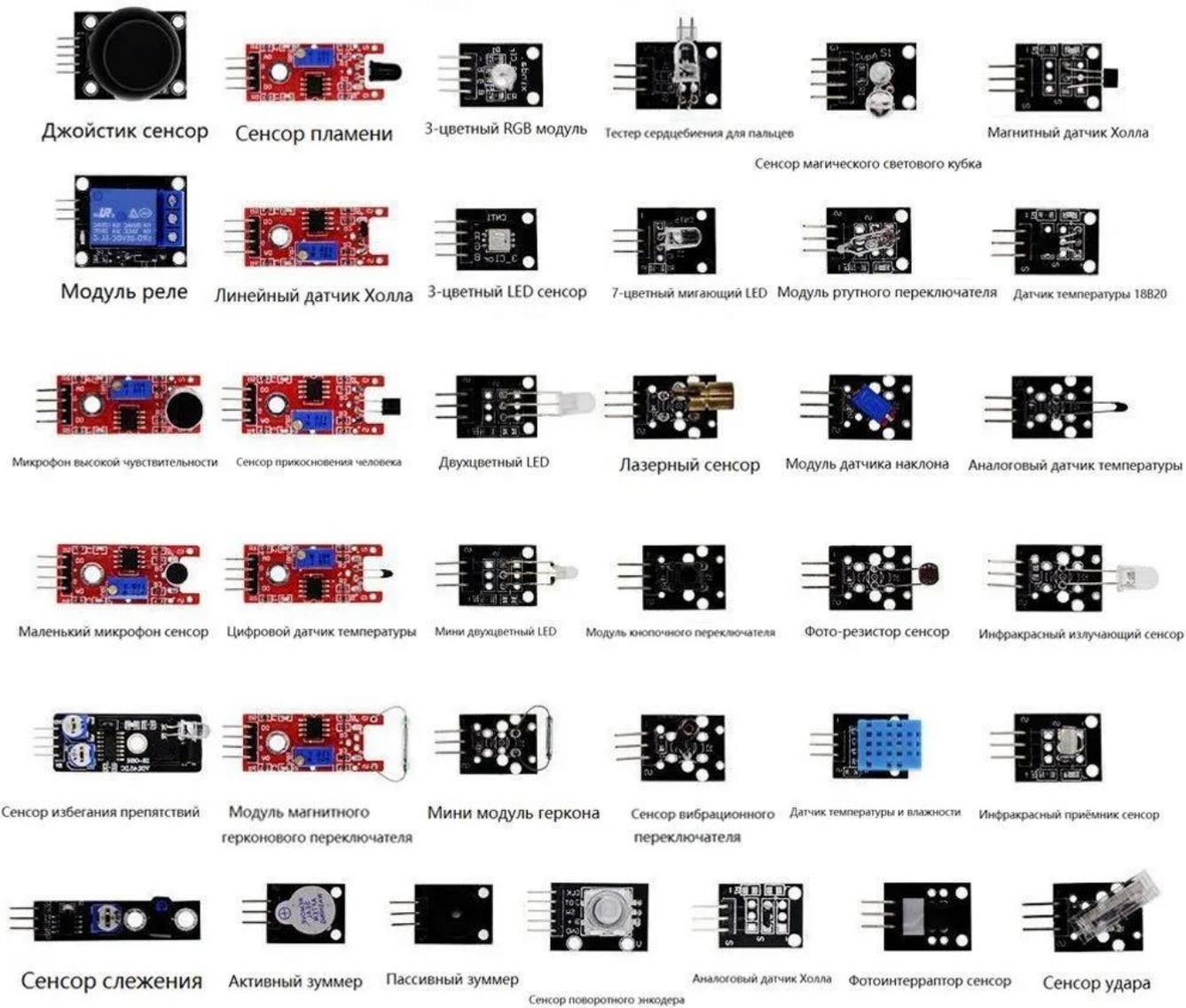
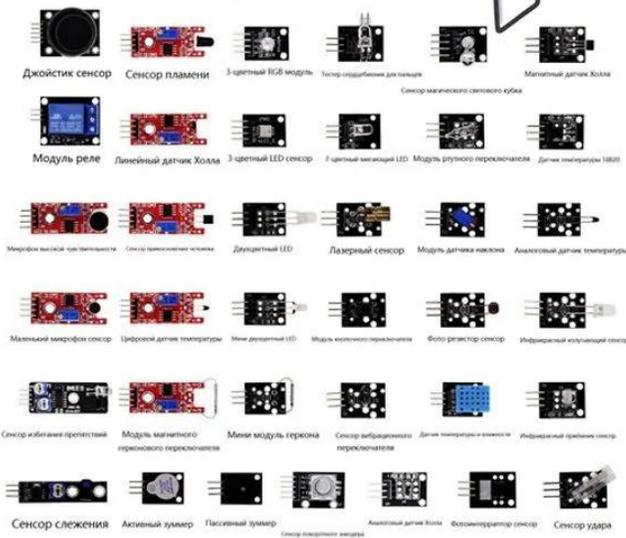
# Датчики



# Датчики

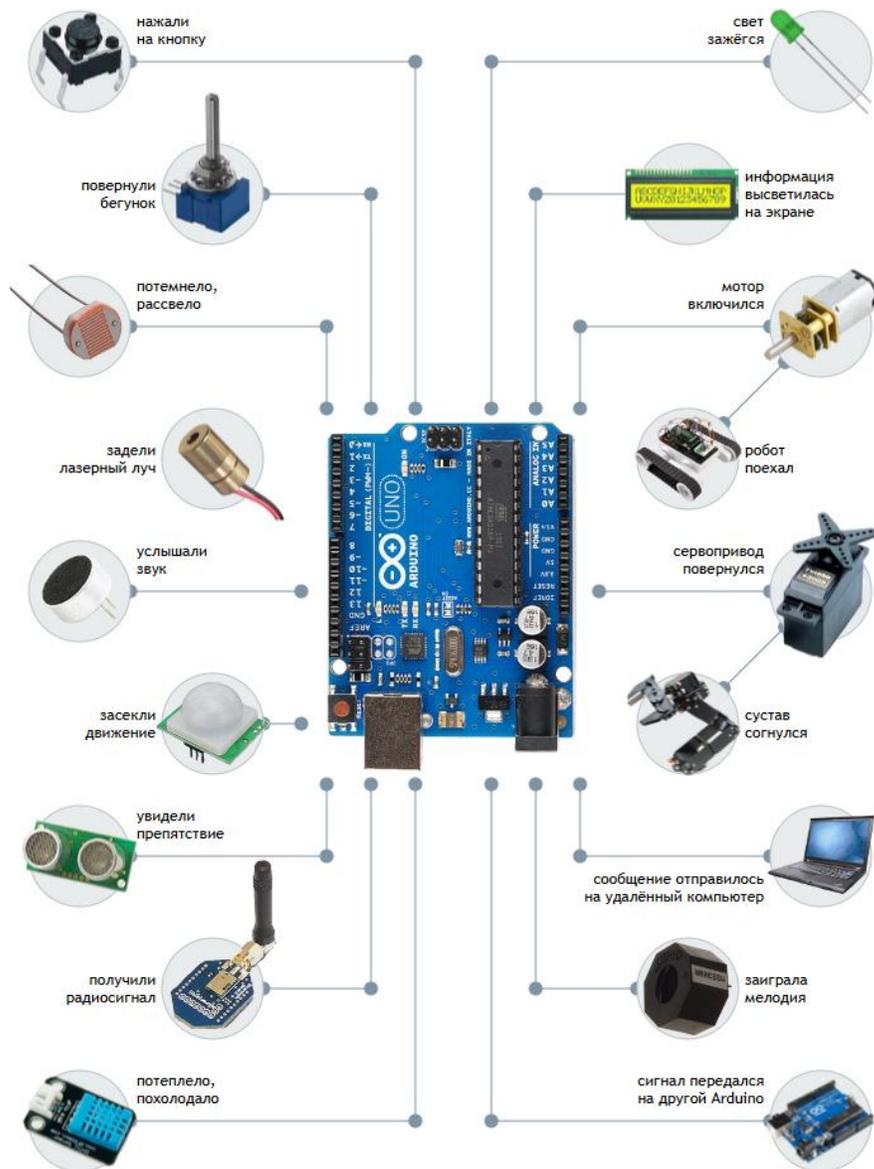


37 модулей датчиков



Комплект модулей Arduino: 37 сенсоров + MB102 + провода для экспериментов и DIY

# Датчики



- Датчики играют ключевую роль в современных системах автоматизации и управления, позволяя устройствам собирать информацию из окружающей среды и реагировать на неё.
- Принцип работы различных датчиков основан на взаимодействии с физическими величинами, такими как звук, свет или температура.
- Разные виды датчиков могут определять расстояние, уровень освещённости, температуру или другие параметры с высокой точностью.
- **Датчиков существует большое количество, в качестве примера кратко затронем несколько видов датчиков.**
- По другим датчикам информацию легко найти в интернете.

# Датчик Температуры

• **Термометр DS18B20** – очень популярный, надёжный и высокоточный **цифровой датчик температуры** - не подвержен помехам, в отличие от термистора и других аналоговых датчиков, не зависит от нелинейности АЦП и имеет постоянную точность на всём рабочем диапазоне температур. Выпускается в разных корпусах.

• **Характеристики:**

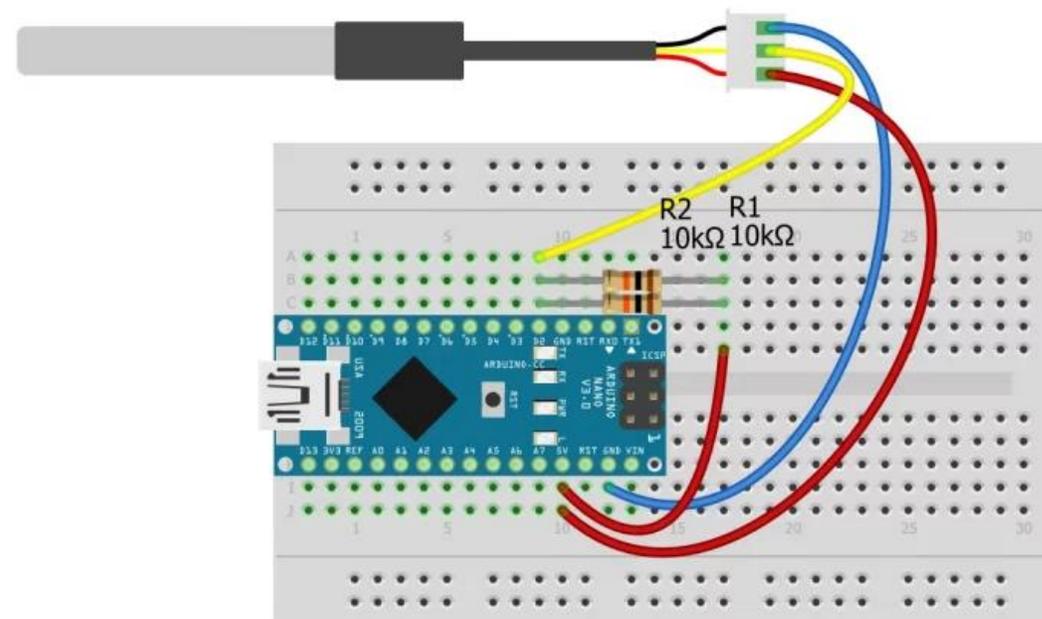
- Диапазон: -55.. 125 °C
- Точность: 0.5 °C
- Разрешение: 9.. 12 бит (0.48.. 0.06 °C)
- Питание: 3-5.5V
- Скорость измерения:
- 750 мс при точности 12 бит
- 94 мс при точности 9 бит
- Интерфейс связи: 1-Wire (OneWire)
- Возможность подключать несколько датчиков на один пин



TO-92



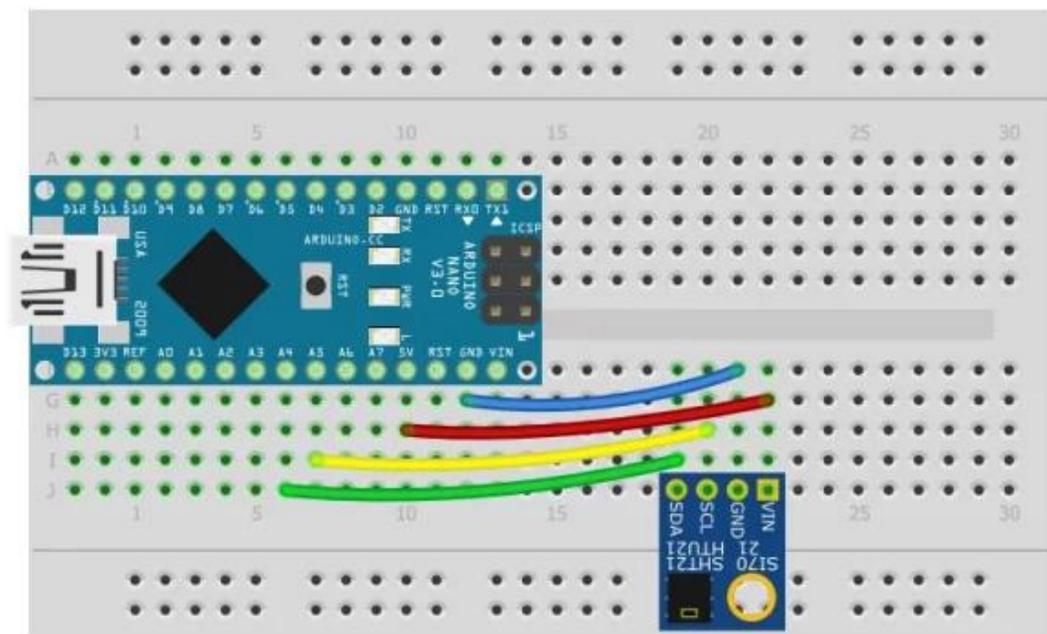
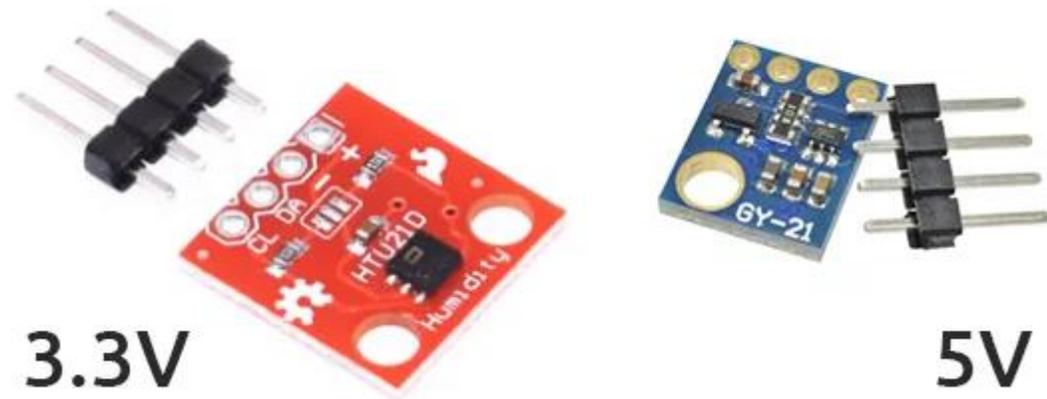
SOIC-8



Термометр DS18B20 <https://alexgyver.ru/lessons/ds18b20/>

# Датчик температуры и влажности

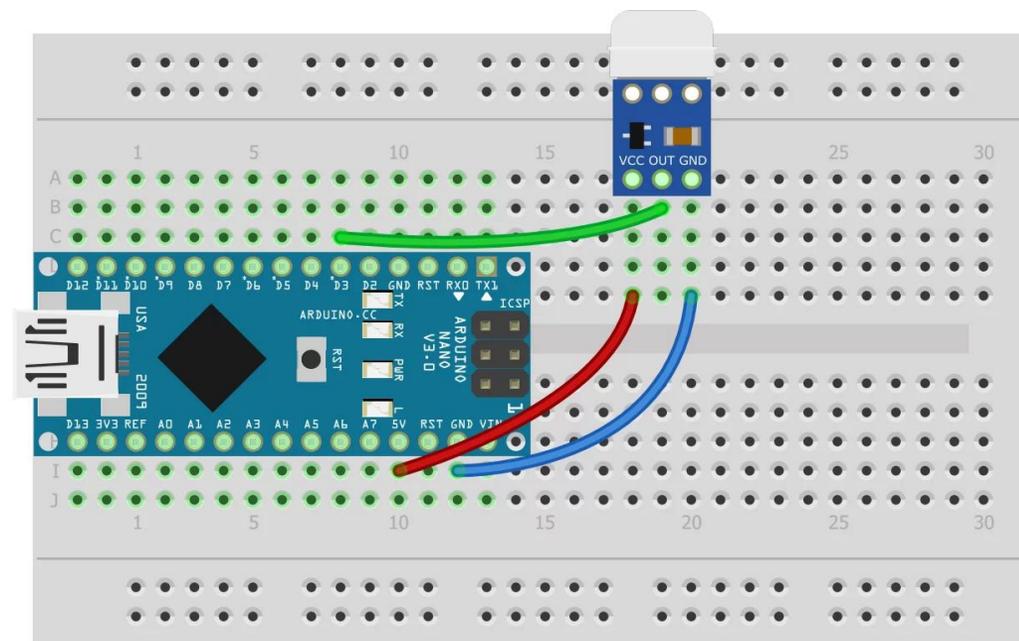
- Метеодатчик HTU21D – это цифровой датчик относительной влажности и температуры, разработанный компанией TE Connectivity (ранее – Measurement Specialties).
- В виде модуля существует версия 3.3V и 5V (со стабилизатором)
- Он широко используется в бытовой электронике, системах автоматизации, метеостанциях и IoT-устройствах благодаря высокой точности, низкому энергопотреблению и компактным размерам.
- **Характеристики**
- Температура:
  - Диапазон: -40.. 125°C
  - Точность: 0.3°C
  - Разрешение: 11.. 14 bit
- Влажность:
  - Диапазон: 0.. 100%
  - Точность: 2%
  - Разрешение: 8.. 12 bit



Метеодатчик HTU21D <https://alexgyver.ru/lessons/htu21d/>

# ИК датчик движения

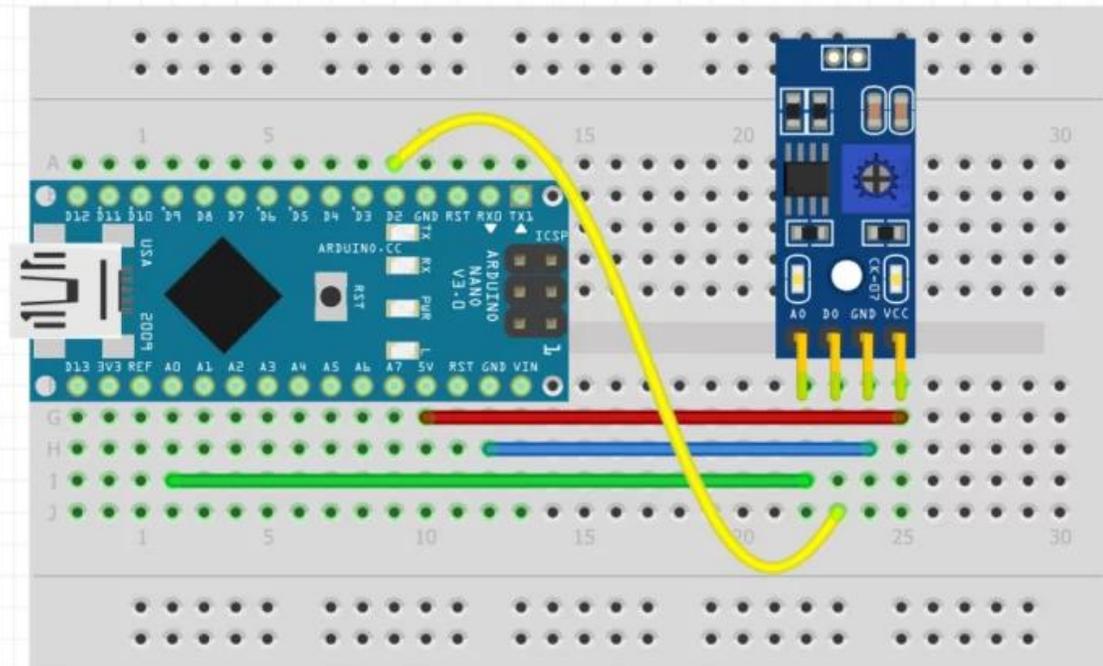
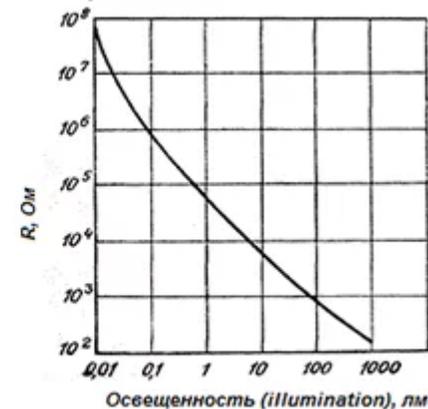
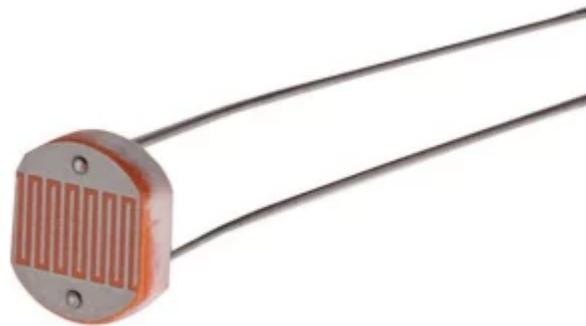
- ИК датчик движения выдаёт цифровой сигнал, если замечает перемещение источника тепла в поле зрения, используется в охранных системах и прочих устройствах, которые должны реагировать на появление или движение человека.
- Вариантов исполнения модулей с этими датчиками существует много, например миниатюрный модуль на базе АМ312. На плате нет ничего лишнего, поэтому модуль потребляет 8.5 мкА и отлично подходит для автономных проектов:
- **Характеристики АМ312:**
  - Питание: 2.7.. 12V
  - Ток потребления: 8.5 мкА
  - Угол обзора: 100 градусов
  - Дальность срабатывания: 3-5 метров
  - Таймаут: 2 секунды
  - Сигнал: 2 секунды



ИК датчик движения <https://alexgyver.ru/lessons/pir-sensor/>

# Датчик света

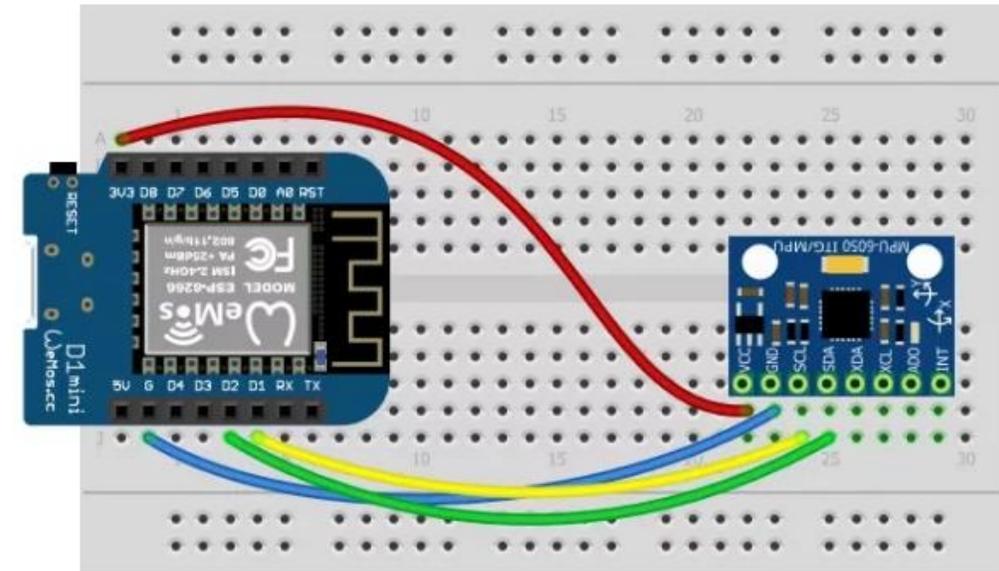
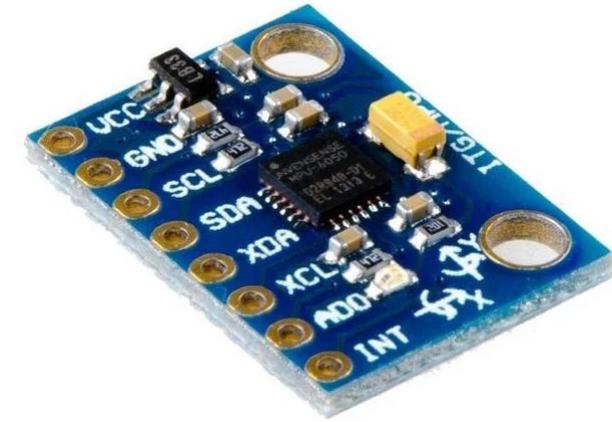
- Датчик света, точнее фоторезистор – радиоэлемент, изменяющий своё сопротивление в зависимости от интенсивности попадающего на него света: от десятков Ом (при ярком свете) до сотен кОм (в темноте).
- Позволяет устройству получать информацию об уровне освещённости, например для автоматического включения света в тёмное время суток.
- Также может использоваться и более сложными способами, например работа датчиков в паре или тройке для наведения на источник света или приём луча лазера в системе сигнализации.



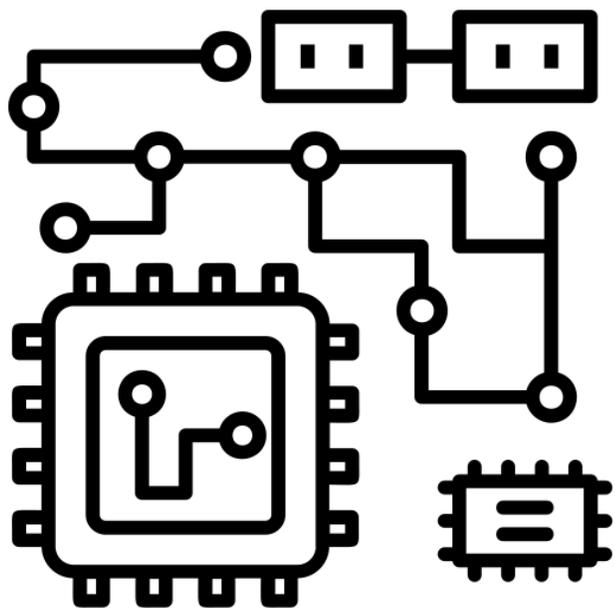
Датчик света <https://alexgyver.ru/lessons/light-sensor/>

# Акселерометр

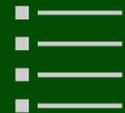
- **Акселерометр MPU6050** – трёх осевой датчик ускорения (акселерометр) и угловой скорости (гироскоп).
- Используется для получения информации о положении в пространстве, движении, в системах инерциальной навигации, также может быть использован как высокочувствительный датчик вибрации и удара.
- Микросхема гораздо умнее, чем кажется на первый взгляд: там есть встроенный процессор, который можно программировать.
- **Характеристики датчика:**
  - Питание: 2.3.. 3.5V
  - Диапазон ускорений: от  $\pm 2g$  до  $\pm 16g$
  - Диапазон угловых скоростей: от  $\pm 250$  град/с до  $\pm 2000$  град/с
  - Интерфейс: I2C
- **На модуле выведены:**
  - VCC и GND: питание 3.. 5V (на модуле стоит стабилизатор)
  - SDA и SCL: вывод шины I2C для связи с МК
  - XDA и XCL: позволяют подключать к модулю другие датчики (например, магнитометр)
  - AD0: выбор адреса. Никуда не подключен: 0x68, подтянут к VCC – 0x69
  - INT: пин прерывания готовности (поведение настраивается в программе)



Акселерометр MPU6050 <https://alexgyver.ru/lessons/mpu6050/>

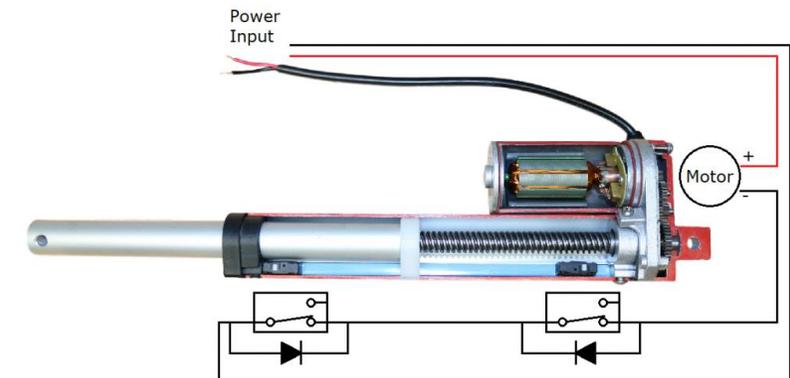
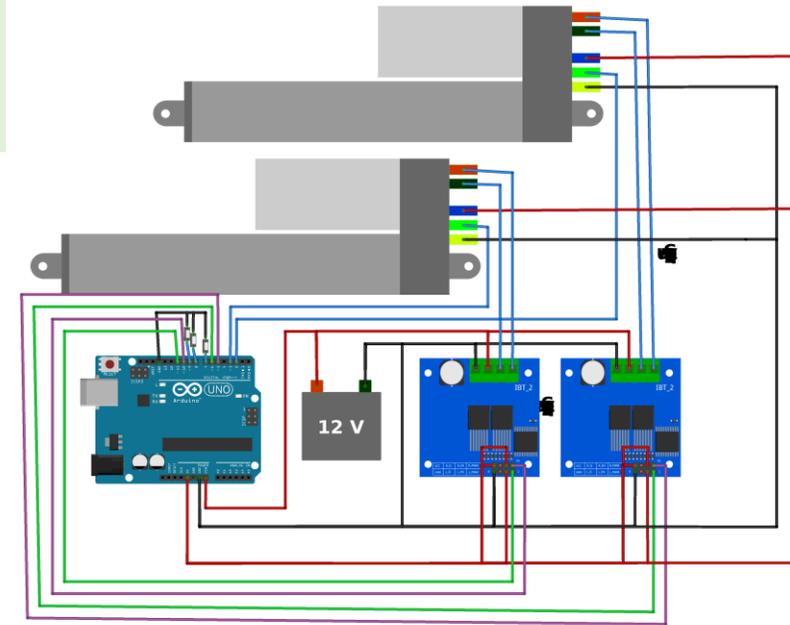


# Актуаторы и исполнительные механизмы



# Актуаторы (или исполнительные механизмы)

- **Актуаторы (или исполнительные механизмы)** – это устройства, которые преобразуют управляющий сигнал от микроконтроллера в физическое действие: движение, тепло, свет, звук и т.д.
- **Они являются «мышцами» встраиваемой системы, в то время как датчики выступают её «органами чувств».** Взаимодействие микроконтроллеров (STM32, ESP32, Arduino и др.) с актуаторами требует не только генерации управляющих сигналов, но и часто – использования дополнительных схем согласования, поскольку большинство исполнительных устройств потребляют значительно больше тока и напряжения, чем способен выдать GPIO-вывод микроконтроллера (обычно до 20–40 мА при 3.3/5 В).
- **Современные микроконтроллеры управляют актуаторами через стандартные цифровые, аналоговые или импульсные интерфейсы.**
- **Наиболее распространёнными методами являются:**
  - Цифровое включение/выключение (например, реле, светодиоды),
  - Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) для плавного регулирования мощности (скорости мотора, яркости LED),
  - Аналоговый выход (через ЦАП) для управления устройствами, требующими непрерывного сигнала (редко, так как большинство актуаторов работают в цифровом режиме).
- Ниже рассмотрены основные типы актуаторов, принципы их управления и особенности интеграции с популярными платформами.



fritzing

# Классификация актуаторов

- Рассмотрим общепринятую **классификацию актуаторов**, актуальная для встраиваемых систем на базе Arduino, ESP32, STM32 и других платформ.
- **1. По типу энергии и принципу действия**
  - **Электромеханические** – используют электричество для создания движения.
    - Примеры: электродвигатели (постоянного тока, шаговые, серводвигатели), реле, соленоиды, линейные актуаторы.
    - Применение: робототехника, автоматика, системы позиционирования.
  - **Термические** – преобразуют электрическую энергию в тепло.
    - Примеры: нагревательные элементы (нихромовая спираль, РТС-нагреватели), термоэлектрические модули (Peltier).
    - Применение: термоконтроллеры, 3D-принтеры, инкубаторы.
  - **Оптические** – создают или модулируют свет.
    - Примеры: светодиоды (LED), OLED-панели, лазерные диоды.
    - Применение: индикация, освещение, оптическая связь.
  - **Акустические** – генерируют звуковые волны.
    - Примеры: пьезоэлементы, динамики, бубзеры.
    - Применение: сигнализация, аудиообратная связь, музыкальные модули.
  - **Пневматические и гидравлические** – используют сжатый воздух или жидкость для создания усилия (редко в любительской электронике, чаще в промышленности).
    - Примеры: пневмоцилиндры, насосы.
    - Применение: промышленные манипуляторы, системы подачи жидкости.

# Классификация актуаторов

- **2. По характеру движения**

- **Линейные актуаторы** – создают поступательное движение.
  - Примеры: соленоиды, линейные моторы, шаговые двигатели с винтовой передачей.
- **Вращательные актуаторы** – создают вращательное движение.
  - Примеры: DC-моторы, сервоприводы, шаговые двигатели.

- **3. По способу управления**

- **Цифровые (дискретные)** – работают в режиме «включено/выключено».
  - Примеры: реле, светодиоды, простые бужеры.
- **Аналоговые (непрерывные)** – позволяют плавно регулировать выходное воздействие.
  - Примеры: двигатели с ШИМ-управлением, диммируемые LED, нагреватели с ПИД-регулированием.
- **Импульсные / адресуемые** – управляются по специализированным протоколам.
  - Примеры: сервоприводы (ШИМ с заданной длительностью импульса), адресуемые LED-ленты (WS2812B по однопроводному протоколу).

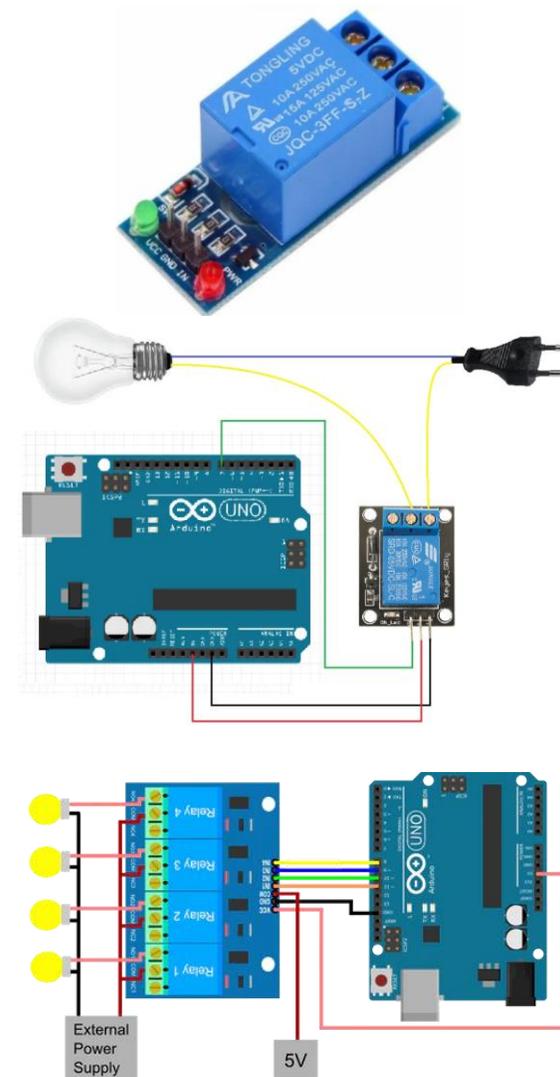
# Светодиоды (LED) и индикаторы

- **Светодиоды – простейшие и наиболее часто используемые актуаторы.** Они служат для визуальной индикации состояния системы (включено/выключено, ошибка, передача данных). Управление осуществляется через цифровой вывод микроконтроллера: подача логической «1» (HIGH) включает светодиод, «0» (LOW) – выключает. Обязательным элементом схемы является токоограничивающий резистор (обычно 220–470 Ом), предотвращающий перегорание LED и перегрузку GPIO.
- Для регулировки яркости используется ШИМ (PWM). Микроконтроллер генерирует последовательность импульсов с фиксированной частотой, но переменной скважностью (отношением времени включённого состояния к периоду). Человеческий глаз воспринимает это как изменение яркости. Все рассматриваемые платформы (STM32, ESP32, Arduino и др.) имеют встроенные таймеры с ШИМ-выходами. Например, в Arduino используется функция `analogWrite(pin, value)`, в STM32 – настройка таймера через HAL, в ESP32 – библиотека `ledc`. Светодиодные ленты (особенно адресуемые, типа WS2812B) требуют специализированных протоколов и временных диаграмм, но также управляются одним GPIO-выводом.

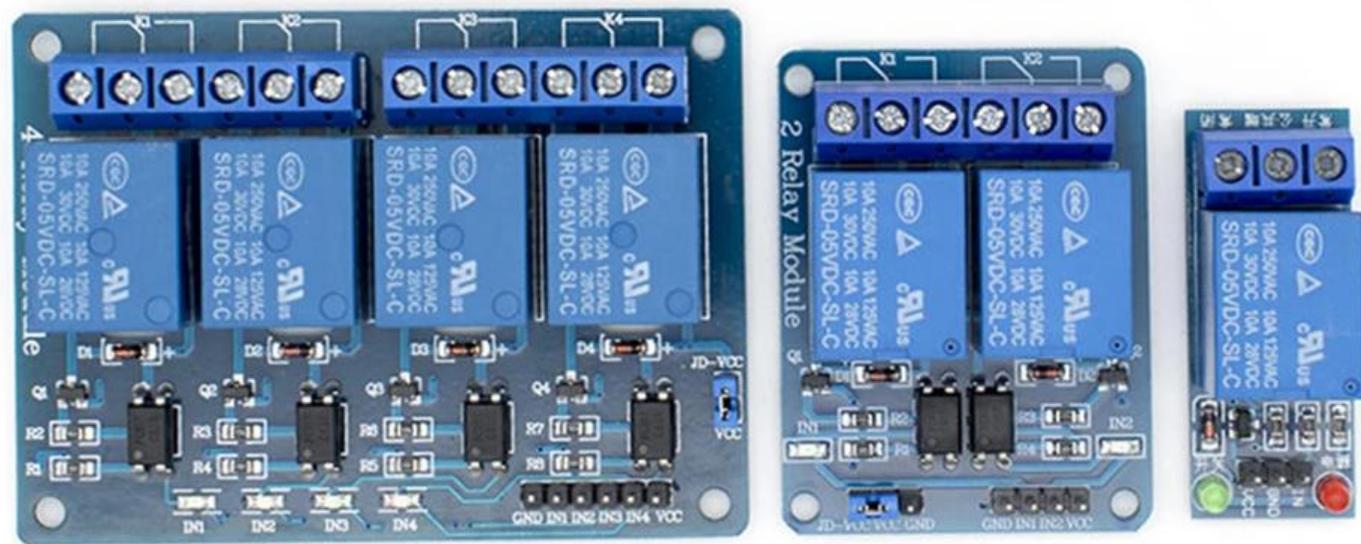
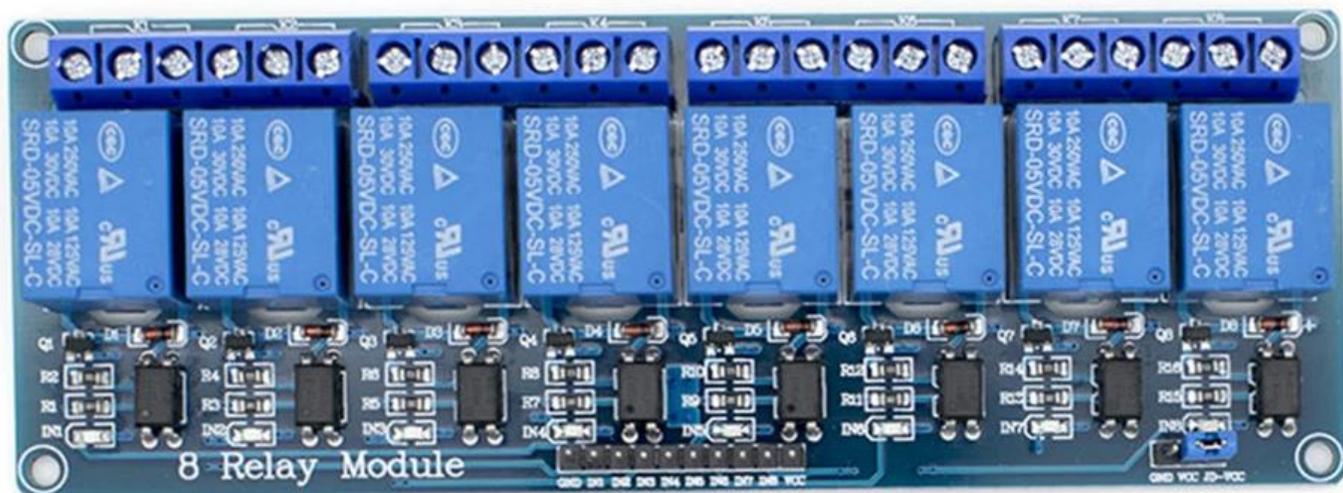


# Реле и силовые ключи

- Реле – электромеханические или твердотельные переключатели, позволяющие микроконтроллеру управлять цепями с высоким напряжением (220 В) и током (десятки ампер), например, включать лампы, обогреватели или насосы.
- Поскольку обмотка реле потребляет значительный ток (50–100 мА), её нельзя подключать напрямую к GPIO. Используется транзисторный ключ (обычно NPN-биполярный или N-канальный MOSFET), который управляется слаботочным сигналом от МК и коммутирует питание реле. В модулях реле часто уже встроены оптронная развязка, транзистор и диод (для подавления ЭДС самоиндукции).
- Твердотельные реле (SSR) и MOSFET-ключи применяются там, где важна бесшумность, долговечность и высокая скорость переключения. Например, MOSFET IRLZ44N может управляться напрямую с 3.3 В GPIO и коммутировать ток до 30 А. Такие ключи широко используются в системах управления питанием, диммерах и мотор-драйверах. В платформах STM32 и ESP32 цифровой вывод настраивается как выход с push-pull или open-drain, в зависимости от схемы. Arduino предоставляет простые функции `digitalWrite()` для включения/выключения реле.



# Реле



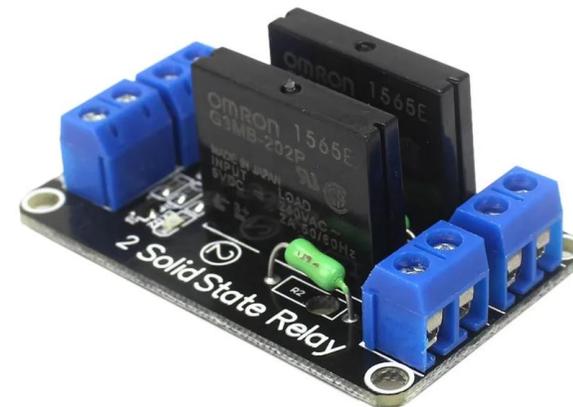
Электромагнитное реле  
TENSTAR ROBOT 5V релейный модуль 1-8 каналов

YJCAL



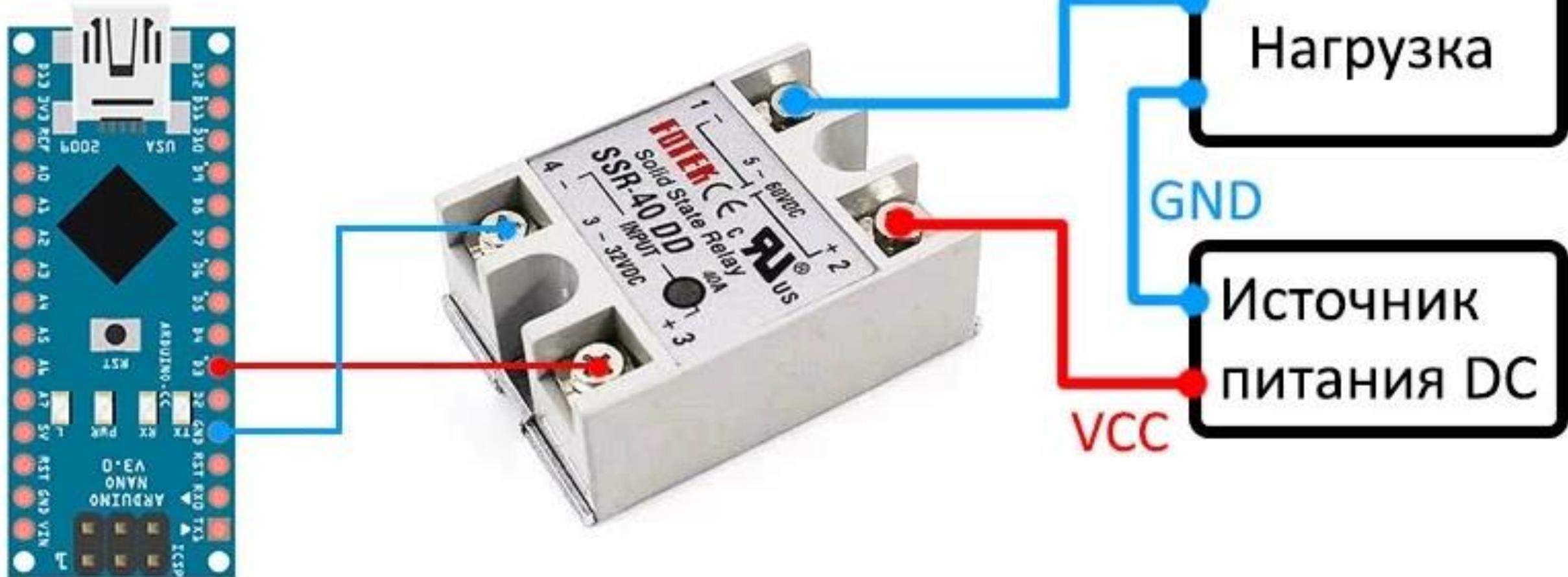
SSR AC-AC 10A/25A/40A

YJCAL Твердотельное реле SSR-10/25/40AA  
для постоянного тока DC



HESAI G3MB-202P  
твердотельное реле 1/2/4 канала 5V

# Реле



Подключение реле <https://alexgyver.ru/lessons/power-dc/>

Драйверы коллекторных моторов. Подключение реле <https://alexgyver.ru/lessons/dc-motors/>

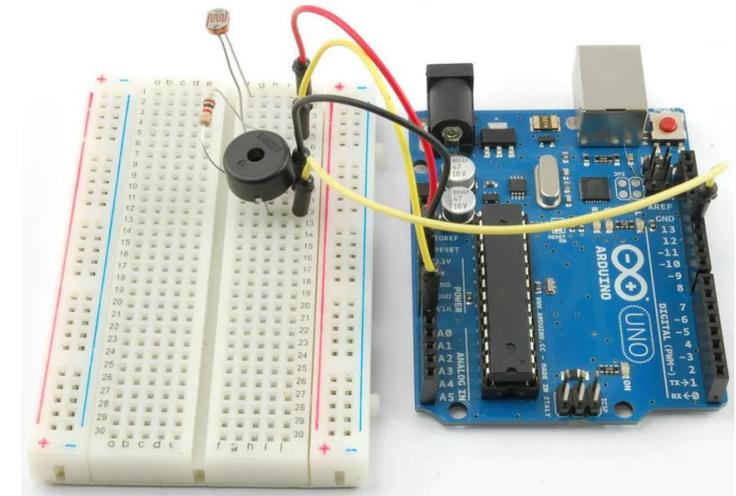
# Электродвигатели

- **Электродвигатели делятся на несколько типов:** двигатели постоянного тока (DC), сервоприводы (Servo) и шаговые двигатели (Stepper). Каждый требует своего подхода к управлению.
- **DC-моторы** управляются по направлению и скорости. Для этого используется H-мост (например, драйвер L298N или TB6612FNG), который позволяет менять полярность подключения мотора и регулировать скорость через ШИМ. Микроконтроллер подаёт два цифровых сигнала для направления и один ШИМ-сигнал для скорости. ESP32 и STM32 легко генерируют несколько независимых ШИМ-каналов, что позволяет управлять несколькими моторами одновременно.
- **Сервоприводы** (например, SG90, MG996R) имеют встроенный контроллер и управляются по одному проводу с помощью ШИМ-сигнала с фиксированным периодом (обычно 20 мс) и переменной длительностью импульса (0.5–2.5 мс), задающей угол поворота вала. Arduino предоставляет библиотеку Servo.h, ESP32 – ledc или ESP32Servo, STM32 – таймеры с ШИМ и настройкой периода. Сервоприводы широко применяются в робототехнике, камерах и механических манипуляторах.
- **Шаговые двигатели** (например, NEMA 17) обеспечивают точное позиционирование без датчиков обратной связи. Управляются они через драйверы (A4988, DRV8825, TMC2209), которые получают от МК сигналы STEP (шаг) и DIR (направление). Каждый импульс на STEP вызывает поворот вала на фиксированный угол (например, 1.8°). STM32 и ESP32 могут генерировать высокочастотные импульсы для высокой скорости вращения, а также реализовывать микрошаги через дополнительные входы драйвера. Шаговые двигатели используются в 3D-принтерах, ЧПУ-станках и точных позиционных системах.



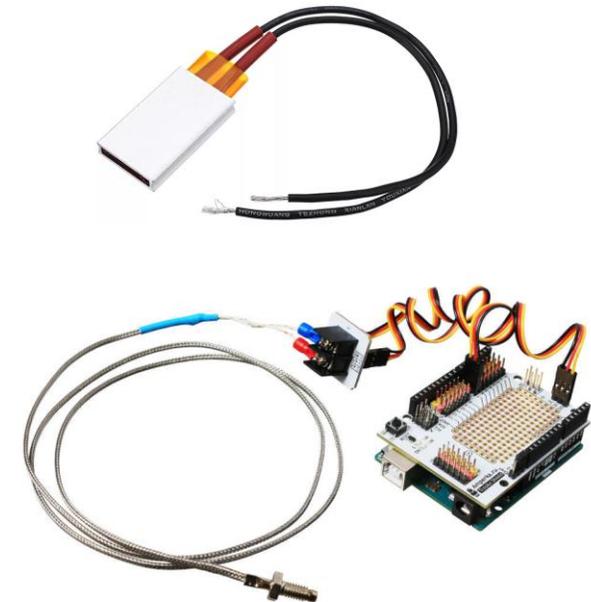
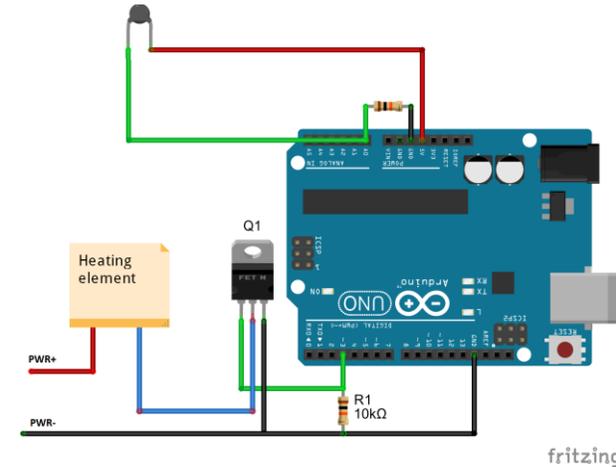
# Пьезоэлементы и звуковые излучатели

- **Пьезоэлектрические элементы** (пьезобиперы) преобразуют электрический сигнал в звук.
- Существуют два типа: **активные** (имеют встроенный генератор – достаточно подать постоянное напряжение) и **пассивные** (требуют внешнего переменного сигнала).
- Пассивные управляются через ШИМ с изменением частоты для воспроизведения мелодий.
- Arduino использует функцию `tone()`, ESP32 – таймеры или `ledc`, STM32 – настройку таймера в режиме PWM с изменением частоты.
- Такие устройства применяются в сигнализациях, часах и интерфейсах с аудиообратной связью.



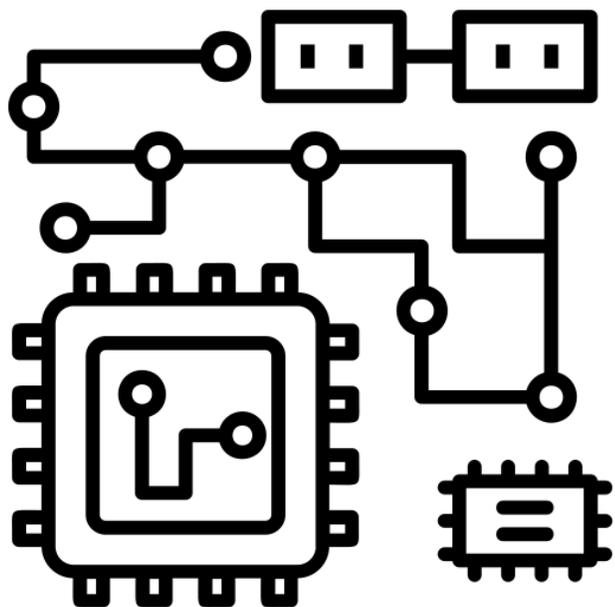
# Нагревательные элементы и термоактуаторы

- **Нагреватели** (например, РТС-элементы, нихромовые спирали) управляются через силовые реле или MOSFET-ключи, как и другие высокоомные нагрузки.
- Регулировка температуры осуществляется по принципу широтно-импульсной модуляции или фазового управления (в сетевых устройствах).
- Микроконтроллер получает данные от датчика температуры (например, DS18B20 или термистора) и, используя алгоритм ПИД-регулятора, корректирует скважность ШИМ-сигнала.
- STM32 особенно подходит для таких задач благодаря встроенным FPU и DSP-инструкциям, ускоряющим вычисления.
- Применяется в термоконтроллерах, 3D-принтерах, инкубаторах.

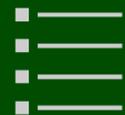


# Актуаторы (или исполнительные механизмы)

- **Выбор актуатора и способа его управления** зависит от требований проекта: точности, мощности, скорости и энергоэффективности.
- Микроконтроллеры STM32, ESP32 и Arduino предоставляют гибкие аппаратные и программные средства для взаимодействия с широким спектром исполнительных механизмов.
- Однако **ключевым аспектом остаётся согласование уровней сигнала и мощности**: почти всегда требуется внешняя схема (транзистор, драйвер, реле), чтобы защитить микроконтроллер от перегрузки и обеспечить надёжную работу актуатора.
- Правильная интеграция актуаторов превращает простой микроконтроллер в «мозг» полноценной автоматизированной системы – от умного дома до промышленного робота.



# Программирование микроконтроллеров и интеграция с ПК



# Программирование микроконтроллеров

- **Программирование микроконтроллеров** и их интеграция с персональным компьютером (ПК) – это ключевой этап разработки встраиваемых систем, объединяющий написание кода, загрузку прошивки и организацию двустороннего обмена данными.
- Процесс начинается с выбора среды разработки и **языка программирования**: большинство современных микроконтроллеров (STM32, ESP32, Arduino) **программируются на C/C++**, хотя доступны и **альтернативы** – **MicroPython, CircuitPython, Rust** или **визуальные среды** (например, Blockly).
- Для Arduino используется упрощённая среда **Arduino IDE**, для STM32 – профессиональная **STM32CubeIDE** с генератором кода CubeMX, а для ESP32 – как Arduino IDE, так и официальный фреймворк **ESP-IDF**.
- **Загрузка прошивки в микроконтроллер** обычно осуществляется через USB-порт, но реализация зависит от архитектуры.
- **Платы с встроенным USB-контроллером** (например, STM32 с поддержкой DFU, ESP32-S3, Arduino Leonardo) могут эмулировать виртуальный COM-порт (CDC) или режим Device Firmware Upgrade (DFU), позволяя прошивать устройство напрямую.
- **Платы без USB** (например, классический ESP32 или Arduino Uno) используют внешний чип-конвертер (CP2102, CH340, FTDI), преобразующий UART в USB.
- После подключения ПК распознаёт устройство как **COM-порт**, и прошивка загружается через загрузчик (bootloader) или отладчик (ST-Link, J-Link).

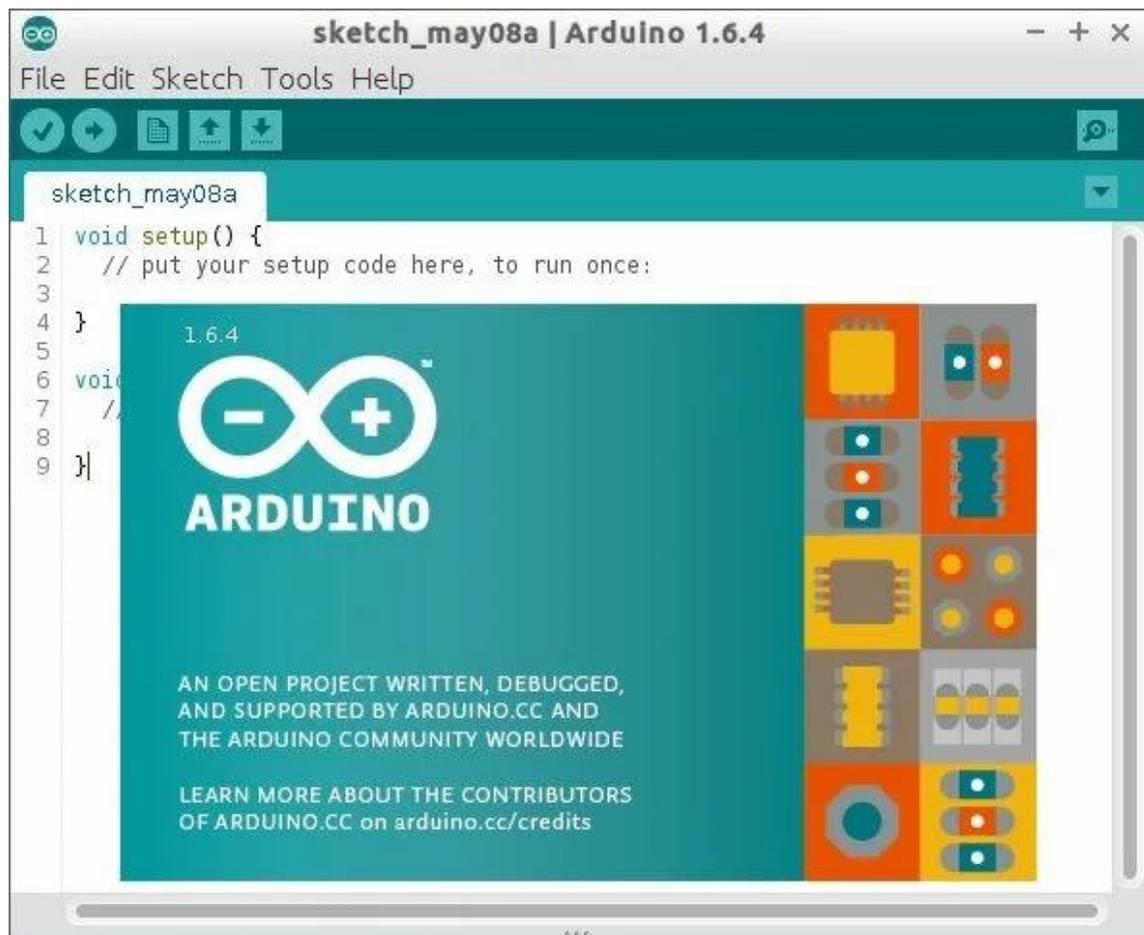
# Программирование микроконтроллеров

- Интеграция с ПК на этапе выполнения программы реализуется через стандартные интерфейсы (COM, USB и др.).
- Наиболее распространённый способ – обмен текстовыми командами по UART/USB-CDC: микроконтроллер отправляет логи, статусы или измеренные данные, а ПК передаёт управляющие команды.
- Это используется в отладке, мониторинге и простых управляющих приложениях.
- Для более сложных сценариев применяются:
  - **HID-интерфейс** – микроконтроллер эмулирует клавиатуру или мышь (например, для макросов или автоматизации).
  - **Mass Storage** – МК выглядит как флешка, позволяя обмениваться файлами.
  - **Сетевые протоколы** – при наличии Wi-Fi (ESP32) или Ethernet (STM32) обмен идёт по TCP/UDP, HTTP, WebSocket или MQTT, а ПК выступает как клиент или сервер.
  - **Специализированные ПК-приложения** – написанные на Python (с библиотекой pyserial), C#, Processing или Electron, они обеспечивают графический интерфейс для управления устройством.
- Таким образом, программирование и интеграция микроконтроллера с ПК – это не просто загрузка кода, а создание взаимодействующей системы, где микроконтроллер собирает данные и управляет физическим миром, а ПК обеспечивает визуализацию, хранение, анализ и человеко-машинный интерфейс.

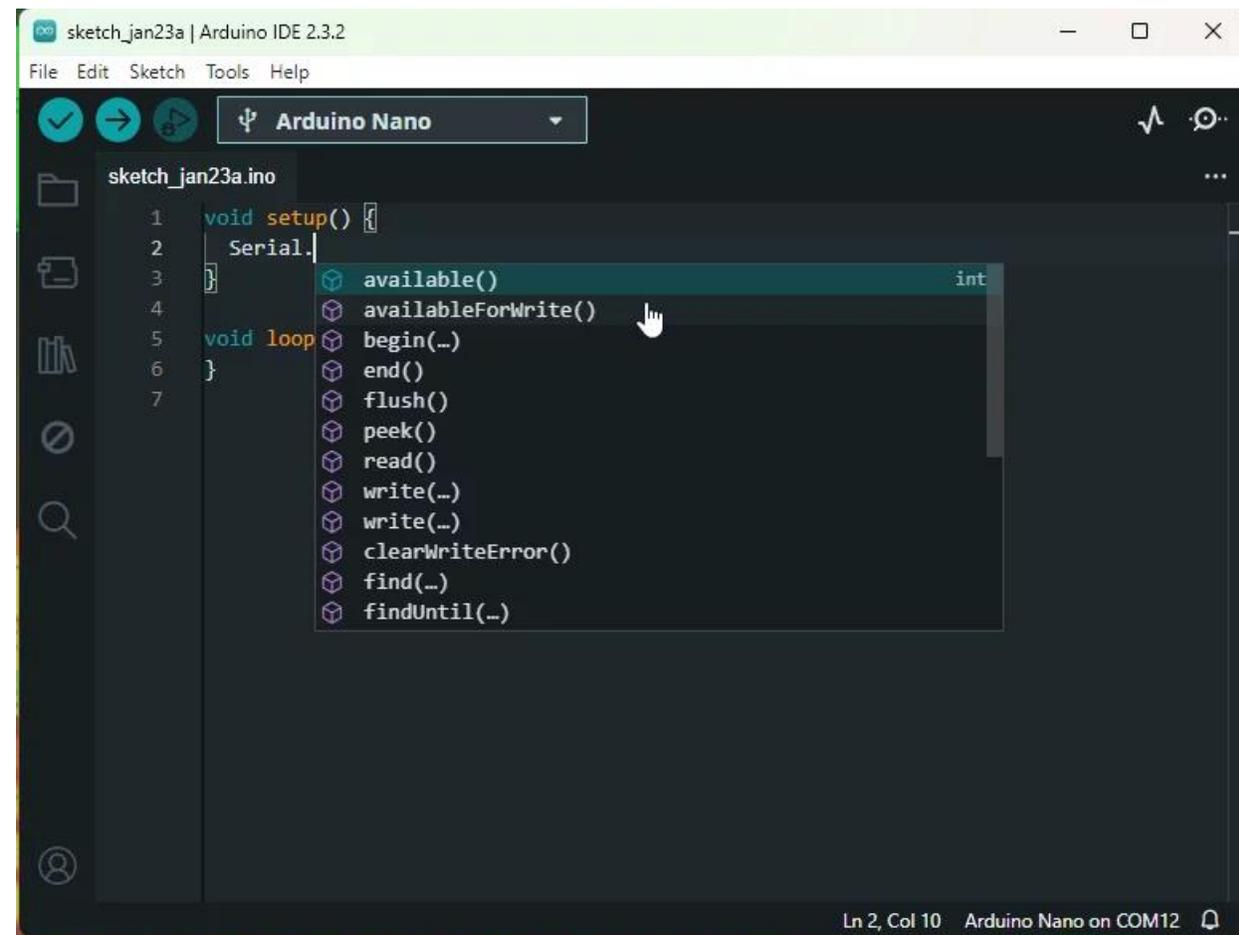
# IDE и утилиты

- Современная разработка для микроконтроллеров невозможна без удобных интегрированных сред разработки (IDE) и вспомогательных утилит, которые значительно упрощают написание, отладку и загрузку кода.
- Для начинающих и любителей особенно популярна **Arduino IDE** – простая, интуитивно понятная среда с минимальными настройками, поддерживающая широкий спектр плат, включая Arduino, ESP32 и ESP8266. Она включает встроенный монитор последовательного порта, менеджер библиотек и быструю компиляцию, что делает её идеальной для обучения и быстрого прототипирования. Однако её возможности ограничены при работе с крупными проектами или низкоуровневой периферией.
- Для более профессиональной и гибкой разработки всё чаще используется **PlatformIO**, интегрируемая в редактор **Visual Studio Code**. Эта среда поддерживает десятки архитектур – от 8-битных AVR до 32-битных STM32 и ESP32 – и предоставляет мощные инструменты: управление зависимостями, unit-тестирование, удалённую отладку и поддержку CI/CD. PlatformIO особенно ценится за чёткую структуру проекта и возможность легко переключаться между платформами, что делает её отличным выбором как для хобби-проектов, так и для промышленной разработки.

# IDE и утилиты: Arduino IDE



Arduino IDE v1



Arduino IDE v2

Официальный сайт <https://www.arduino.cc/en/software/>

# IDE и утилиты: VS Code + PlatformIO

The screenshot displays the Visual Studio Code interface with the PlatformIO IDE extension page. The main content area shows the extension details for PlatformIO IDE v2.5.5, including its description, version, and a list of supported platforms and frameworks. The right sidebar shows the extension's categories and resources.

**PlatformIO IDE v2.5.5**  
PlatformIO | 2,876,269 | ★★★★★ (2751)  
Professional development environment for Embedded, IoT, Arduino, CMSIS, ESP-IDF, FreeRTOS, libOpenCM3, ...

**PlatformIO IDE for VSCode**  
PlatformIO is a professional collaborative platform for embedded development.

**A place where Developers and Teams have true Freedom! No more vendor lock-in!**

- Open source, maximum permissive Apache 2.0 license
- Cross-platform IDE and Unified Debugger
- Static Code Analyzer and Remote Unit Testing
- Multi-platform and Multi-architecture Build System
- Firmware File Explorer and Memory Inspection.

**Platforms:** Atmel AVR, Atmel SAM, Espressif 32, Espressif 8266, Freescale Kinetis, Infineon XMC, Intel ARC32, Intel MCS-51 (8051), Kendryte K210, Lattice iCE40, Maxim 32, Microchip PIC32, Nordic nRF51, Nordic nRF52, NXP LPC, RISC-V, Samsung ARTIK, Silicon Labs EFM32, ST STM32, ST STM8, Teensy, TI MSP430, TI Tiva, WIZNet W7500

**Frameworks:** Arduino, ARTIK SDK, CMSIS, ESP-IDF, ESP8266 RTOS SDK, Freedom E SDK, Kendryte Standalone SDK, Kendryte FreeRTOS SDK, libOpenCM3, mbed, PULP OS, Pumbaa, Simba, SPL,

**Categories:** Programming Languages, Linters, Debuggers, Testing, Other

**Extension Resources:** Marketplace, Repository, License, PlatformIO

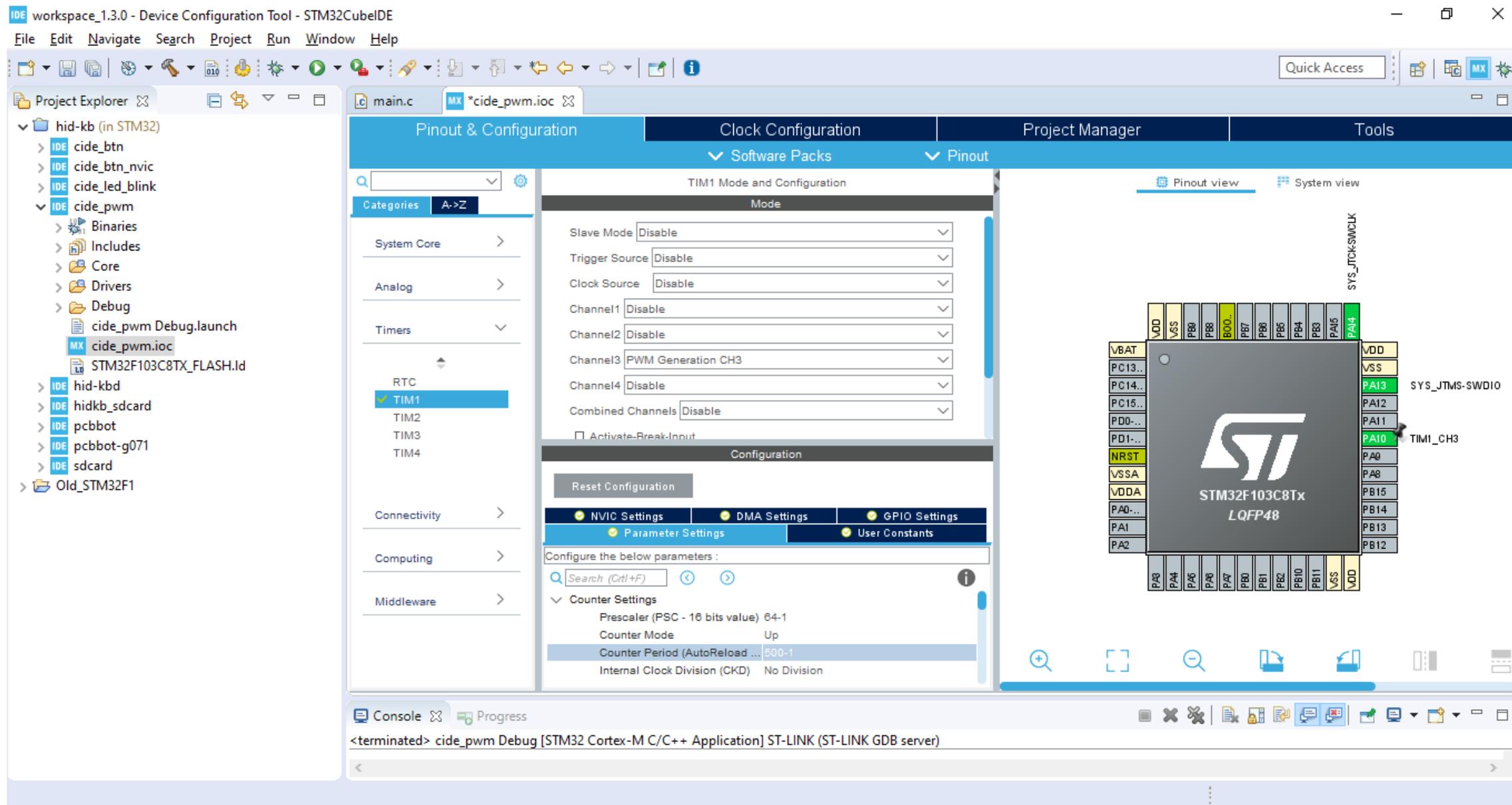
**More Info:** Released on 5/28/2017, 03:47:51; Last updated 11/1/2022, 02:46:46; Identifier platformio.platformio-ide

# IDE и утилиты

- Официальные производители микроконтроллеров также предоставляют собственные IDE. Например, **STM32CubeIDE** от STMicroelectronics объединяет графический конфигуратор **STM32CubeMX** с полноценной средой на базе Eclipse. С её помощью можно визуально настроить тактирование, пины и периферийные модули, после чего автоматически генерируется шаблон кода на C с использованием HAL- или LL-библиотек.
- Аналогично, для чипов Espressif существует **ESP-IDF** – мощный фреймворк на основе FreeRTOS, который даёт полный контроль над Wi-Fi, Bluetooth, энергосбережением и другими функциями ESP32, особенно при разработке сложных IoT-устройств.
- Помимо IDE, важную роль играют вспомогательные утилиты. Для прошивки STM32 используется **STM32CubeProgrammer**, для ESP32 – консольная утилита esptool, а для отладки по последовательному порту – терминалы вроде **PuTTY**, **Tera Term** или встроенный **Serial Monitor**.
- При работе с отладчиками (ST-Link, J-Link) применяются **OpenOCD** и **GDB**. Эти инструменты, даже будучи консольными, обеспечивают точный контроль над процессом загрузки и отладки, что особенно важно при разработке надёжных и производительных встраиваемых систем.

# IDE и утилиты: STM32CubeIDE

Белорусско-Российский университет, Кафедра «Программное обеспечение информационных технологий»



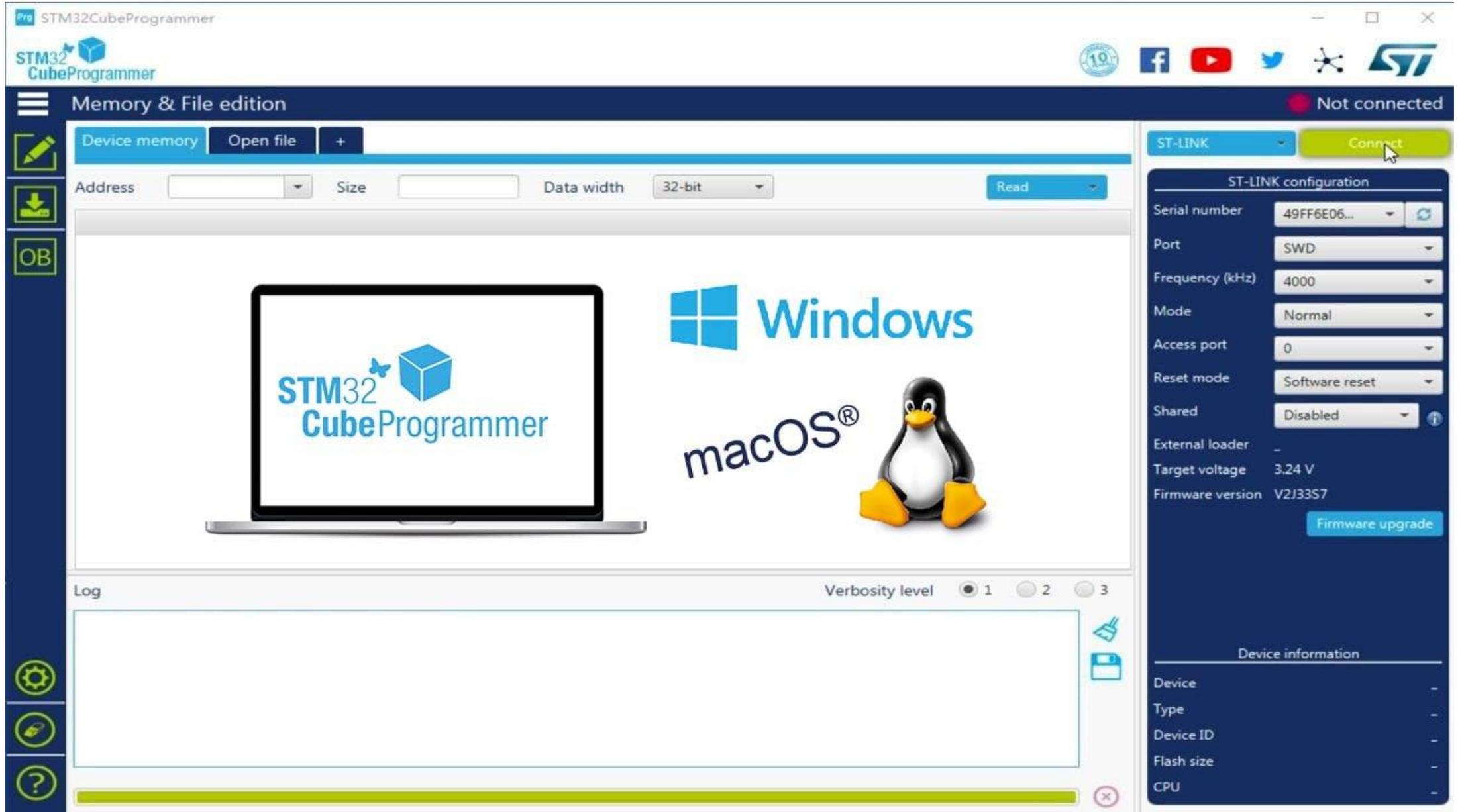
# IDE и утилиты: STM32CubeMX

The screenshot displays the STM32CubeMX IDE interface. The top menu bar includes File, Window, and Help. The breadcrumb navigation shows the current project is STM32F446RETx - NUCLEO-F446RE, with the active window being 'Untitled - Pinout & Configuration'. A 'GENERATE CODE' button is visible in the top right.

The main interface is divided into several sections:

- Pinout & Configuration:** This section is active and shows the configuration for a TIM1 timer. It includes a search bar, a 'Categories' list (System Core, Analog, Timers, Connectivity, Multimedia, Computing, Middleware), and a 'Mode' section with settings for Slave Mode, Trigger Source, and Clock Source, all set to 'Disable'. The 'Channel' settings are also visible, with Channel 1 set to 'Input Capture direct mode' and Channels 2 and 3 set to 'Disable'. A 'Configuration' section below has tabs for DMA Settings, GPIO Settings, Parameter Settings, User Constants, and NVIC Settings. A table at the bottom shows DMA settings for Request, Stream, Direction, and Priority.
- Pinout view:** This section shows a pinout diagram of the STM32F446RETx LQFP64 package. The pins are color-coded and labeled with their functions. Key pins include VDD, VSS, I2CL1, I2CL2, B00, PB7, PB6, PB5, PB4, PB3, SWO, PD2, PC12, PC11, PC10, PA15, PA14, TCK, VBAT, PC13, VSS, PA13, TMS, PA12, PA11, PA10, GPIO\_Input, PA9, GPIO\_Output, PA8, TIM1\_CH1, PC9, PC8, PC7, PC6, PC5, VSSA, VDDA, PA0, PA1, PA2, USART\_TX, PA3, VSS, VDD, PA4, PA5, PA6, PA7, PC4, PC5, PB0, PB1, PB2, PB10, VCA, VSS, and VDD.

# IDE и утилиты: STM32CubeProgrammer



# IDE и утилиты: SP-IDF

workspace - arduino\_as\_component/main/main.cpp - Espressif-IDE

File Edit Source Refactor Navigate Search Project Run Espressif Window Help

Run on: esp32

Project Explorer

- arduino\_as\_component [esp-idf-v4.4.2 v4.4.2 1b16ef6]
- Binaries
- Archives
- build
- components
  - arduino [master] Added Docs for Rainmaker (#726)
  - esp\_idf\_components
  - main
    - main.cpp
    - CMakeLists.txt
    - Kconfig.projbuild
    - CMakeLists.txt
    - dependencies.lock
    - LICENSE
    - README.md
    - sdkconfig

```
1 //file: main.c or main.cpp
2 #include "Arduino.h"
3
4 extern "C" void app_main()
5 {
6     initArduino();
7
8     // Arduino-like setup()
9     Serial.begin(115200);
10    while(!Serial){
11        ; // wait for serial port to connect
12    }
13
14    // Arduino-like loop()
15    while(true){
16        Serial.println("loop");
17    }
18
19    // WARNING: if program reaches end of function app_main() the MCU will restart.
20 }
21
```

Outline

- Arduino.h
  - app\_main(): void

Problems Tasks Console Properties

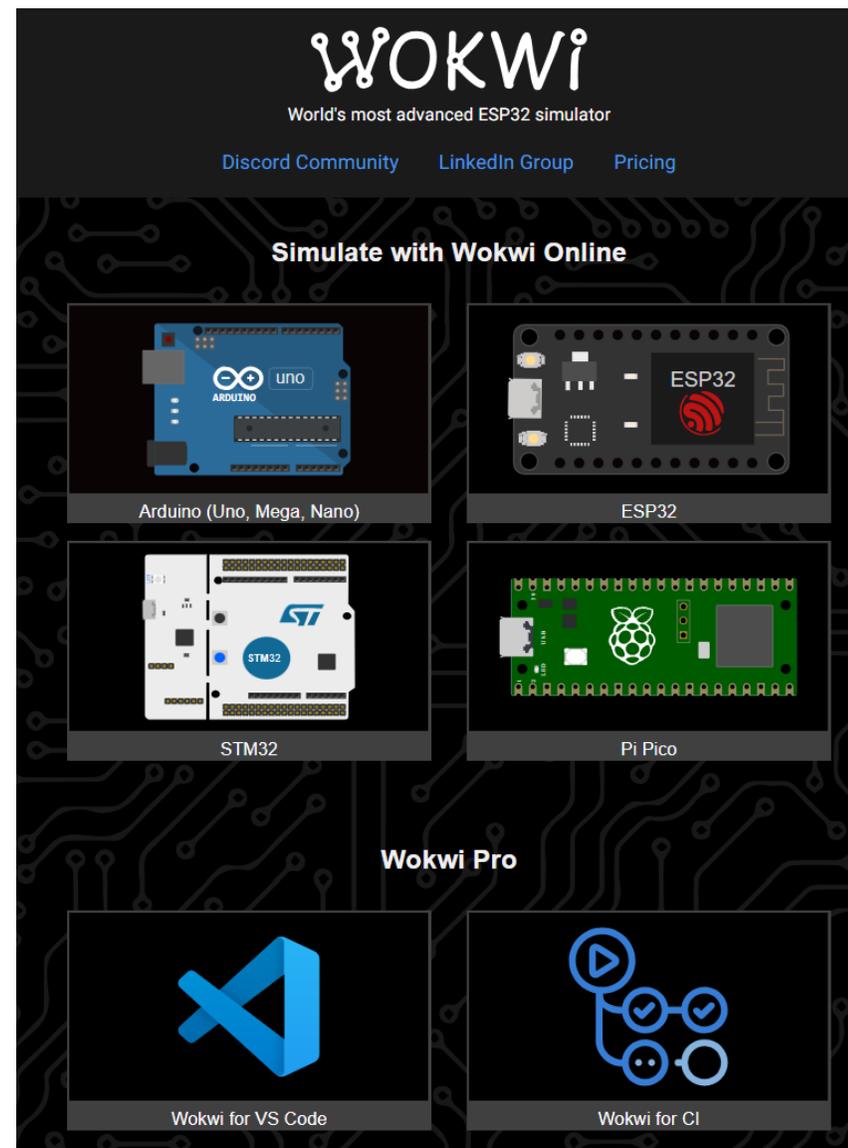
```
<terminated> arduino_as_component [ESP-IDF Application] C:\Espressif\python_env\idf4.4_py3.8_env\Scripts\python.exe C:\Espressif\frameworks\esp-idf-v4.4.2\tools\idf.py -p COM4 flash (Terminated 30-Oct-2022, 1:16:03 PM) [pid: 74]
Writing at 0x00008000... (100 %)
Wrote 3072 bytes (103 compressed) at 0x00008000 in 0.1 seconds (effective 409.8 kbit/s)...
Hash of data verified.

Leaving...
Hard resetting via RTS pin...
Executing action: flash
Running ninja in directory c:\espressif\frameworks\esp-idf-v4.4.2\workspace\arduino_as_component\build
Executing "ninja flash"...
Done
```

Writable Smart Insert 1:1:0

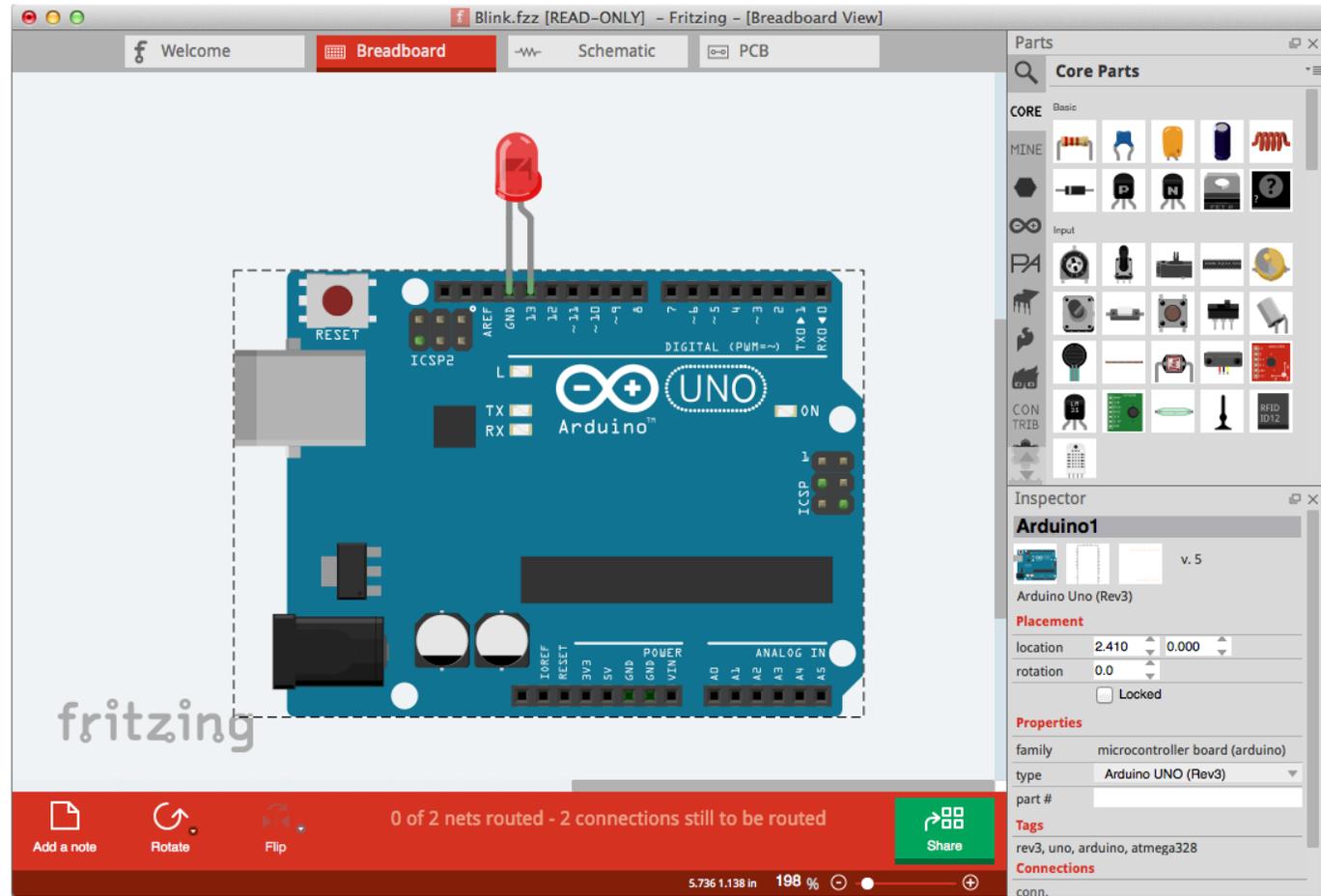
# Wokwi

- **Wokwi** – это онлайн-симулятор для разработки и тестирования проектов на микроконтроллерах прямо в браузере, без необходимости подключать физическое оборудование.
- Он поддерживает популярные платформы, такие как Arduino, ESP32, STM32, Raspberry Pi Pico и другие, позволяя писать код на C++, MicroPython или CircuitPython, подключать виртуальные датчики, дисплеи, кнопки и другие компоненты, а также в реальном времени наблюдать за поведением схемы. Wokwi особенно полезен для обучения, быстрого прототипирования, отладки логики и демонстрации проектов – всё, что нужно, это браузер и интернет-соединение.
- <https://wokwi.com>



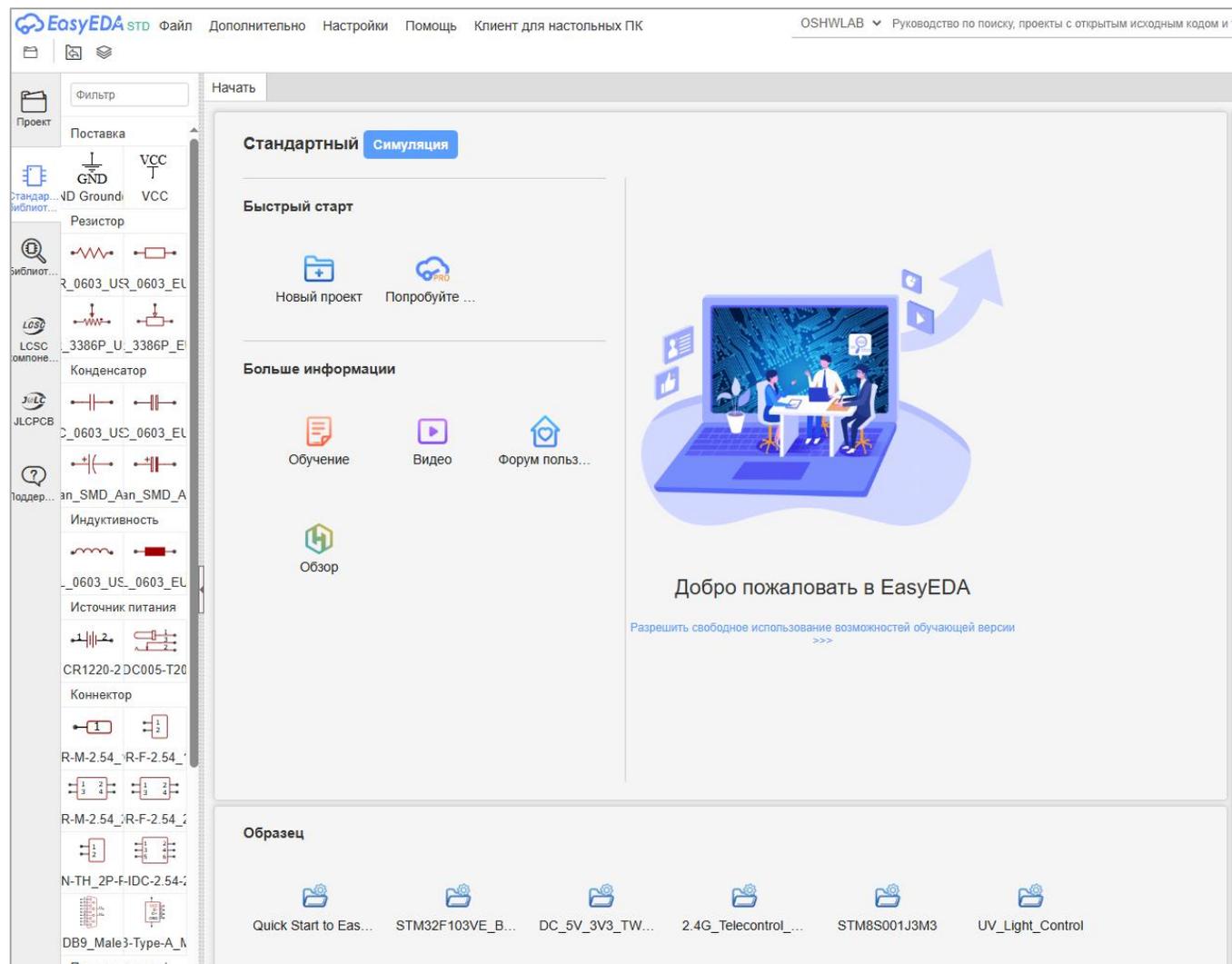
# Fritzing

- **Fritzing** – это бесплатная и открытая среда проектирования электронных схем, ориентированная в первую очередь на хобби-электронику и образовательные цели.
- Она позволяет визуально собирать прототипы на макетной плате, автоматически генерировать принципиальные схемы и даже создавать печатные платы (PCB) для последующего изготовления.
- Благодаря интуитивному интерфейсу и обширной библиотеке компонентов, Fritzing особенно популярен среди начинающих и педагогов, хотя для сложных промышленных проектов его возможностей может быть недостаточно.
- <https://fritzing.org/download/>



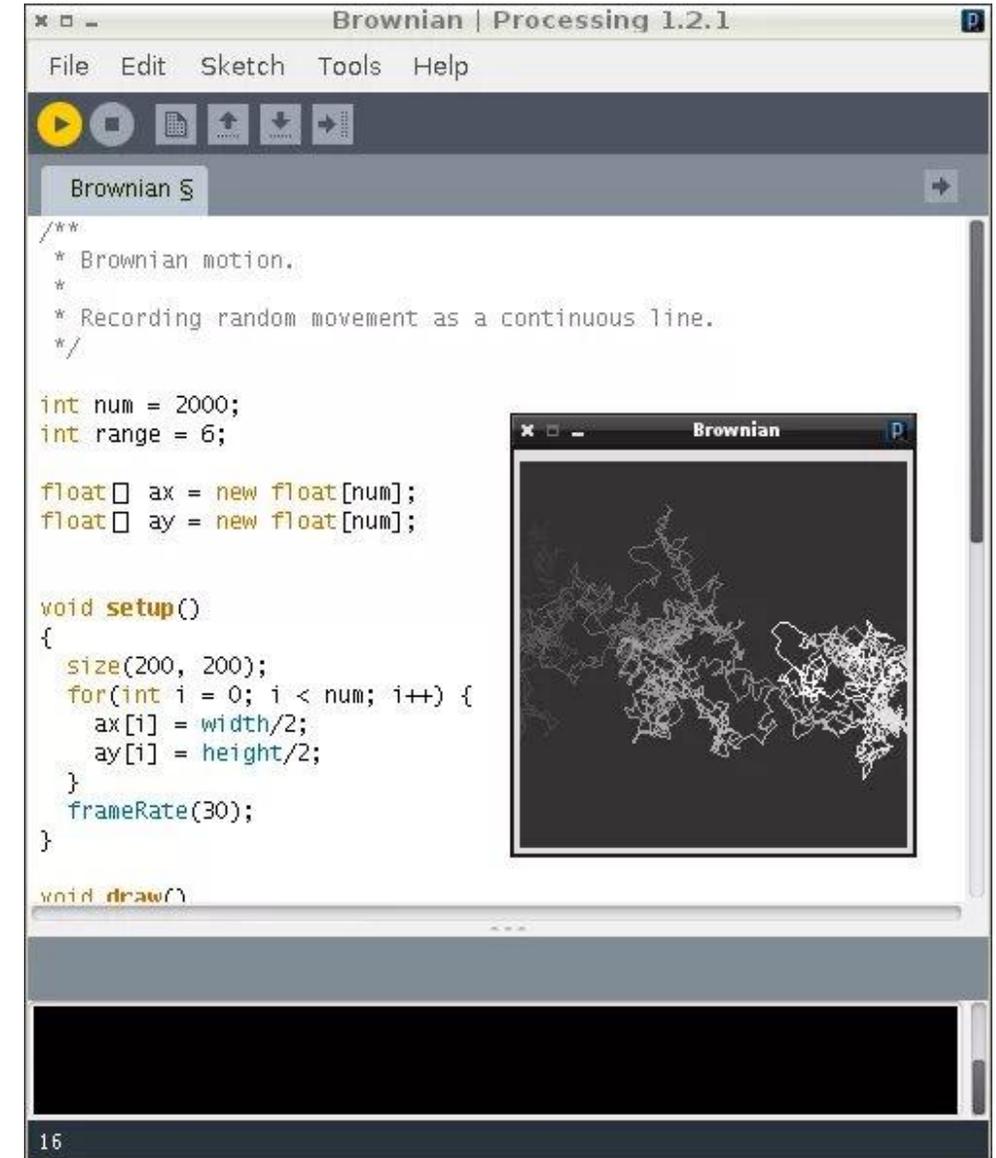
# EasyEDA

- **EasyEDA** – это облачная платформа для проектирования электроники, объединяющая в одном интерфейсе редактор схем, трассировщик печатных плат и симулятор.
- Работая прямо в браузере, EasyEDA предоставляет доступ к огромной базе готовых компонентов, включая модели от реальных производителей, и позволяет легко переходить от идеи к готовой плате, которую **можно заказать напрямую через интегрированный сервис JLCPCB**.
- Благодаря удобству, бесплатному доступу и тесной связи с производством, EasyEDA стал одним из самых популярных инструментов как среди любителей, так и среди профессионалов.
- <https://easyeda.com>
- <https://easyeda.com/editor>



# Fritzing

- **Processing** – это гибкая среда программирования и визуализации, изначально созданная для художников, дизайнеров и новичков в коде, но получившая широкое применение и в инженерной среде.
- Она позволяет быстро создавать графические приложения, анимации и интерактивные интерфейсы на языке, похожем на Java.
- В контексте микроконтроллеров Processing часто используется для разработки ПК-приложений, **которые визуализируют данные с Arduino** или других плат через последовательный порт (например, графики датчиков, визуализация звука, управление роботами), что делает его отличным инструментом для создания человеко-машинного интерфейса без глубоких знаний в desktop-разработке.
- <https://processing.org>
- <https://processing.org/download>



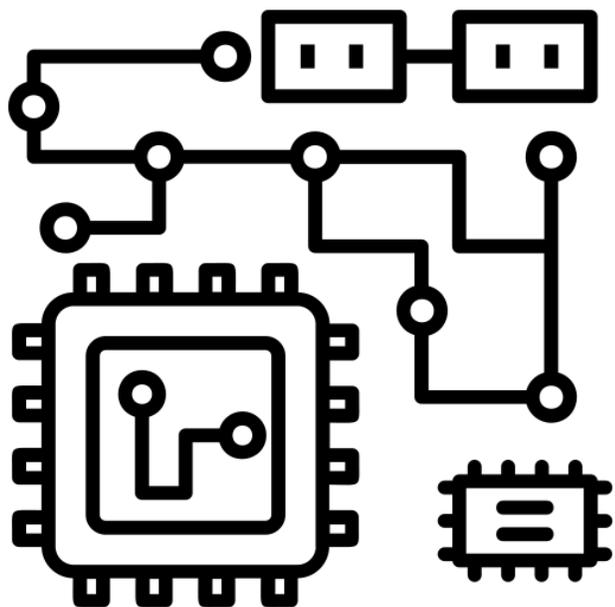
```
File Edit Sketch Tools Help
Brownian §
/**
 * Brownian motion.
 *
 * Recording random movement as a continuous line.
 */

int num = 2000;
int range = 6;

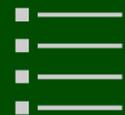
float[] ax = new float[num];
float[] ay = new float[num];

void setup()
{
  size(200, 200);
  for(int i = 0; i < num; i++) {
    ax[i] = width/2;
    ay[i] = height/2;
  }
  frameRate(30);
}

void draw()
```



# Одноплатные компьютеры



# AAEON UP 710S



**Процессор:** Intel Processor N97, четырехъядерный, до 3,6 ГГц, кэш 6 МБ; графика Intel UHD 12-го поколения, 24 исполнительных блока, 1,2 ГГц; опции: Intel N50, N100, N200; TDP: 12 Вт.

**Оперативная память:** до 8 ГБ LPDDR5.

**Хранилище:** до 128 ГБ встроенной флэш-памяти eMMC; 256 Мбит флэш-памяти для BIOS/UEFI.

**Видеовыход:** HDMI 1.4b, поддержка до 4Kp30.

**Сетевые возможности:** Gigabit Ethernet RJ45 (Realtek RTL8111H), разъем M.2 2230 Key-E для Wi-Fi/Bluetooth.

**USB-порты:** три порта USB 3.2 Gen 2 Type-A, 10-контактная пластина с 2 USB 2.0 + UART.

**Расширение ввода-вывода:** 8-контактная пластина с 2 I2C, 2 PWM (3,3 В), 10-контактная пластина с 2 SPI (3,3 В), 10-контактная пластина с 8 GPIO, 10-контактная пластина для RS-232/422/485 COM.

**Безопасность:** встроенный TPM 2.0.

**Питание:** Вход: 12 В постоянного тока, до 5 А, тип: AT (по умолчанию) / ATX, потребляемая мощность: 30–36 Вт.

**Габариты:** 85 x 56 мм, толщина до 25,13 мм.

**Вес:** 150 г.

**Диапазон температур:** 0°C ~ 60°C.

**Влажность:** 0% ~ 90%, без конденсации.

**MTBF:** 685 218 часов.

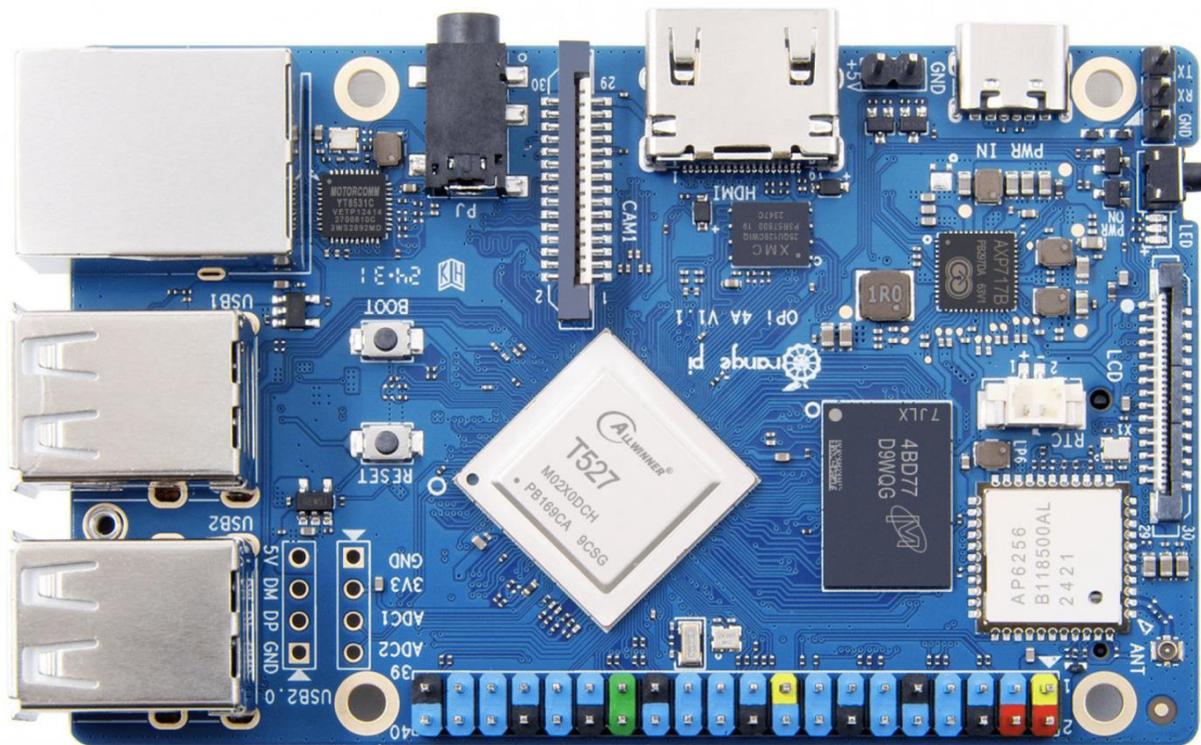
**Сертификаты:** CE/FCC Class A, RoHS, REACH.

UP 710S – одноплатный компьютер размером с кредитную карту, предназначенный для разработчиков и встраиваемых систем. Он оснащен процессором Intel серии N, разработчики предусмотрели разнообразные интерфейсы для подключения периферийных устройств. Выпущен девайс в ноябре 2024 года.

UP 710S сочетает компактные размеры и высокую производительность, что делает его идеальным для использования в робототехнике и смежных областях. Плата поддерживает подключение модулей Wi-Fi и Bluetooth через разъем M.2 E-Key, а также предоставляет доступ к интерфейсам GPIO, I2C, SPI и COM через специальные пластины. А это означает гибкость в разработке и интеграции различных периферийных устройств.

Благодаря процессорам Intel серии N (N50, N97, N100 или N200) и поддержке до 8 ГБ оперативной памяти LPDDR5, UP 710S обеспечивает достаточную производительность для различных приложений. Компактный дизайн и разнообразие интерфейсов делают эту плату универсальным решением для разработчиков и инженеров.

# Orange Pi 4A



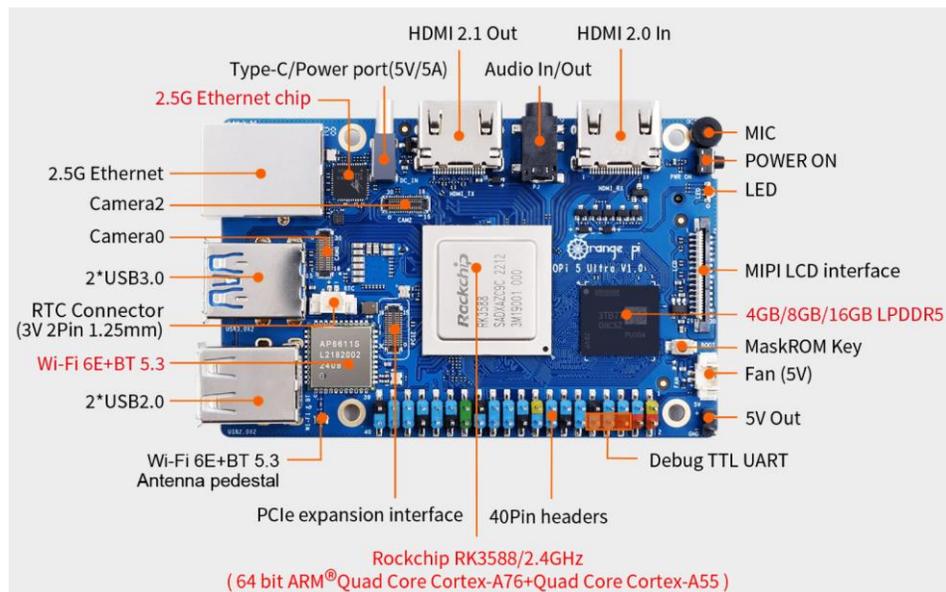
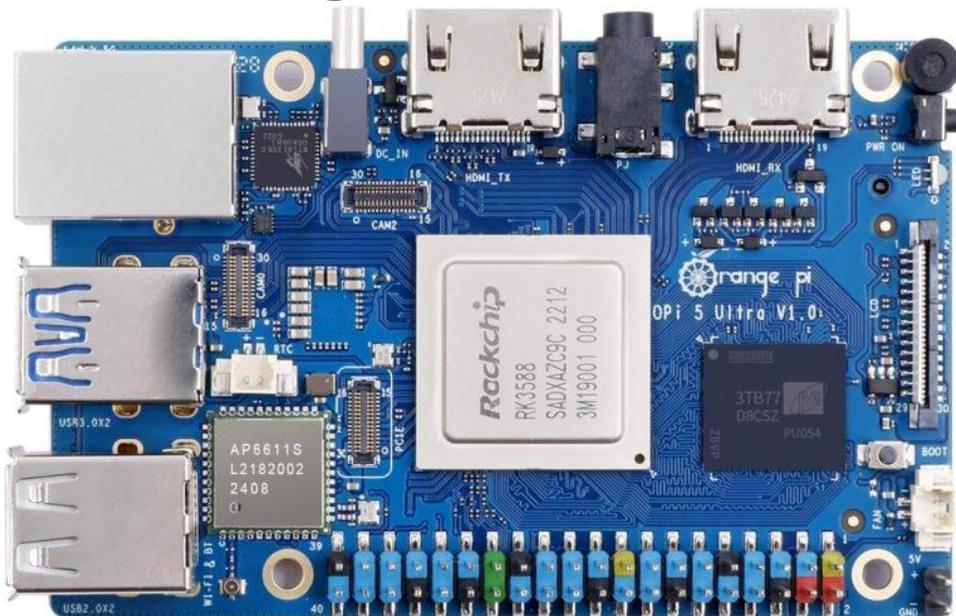
- **Центральный процессор:** Allwinner T527
- **Графический процессор:** Mali-G57 MC1
- **Нейронный процессор:** 2 TOPS
- **Оперативная память:** 2 / 4 ГБ LPDDR5
- **Хранилище:** до 128 ГБ eMMC, M.2 (PCIe 2.0)
- **Поддерживаемые ОС:** Ubuntu, Debian, Android 13
- **Размеры:** 89×56 мм

Компания Orange Pi, специализирующаяся на встраиваемых вычислительных системах, выпустила одноплатный компьютер Orange Pi 4A, созданный на базе 8-ядерного процессора Allwinner T527 с iGPU Mali-G57 MC1 и нейронным сопроцессором производительностью 2 TOPS для рабочих нагрузок искусственного интеллекта. В зависимости от выбранного варианта, плата может быть оснащена 2 ГБ или 4 ГБ оперативной памяти LPDDR4.

Компактный одноплатный компьютер оснащен гигабитным разъемом Ethernet, четырьмя портами USB Type-A, выходом HDMI 2.0 4K@60Гц, а также встроенным DisplayPort 1.3 и 4-полосным и последовательным интерфейсом дисплея MIPI (DSI). Еще есть разъем 3,5 мм для аналогового звука, один 2-полосный и один 4-полосный интерфейс камеры MIPI (CSI), слот M.2 M-Key PCI Express Gen.2, место для модуля eMMC и карты microSD.

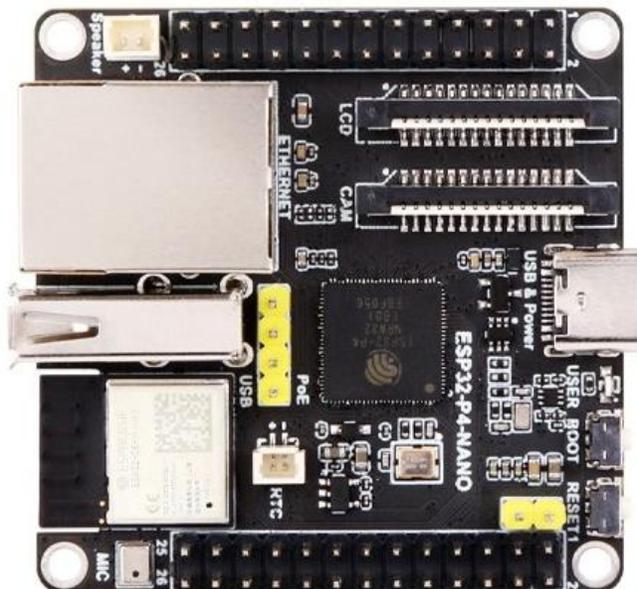
Наконец, на плате есть модуль Wi-Fi 5 и Bluetooth 5.0 (LE), 40-контактный разъем ввода-вывода общего назначения (GPIO) и выделенный 4-контактный разъем для двух каналов аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Orange Pi 4A поддерживает различные операционные системы, включая Linux (Armbian, Ubuntu, Debian) и Android, так что пользователи могут выбирать ту, которая наиболее подходит для их задач.

# Orange Pi 5 Ultra



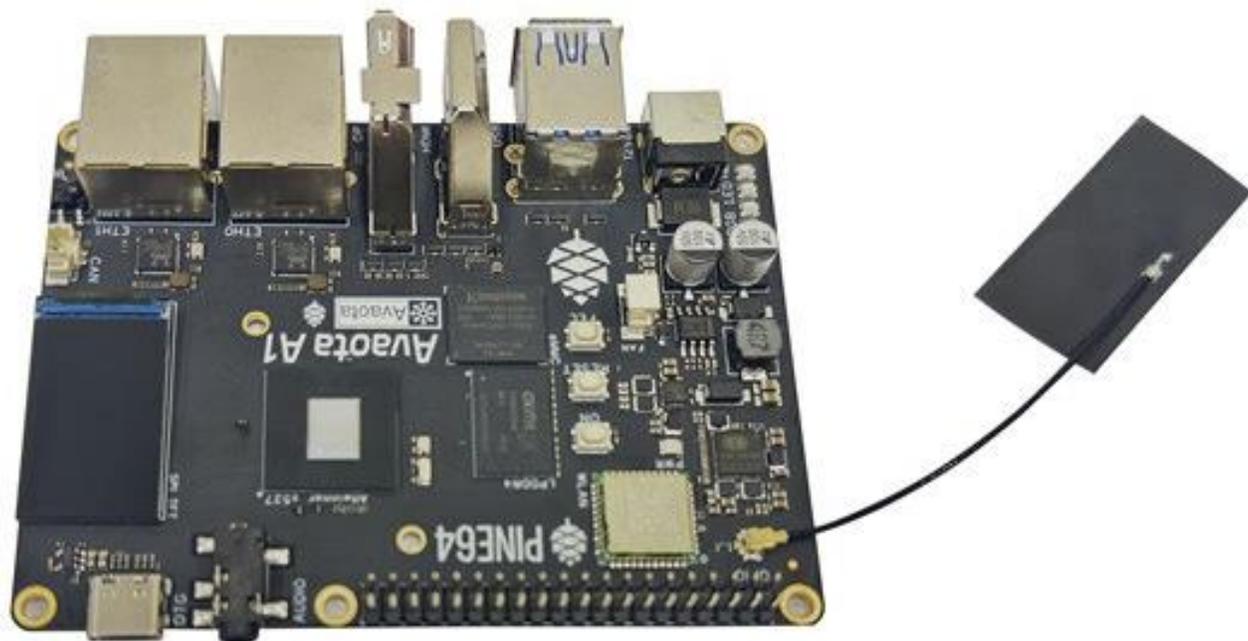
- **Процессор:** Rockchip RK3588; четыре ядра Cortex-A76 (до 2,4 ГГц) и четыре ядра Cortex-A55 (до 1,8 ГГц).
- **Графика:** ARM Mali-G610 MP4; поддержка OpenGL ES 3.2 и Vulkan 1.2.
- **Нейронный процессор (NPU):** Производительность до 6 TOPS.
- **Оперативная память:** 4 ГБ, 8 ГБ или 16 ГБ LPDDR5.
- **Встроенная память:** eMMC до 256 ГБ, слот microSD для расширения, разъем M.2 2280 для SSD (PCIe 3.0 x4).
- **Сетевые возможности:** 2,5 Гбит/с Ethernet (RTL8125BG), Wi-Fi 6E и Bluetooth 5.3 (AP6611S).
- **Порты и разъемы:** 2 × USB 3.0, 2 × USB 2.0, HDMI 2.1 (выход) до 8K@60FPS, HDMI 2.0 (вход) до 4K@60FPS, 3,5 мм аудиоразъем с микрофоном, 40-контактный GPIO (UART, I2C, SPI, CAN, PWM), 2 × MIPI CSI (4 линии), MIPI DSI (4 линии).
- **Питание:** через USB Type-C, 5 В @ 5 А.
- **Размеры:** 89 мм × 57 мм.
- **Вес:** 60,5 г.
- **Операционные системы:** Orange Pi OS (Android, Arch, OpenHarmony), Ubuntu 20.04/22.04, Debian 11/12, OpenWrt, Android 13.

# Waveshare ESP32-P4-NANO



- **Процессор:** двухъядерный 32-битный RISC-V процессор (HP-система) с частотой до 400 МГц, одноядерный 32-битный RISC-V процессор (LP-система) с частотой до 40 МГц.
- **Память:** 128 КБ ROM (HP-система), 16 КБ ROM (LP-система), 768 КБ L2 SRAM (HP-система), 32 КБ SRAM (LP-система), 8 КБ TCM, 32 МБ PSRAM, 16 МБ Nor Flash.
- **Интерфейсы:** MIPI-CSI (камера), MIPI-DSI (дисплей), USB 2.0 OTG, Ethernet 100 Мбит/с, SDIO 3.0 (слот для TF-карты), SPI, I2S, I2C, LED PWM, MCPWM, RMT, ADC, UART, TWAITM.
- **Беспроводная связь:** модуль ESP32-C6-MINI-1 для Wi-Fi 6 и Bluetooth 5 через интерфейс SDIO.
- **Аудио:** встроенный микрофон, интерфейс для подключения динамика.
- **Порты и разъемы:** порт USB Type-C для питания и программирования, порт USB Type-A (USB 2.0 OTG), разъем Ethernet RJ45, слот для TF-карты (SDIO 3.0), два 13-контактных разъема GPIO (всего 28 программируемых GPIO), разъем для батареи RTC.
- **Питание:** через USB Type-C или PoE (при установке соответствующего модуля).
- **Размеры:** 50 мм × 50 мм.
- **Безопасность:** безопасная загрузка (Secure Boot), шифрование Flash-памяти, аппаратные криптографические ускорители, генератор случайных чисел (TRNG).

# Yuzuki Avaota-A1



- **Процессор:** восьмиядерный ARM Cortex-A55 с частотой до 1,8 ГГц; 32-битный RISC-V XuanTie E906 с частотой 200 МГц.
- **Графика:** Mali-G57, поддержка OpenGL ES 3.2 и Vulkan 1.2.
- **Нейронный процессор (NPU):** до 2 TOPS.
- **Оперативная память:** 1 ГБ, 2 ГБ или 4 ГБ LPDDR4/4X.
- **Встроенная память:** eMMC 5.1 объёмом 16 ГБ, 32 ГБ, 64 ГБ или 128 ГБ; слот для карт microSD.
- **Сетевые возможности:** 2 × гигабитный Ethernet (Realtek RTL8211F), Wi-Fi 6 (2,4 ГГц и 5 ГГц), Bluetooth 5.4
- **Порты и разъемы:** 1 × USB 3.0 OTG, 1 × USB 2.0 HOST, 1 × USB 2.0 Type-C OTG, HDMI 2.0, DisplayPort, 3,5 мм аудиоразъем, 40-контактный GPIO (I2C, SPI, UART), MIPI-CSI для камеры, MIPI-DSI для дисплея.
- **Питание:** 12 В, 2 А через разъем постоянного тока.
- **Размеры:** 100 мм × 75 мм × 24 мм.
- **Операционные системы:** Linux (различные дистрибутивы), Android.

Одноплатный компьютер, разработанный компанией YuzukiHD и выпущенный в 2024 году. Он предназначен для различных встраиваемых приложений, требующих высокой производительности и широких возможностей подключения. Плата совместима с различными операционными системами, включая Linux и Android, что делает ее универсальной платформой для разработки и внедрения встраиваемых решений.

# Radxa Cubie A5E

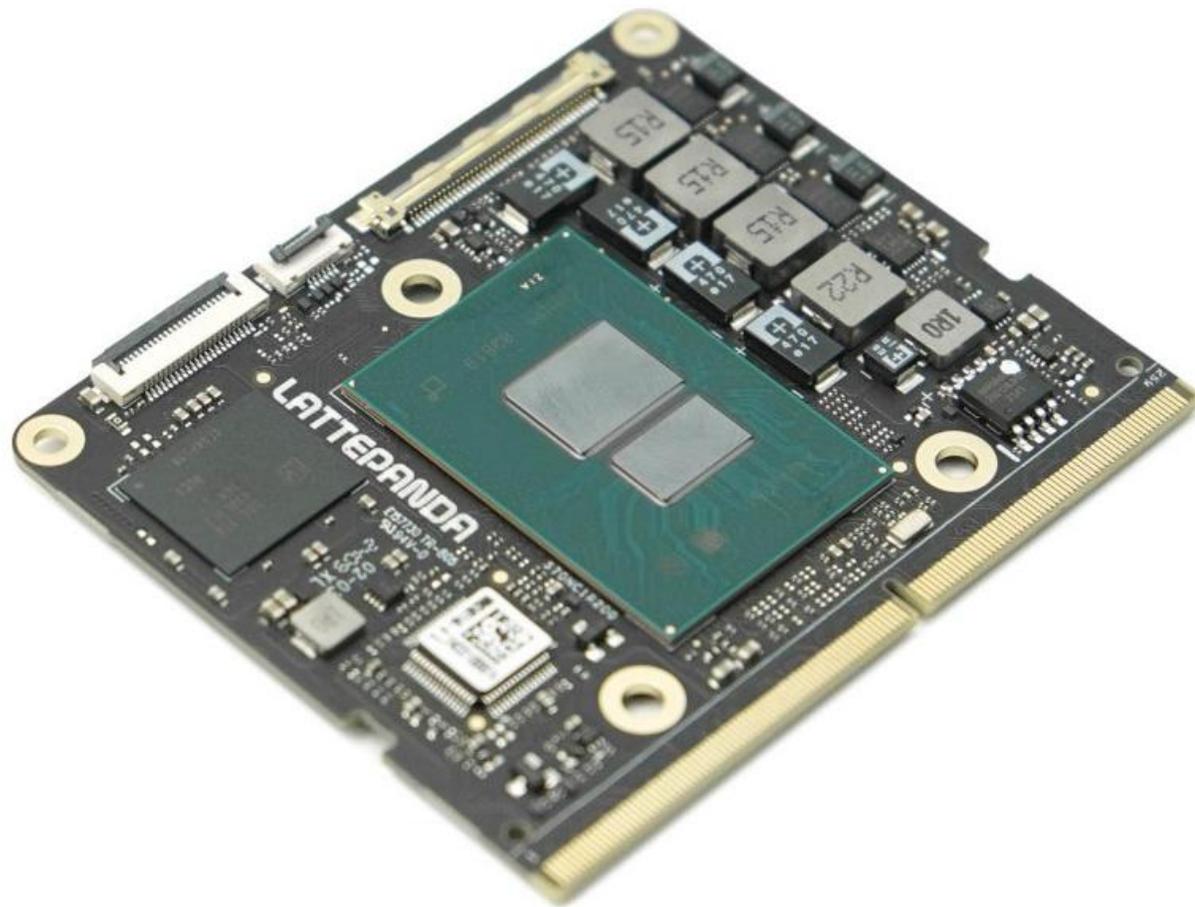


- **Процессор:** Allwinner A527 (4 × Cortex-A55 до 2 ГГц и 4 × Cortex-A55 до 1,42 ГГц); дополнительно: XuanTie E906 (RISC-V).
- **Оперативная память:** 1 ГБ, 2 ГБ или 4 ГБ LPDDR4-2400.
- **Хранилище:** microSD, M.2 2230 (PCIe Gen 2 x1 NVMe), eMMC (16 ГБ, 32 ГБ, 64 ГБ или 128 ГБ), 8 МБ SPI Flash.
- **Сетевые возможности:** 2 × Gigabit Ethernet, Wi-Fi 6, Bluetooth 5.4.
- **Порты и разъемы:** 1 × HDMI 2.0a, 1 × USB 2.0 Type-C OTG, 1 × USB 3.0 Type-A, 40-контактный GPIO, 1 × MIPI-DSI (4 линии), 1 × MIPI-CSI (4 линии).
- **Питание:** 5 В / 4 А через USB Type-C, PoE (Power over Ethernet).
- **Размеры:** 69 x 56 мм.

Radxa Cubie A5E – одноплатный компьютер, разработанный компанией Radxa и выпущенный в январе 2025 года. Устройство сочетает компактные размеры (69 x 56 мм) и неплохую производительность.

Radxa Cubie A5E оснащен восьмиядерным процессором ARM Cortex-A55, разделенным на два кластера, и дополнительным ядром XuanTie E906 RISC-V для запуска RTOS. Плата поддерживает до 4 ГБ оперативной памяти, а также различные варианты хранилища, включая microSD, M.2 2230 и eMMC. Среди ее преимуществ – наличие двух Ethernet-портов, Wi-Fi 6, Bluetooth 5.4 и множества интерфейсов для подключения периферийных устройств, таких как HDMI, USB и GPIO.

# LattePanda Mu SoM

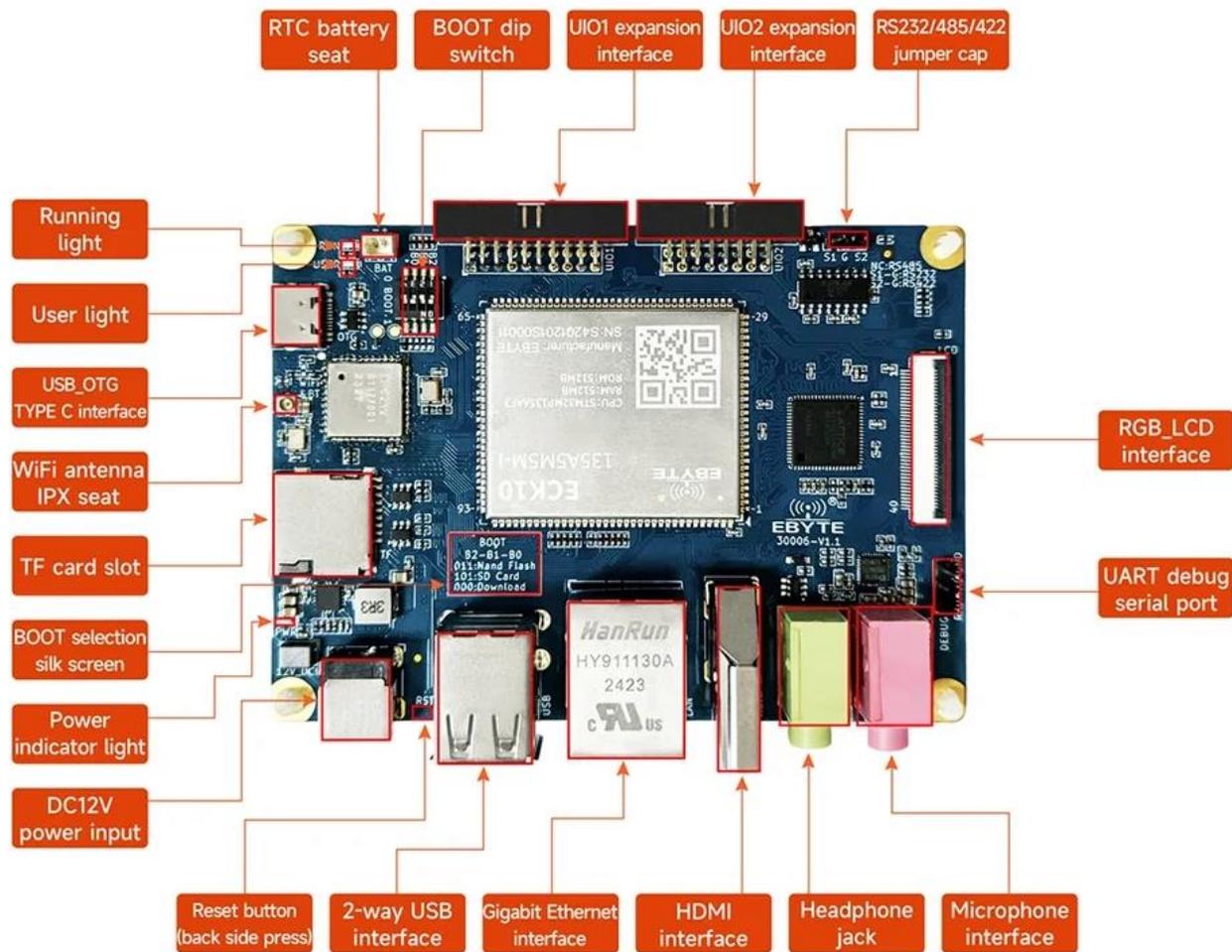


- **Процессор:**
  - Intel N100 (4 ядра до 3,4 ГГц, TDP 6 Вт);
  - Intel Core i3-N305 (8 ядер до 3,8 ГГц, TDP 15 Вт).
- **Системная память:** 8 ГБ или 16 ГБ LPDDR5-4800 с IBESCC.
- **Хранилище:** 64 ГБ eMMC 5.1.
- **Порты и интерфейсы:** До 9 линий PCIe Gen3, 2 интерфейса SATA III 6 Гбит/с, 1 × eDP 1.4 3 × HDMI 2.0 / DisplayPort 1.4, 4 × USB 3.2 Gen2, 8 × USB 2.0, 4 × UART, 4 × I2C, До 64 GPIO.
- **Размеры:** 69,6 × 60 мм.

LattePanda Mu SoM – это система на модуле (System-on-a-Module, SoM) от компании DFRobot, выпущенная в 2024 году. В январе 2025 появилась версия с восьмиядерным процессором Intel Core i3-N305, которая обеспечила более высокую производительность и улучшенную графику по сравнению с предыдущей моделью на базе Intel N100.

LattePanda Mu Core i3-N305 оснащен процессором Alder Lake-N с тактовой частотой до 3,8 ГГц и 32-юнитным графическим процессором Intel HD. Модуль поддерживает до 16 ГБ LPDDR5-4800 памяти с IBESCC и 64 ГБ eMMC-хранилища. Все интерфейсы доступны через краевой разъем SO-DIMM, включая 9 линий PCIe Gen3, два интерфейса SATA, HDMI, DisplayPort и 12 USB-портов. Плата совместима с Windows 11, Ubuntu 24.04 и другими ОС, а также поддерживает использование трех независимых дисплеев.

# ЕВУТЕ ЕСВ10

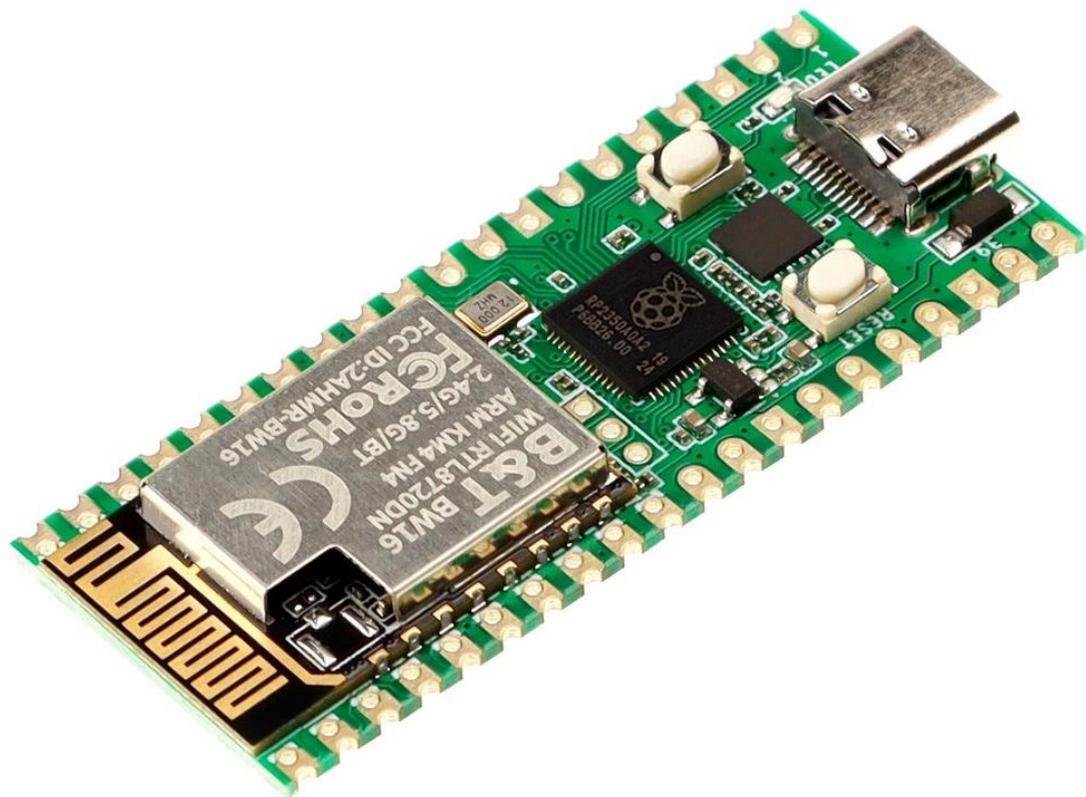


- **Процессор:** STM32MP135AAF3, одноядерный Cortex-A7, 650 МГц.
- **Системная память:** 512 МБ DDR3L.
- **Хранилище:** 512 МБ SLC NAND, слот microSD.
- **Сетевые возможности:** Gigabit Ethernet, WiFi 2,4 ГГц, Bluetooth через IPEX.
- **Интерфейсы отображения:** HDMI 2.0 до WXGA, RGB (1366×768, 60 Гц).
- **Аудио:** линейный выход 3,5 мм, разъем для микрофона 3,5 мм.
- **Порты и расширения:** 2 × USB 2.0 Type-A, 1 × USB Type-C OTG, UIO-разъемы с CAN-FD, RS485, GPIO и др.
- **Питание:** 12 В / 1 А.
- **Размеры:** 100 × 72 мм (Pico-ITX).
- **Диапазон температур:** от -40°C до +85°C.

Промышленный одноплатный компьютер формата Pico-ITX, представленный в январе 2025 года. Устройство разработано на базе процессорного модуля STM32MP135 EBYTE и предназначено для применения в умных домах, промышленной автоматизации и терминалах управления.

EBYTE ECV10-135A5M5M-1 оснащен процессором STM32MP135 с тактовой частотой до 650 МГц, 512 МБ оперативной памяти DDR3L и 512 МБ NAND флэш-памяти. Плата поддерживает вывод изображения через HDMI и RGB до разрешения WXGA (1366×768), имеет гигабитный Ethernet, WiFi, Bluetooth, а также множество интерфейсов расширения, включая CAN, RS485 и GPIO. SBC совместим с Linux BSP, предлагая платформу для разработки на базе Ubuntu 18.04 с XFCE.

# Pico W5

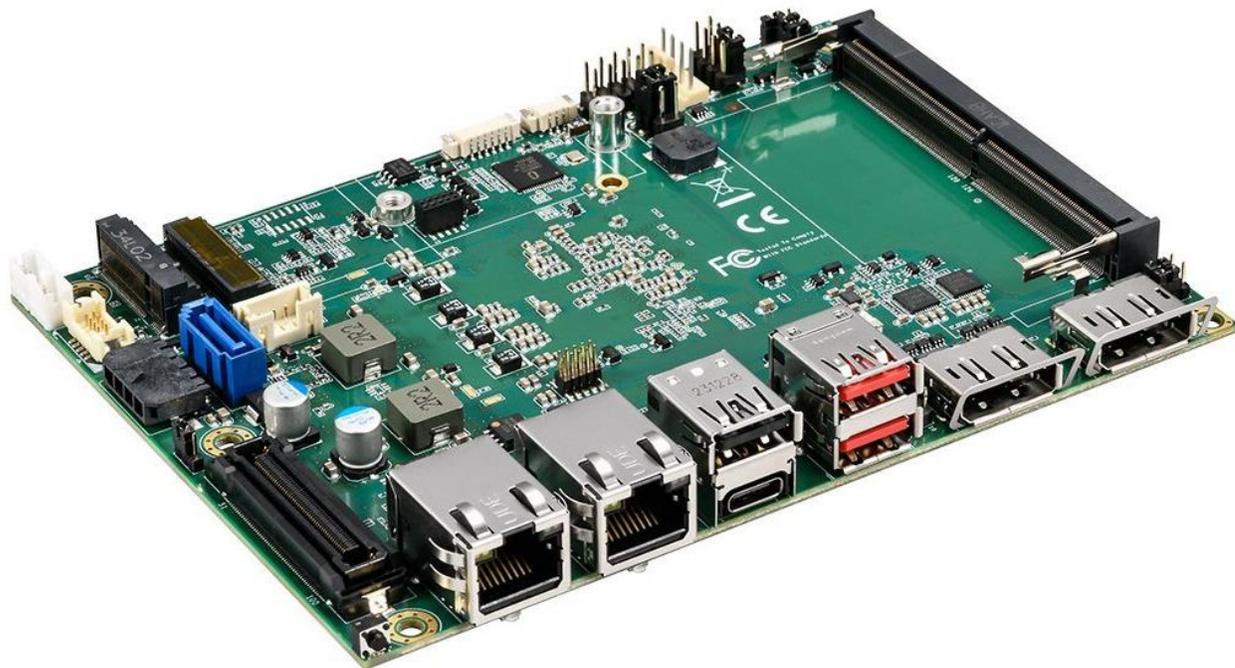


Одноплатный микроконтроллер на базе Raspberry Pi RP2350. Отличная альтернатива Raspberry Pi Pico 2 W, которая выделяется поддержкой WiFi 4 в двух диапазонах (2,4 ГГц и 5 ГГц), а также Bluetooth 5.0.

Pico W5 оснащен двухъядерным процессором Arm Cortex-M33 с тактовой частотой до 150 МГц и 8 МБ флэш-памяти QSPI. Одно из главных преимуществ – как раз 5 ГГц WiFi, что делает плату привлекательной для разработчиков, которым требуется быстрая беспроводная связь. Также у одноплатника USB Type-C разъем, что упрощает питание и программирование. Писать софт нужно на Arduino и MicroPython, что позволяет легко интегрировать устройство в IoT-проекты.

- **Процессор:**
  - Raspberry Pi RP2350,
  - двухъядерный Arm Cortex-M33 @ 150 МГц.
  - двухъядерный RISC-V Hazard3 @ 150 МГц.
- **Системная память:** 520 КБ встроенной SRAM.
- **Хранилище:** 8 МБ флэш-памяти QSPI.
- **Беспроводная связь:** WiFi 4 (2,4 ГГц/5 ГГц), Bluetooth 5.0 LE.
- **Порты и разъемы:** USB Type-C (питание и программирование), 26-контактный GPIO.
- **GPIO-функции:** 2 × UART, 2 × SPI-контроллера, 2 × контроллера I2C, 24 × PWM-канала, 4 × ADC, 3 блока PIO, 12 конечных автоматов PIO.
- **Отладка:** 3-контактный интерфейс SWD.
- **Питание:** 5 В через USB Type-C.
- **Размеры:** 51 × 21 мм.
- **Вес:** 3 г.

# Kontron 3.5"-SBC-AML/ADN



- **Процессор:** Intel Alder Lake-N,
- **Оперативная память:** до 32 ГБ DDR5,
- **Графика:** Встроенный графический процессор Intel,
- **Хранение данных:** Поддержка M.2 и SATA,
- **Порты:** 2× HDMI, 2× DisplayPort, USB 3.2, USB 2.0, RS232,
- **Сетевые интерфейсы:** 2× Gigabit Ethernet,
- **Дополнительные разъемы:** PCIe x4, M.2 Key B,
- **Энергопотребление:** Низкое (разработан для энергоэффективных решений),
- **Форм-фактор:** 3.5" SBC,
- **Операционные системы:** Windows 10/11, Linux.

Kontron 3.5"-SBC-AML/ADN – одноплатный компьютер форм-фактора 3,5 дюйма, разработанный компанией Kontron. Выпущен в феврале 2025 года. Заточен он под промышленные и встраиваемые решения, предлагая относительно высокую производительность при низком энергопотреблении.

Базируется этот мини-ПК основан на чипе Intel Alder Lake-N, что делает его отличным выбором для автоматизации, IoT, промышленных приложений и медицинских устройств. Благодаря поддержке до 32 ГБ DDR5 и разнообразным интерфейсам подключения, одноплатник обеспечивает гибкость для различных сценариев использования.

Поддержка M.2 и SATA, а также расширенные графические возможности делают его подходящим для работы с дисплеями в сфере цифровых табло, точек продаж и промышленных панелей.

# PocketBeagle 2



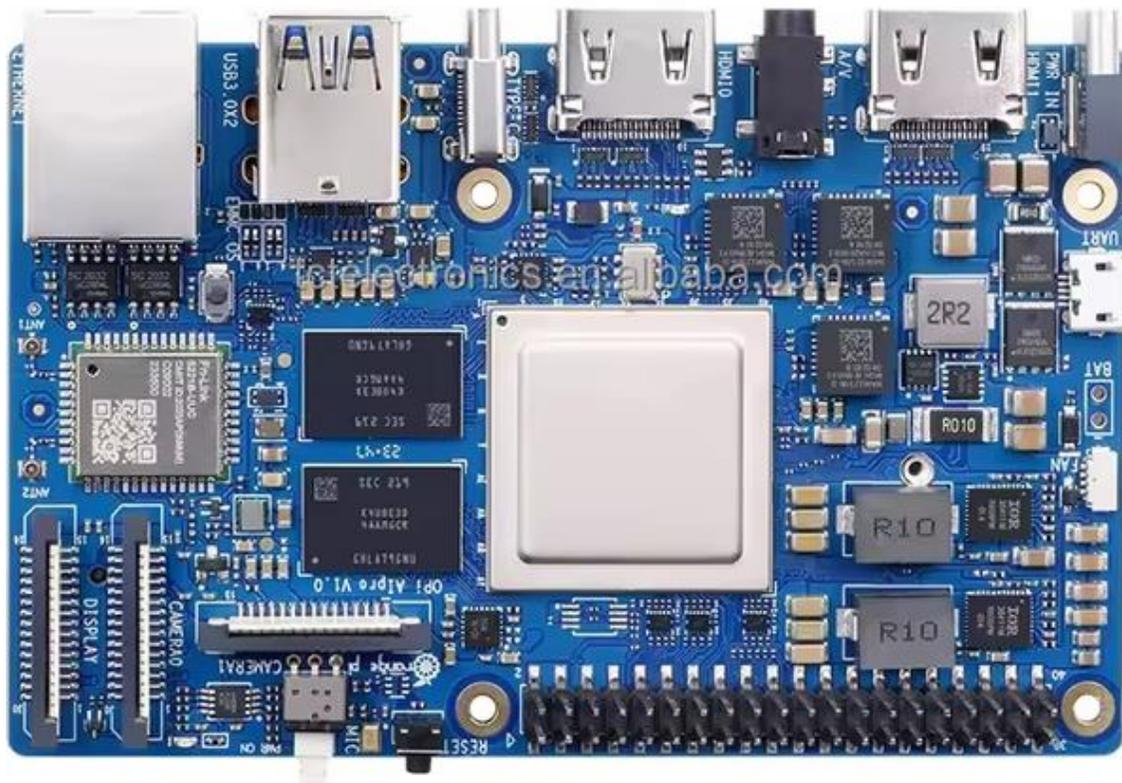
Одноплатный компьютер, разработанный компанией BeagleBoard. Он был представлен в феврале 2025 года и является обновленной версией оригинального PocketBeagle, выпущенного в 2017 году. Компьютер ориентирован на разработчиков, студентов и энтузиастов, предлагая улучшенную производительность и расширенные возможности для IoT-устройств, встраиваемых систем и автоматизации.

PocketBeagle 2 получил двухъядерный процессор Cortex-A53 (TI AM6232) и дополнительный микроконтроллер Cortex-M0+ (MSPM0L1105) для управления периферией и аналоговыми входами. Он поддерживает 512 МБ LPDDR4 RAM, слот для microSD-карт, а также обладает встроенным зарядным устройством для LiPo-аккумуляторов.

Благодаря компактным размерам (55 × 35 мм) и предустановленным разъемам GPIO, PocketBeagle 2 идеально подходит для проектов с ограниченным пространством. Также он оснащен USB-C для питания и передачи данных, 8 аналоговыми входами и 52 цифровыми входами/выходами, что расширяет его применение в системах управления, робототехнике и DIY-проектах.

- **Процессор:** Texas Instruments AM6232, 2× 64-битных ядра Arm Cortex-A53 @ 1,0 ГГц, 1× Cortex-M4F @ 400 МГц для задач реального времени,
- **Дополнительный микроконтроллер:** Texas Instruments MSPM0L1105 (Cortex-M0+, 32 МГц, 32 КБ флэш, 4 КБ RAM),
- **Оперативная память:** 512 МБ LPDDR4 @ 3200 МГц,
- **Хранилище:** слот для карт microSD (1,8 В и 3,3 В),
- **Графика:** нет встроенного GPU,
- **Порты:** 1× USB Type-C (питание и передача данных), 1× последовательный порт UART (совместим с Raspberry Pi Debug Probe),
- **GPIO и расширение:** 72-контактный разъем расширения, 8× аналоговых входов, 52× цифровых ввода-вывода, поддержка высокоскоростного USB, различные цифровые интерфейсы,
- **Отладка:** 10-контактный разъем JTAG TAG-CONNECT,
- **Энергопотребление:** 5 В/1 А через USB-C, поддержка питания от LiPo-аккумулятора,
- **Форм-фактор:** 55 × 35 мм,
- **Вес:** 12,7 грамма,
- **Операционные системы:** Debian 9.5 Stretch (с окружением LXQT), поддержка Linux.

# Orange Pi AIPro (8T)

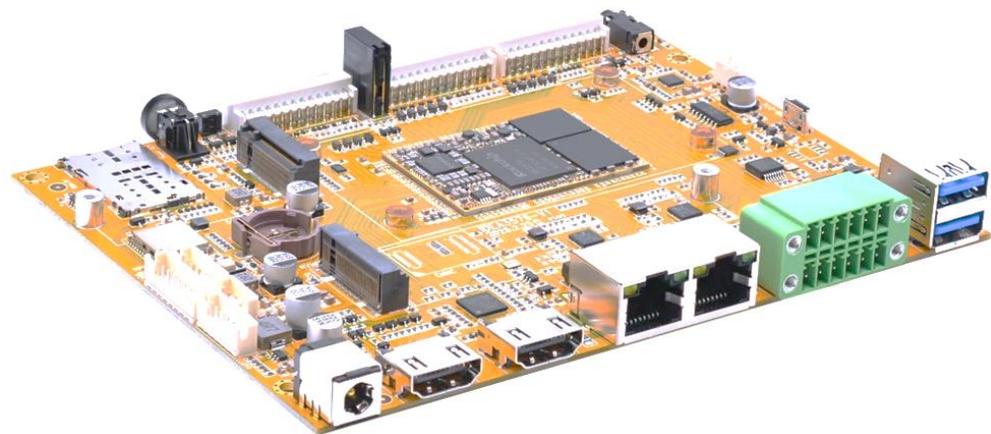


- **Процессор:** Huawei Ascend AI SoC (четырёхъядерный, 64-битный, вероятно Ascend 310B с Cortex-A76),
- **Графика:** Mali-G57,
- **Производительность AI:** до 8 TOPS (INT8), есть версия с 20 TOPS,
- **Оперативная память:** 8 ГБ или 16 ГБ LPDDR4X @ 3200 Мбит/с,
- **Хранилище:** 32 МБ SPI-флеш, разъем microSD, разъем eMMC (до 256 ГБ), M.2 Key-M 2280 (NVMe или SATA SSD),
- **Видеовыходы:** 2× HDMI 2.0 (до 4K@60Hz), 1× MIPI DSI FPC (двухполосный),
- **Камеры:** 2× MIPI CSI (совместимы с модулями Raspberry Pi),
- **Аудио:** 3,5 мм разъём для наушников и микрофона,
- **Сетевые интерфейсы:** 1× Gigabit Ethernet (RJ45), WiFi 5 и Bluetooth 4.2 (2 разъёма для антенн),
- **USB-порты:** 2× USB 3.0, 1× USB 3.0 Type-C, 1× micro USB (для консоли UART),
- **GPIO:** 40-контактный разъём,
- **Дополнительные разъемы:** кнопки питания и сброса, две «клавиши переключения режима загрузки», разъем вентилятора 12 В,
- **Питание:** USB-C (до 20 В, 65 Вт, PD), разъем для LiPo-аккумулятора (с поддержкой зарядки),
- **Форм-фактор:** 107 × 68 мм,
- **Вес:** 82 грамма,
- **Операционные системы:** Ubuntu, openEuler.

Одноплатник, разработанный компанией Orange Pi и ориентированный на задачи искусственного интеллекта, машинного обучения и высокопроизводительных вычислений. Он был официально представлен в феврале 2025 года. Одноплатник построен на 8-ядерной архитектуре Huawei Ascend AI SoC и поддерживает работу под управлением Ubuntu и openEuler.

Orange Pi AIPro (8T) получил четырехъядерный 64-битный процессор Huawei Ascend AI (вероятно, Ascend 310B с ядрами Cortex-A76) и графический процессор Mali-G57. Плата обеспечивает до 8 TOPS (INT8) вычислительной мощности, а также существует версия с 20 TOPS (INT8).

# Boardcon SBC3576

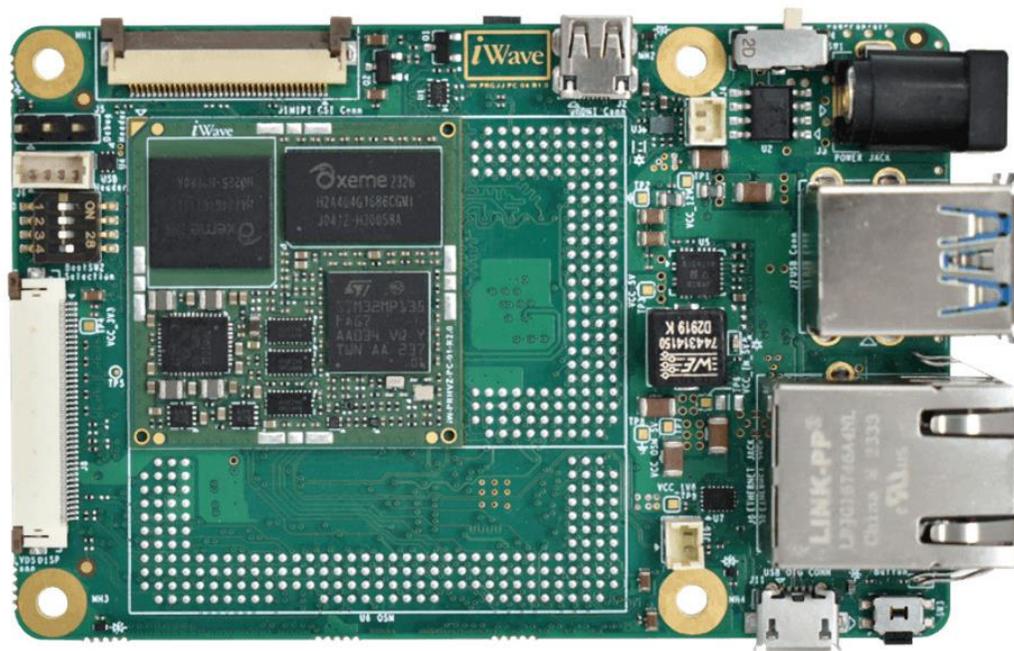


- **Процессор:** Rockchip RK3576, 4× Cortex-A72 @ 2,2 ГГц, 4× Cortex-A53 @ 1,8 ГГц, 1× Cortex-M0 @ 400 МГц (микроконтроллер),
- **Графика:** Mali-G52 MC3 (OpenGL ES 3.2, OpenCL 2.0, Vulkan 1.1),
- **Производительность AI:** 6 TOPS NPU (поддержка INT4/INT8/INT16/BF16/TF32),
- **Оперативная память:** 4 ГБ DDR4 (до 8 ГБ),
- **Хранилище:** 32 ГБ eMMC (до 128 ГБ), M.2 2242 (NVMe SSD или модуль 5G/4G LTE), слот microSD,
- **Видеовыходы:** HDMI 2.1 (до 4K@120Hz), mini DisplayPort 1.4 (до 4K@120Hz), 4-полосный MIPI DSI (до 2K@60Hz),
- **Видеовходы:** HDMI через MIPI-HDMI мост, 1× 4-канальный MIPI CSI или 2× 2-канальный MIPI CSI,
- **Аудио:** 3,5 мм разъем для наушников и микрофона, 4-контактный разъем для динамиков,
- **Сетевые интерфейсы:** 2× Gigabit Ethernet (RJ45, контроллер Realtek RTL8211F-CG), WiFi 6 + Bluetooth 5.2 (RTL8852BE), опционально 4G LTE/5G через M.2 и Nano SIM,
- **USB-порты:** 1× USB 3.0 Type-A,
- **Сериальные интерфейсы:** 3× 4-контактный UART, RS485, CAN Bus, 3-контактный отладочный разъем,
- **GPIO:** разъем расширения,
- **дополнительные разъемы:** кнопки питания, сброса и восстановления, разъем для батареи RTC,
- **Питание:** 5 В / 3 А через разъем питания, потребление: 0,096 Вт (минимальное), 6 Вт (максимальное),
- **Форм-фактор:** несущая плата 110 × 85 мм, модуль MINI3576 50 × 40 мм,
- **Операционные системы:** Debian 12, Buildroot BSP с Linux 6.1.99

Многофункциональный одноплатный компьютер, разработанный компанией Boardcon. Представлен в феврале 2025 года. Этот SBC построен на базе MINI3576 и предназначен для IoT, встраиваемых систем, AI-инференса и промышленных приложений.

Boardcon SBC3576 поддерживает до 8 ГБ RAM, флэш-память до 128 ГБ eMMC, а также слоты M.2 для NVMe SSD или 5G/4G LTE. Для подключения дисплеев предусмотрены HDMI 2.1, mini DisplayPort 1.4 и MIPI DSI, а для сетевых подключений – два Gigabit Ethernet-порта, WiFi 6 и Bluetooth 5.2. Также SBC поддерживает сериальные интерфейсы RS485 и CAN Bus.

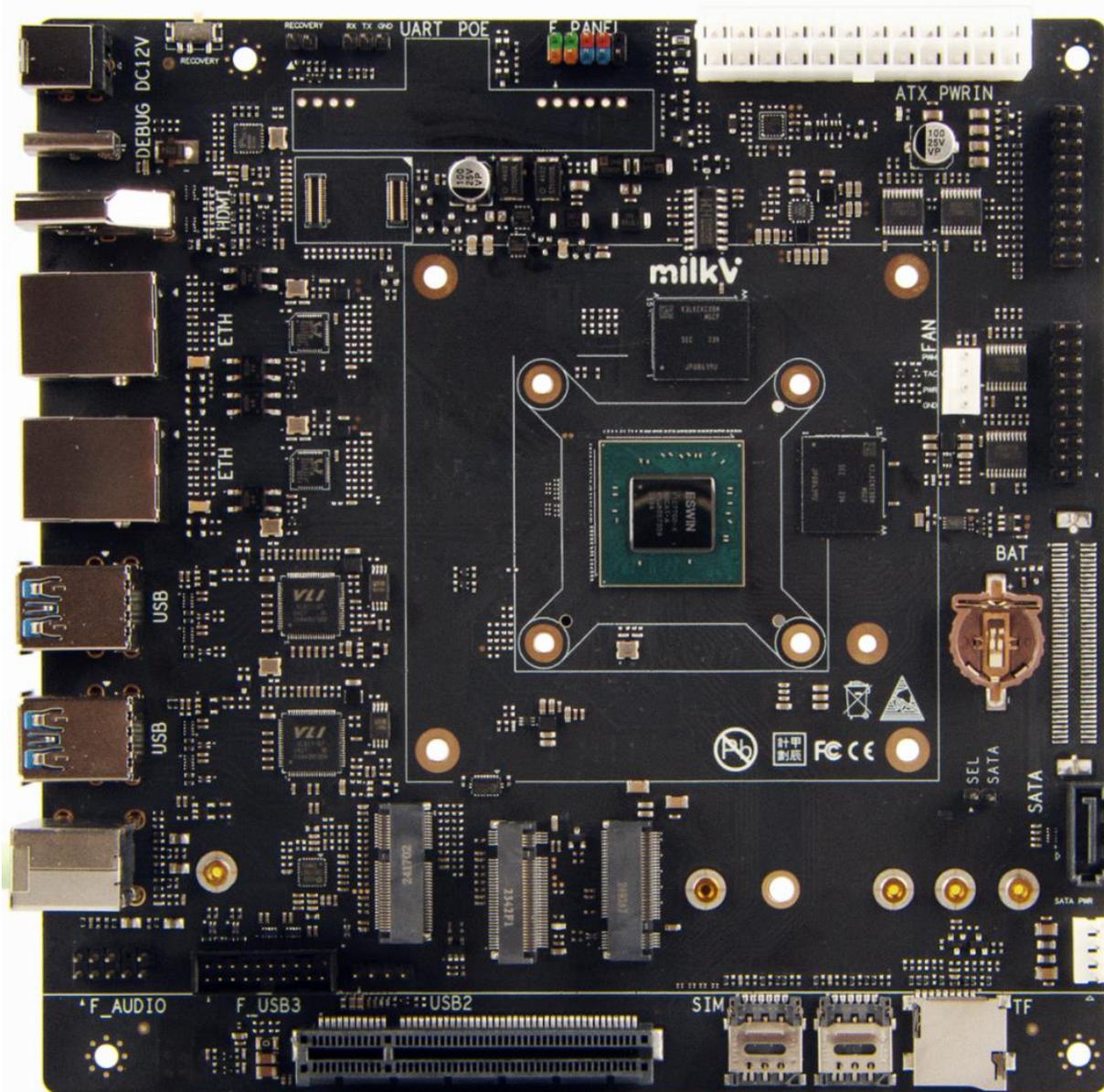
# iWave Systems iW-RainboW-G54S



- **Процессор:** STMicro STM32MP133 / STM32MP135 (одноядерный Cortex-A7, с криптографией и безопасной загрузкой),
- **Оперативная память:** 512 МБ DDR3L (с возможностью увеличения до 1 ГБ),
- **Хранилище:** 4 ГБ eMMC (до 128 ГБ), 16 Кбит EEPROM, слот для карт microSD,
- **Сетевые интерфейсы:** Gigabit Ethernet (встроенный PHY),
- **Видеовыходы:** разъем для 18-битного RGB LCD-дисплея с сенсорным экраном I2C (только для STM32MP135),
- **USB-порты:** 1× Micro USB 2.0 OTG, 1× USB Type-A,
- **GPIO и расширение:** 3× 100-контактных разъема высокой плотности, 4× UART (2× с управлением потоком), 2× RGMII (Ethernet), 2× CAN-шины, 2× SPI, 2× I2C, 2× ADC, 1× I2S, 7× GPIO, JTAG,
- **Отладка:** отладочный разъем UART, JTAG через 100-контактный разъем,
- **Дополнительные разъемы:** разъем для батареи RTC, разъем вентилятора,
- **Питание:** 12 В / 2 А (разъем постоянного тока),
- **Форм-фактор:** 85 × 56 мм (размер кредитной карты),
- **Рабочий диапазон температур:** -40°C до +85°C,
- **Соответствие стандартам:** REACH, RoHS3,
- **Операционные системы:** Linux 6.1.28 (или выше), ST OpenSTLinux (Yocto).

Компактный одноплатный компьютер размером с кредитную карту, разработанный компанией iWave Systems. Он был представлен в феврале 2025 года и основан на системе-на-модуле (SoM) OSM Size-S (30×30 мм) с процессорами STMicro STM32MP133 и STM32MP135 Cortex-A7. Одноплатник ориентирован на промышленные приложения, включая автоматизацию, IoT и встраиваемые системы, с рабочим диапазоном температур от -40 до +85°C.

# Milk-V Megrez



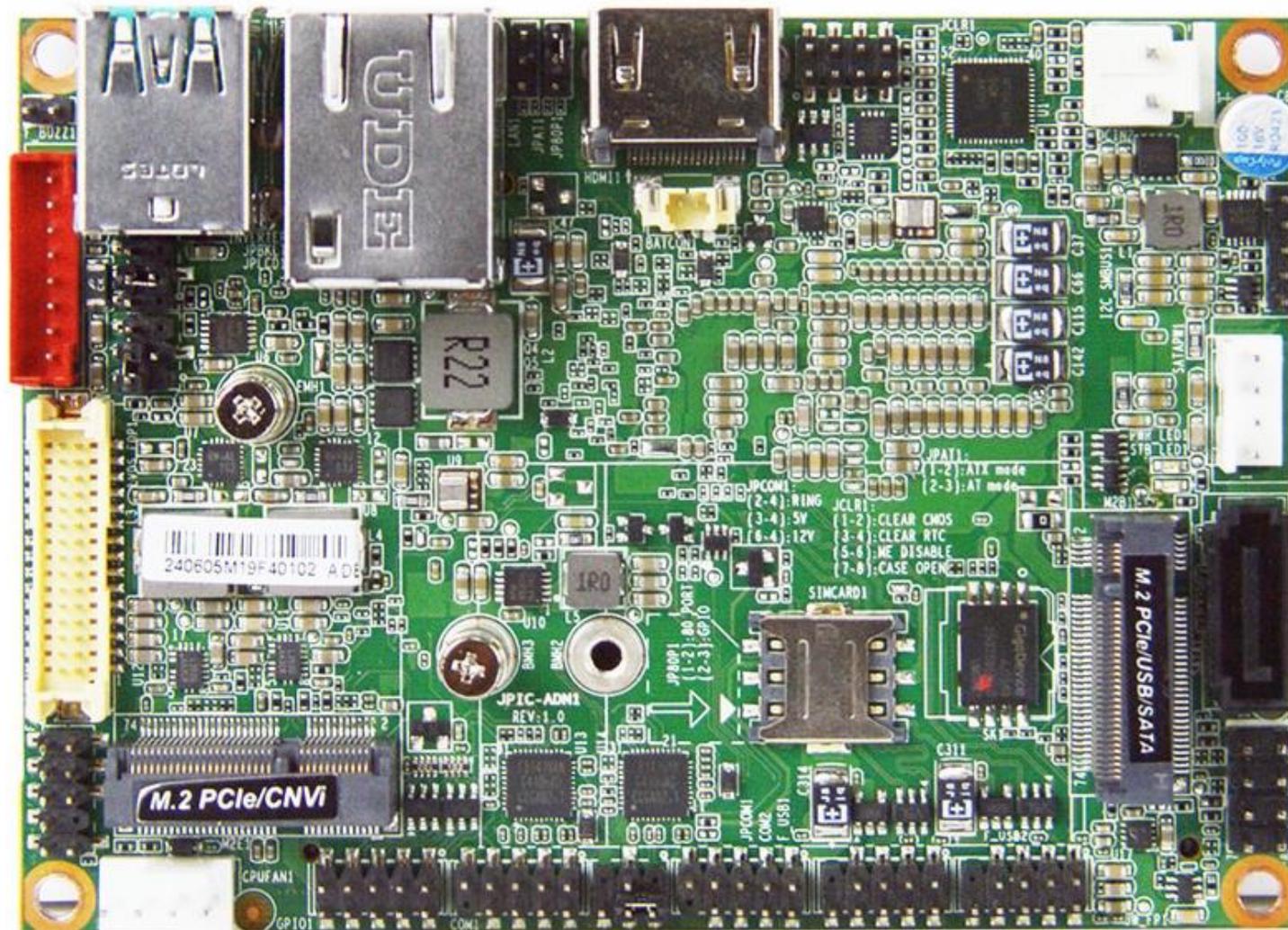
- **Центральный процессор:** SIFIVE P550 (1,8 ГГц)
- **Графический процессор:** встроенный
- **Нейронный процессор:** 19,95 TOPS@INT8 NPU, поддержка INT16/FP16
- **Оперативная память:** 8 / 16 / 32 ГБ LPDDR5-6400 MT/c
- **Хранилище:** M.2 (SATA3), eMMC, microSD, SATA3
- **Размеры:** 170×170 мм

Компания Milk-V, специализирующаяся на архитектуре RISC-V, открыла прием заказов на одноплатный компьютер Megrez – высокопроизводительное устройство, предназначенное для приложений искусственного интеллекта. В его основе лежит SoC ESWIN EIC7700X с 4-ядерным процессором SiFive P550, работающими на частоте 1,8 ГГц, и нейронным сопроцессором с производительностью около 20 TOPS.

Новинка выполнена в форм-факторе mini-ITX и совместима с обычными корпусами и блоками питания. Есть возможность установки 8 ГБ, 16 ГБ или 32 ГБ памяти LPDDR5 и расширения хранилища с помощью карт microSD, дополнительного модуля eMMC или интерфейса SATA 3.0. Также на плате распаяны четыре порта USB 3.0 Type-A и слот M.2 E-key для дополнительного беспроводного модуля.

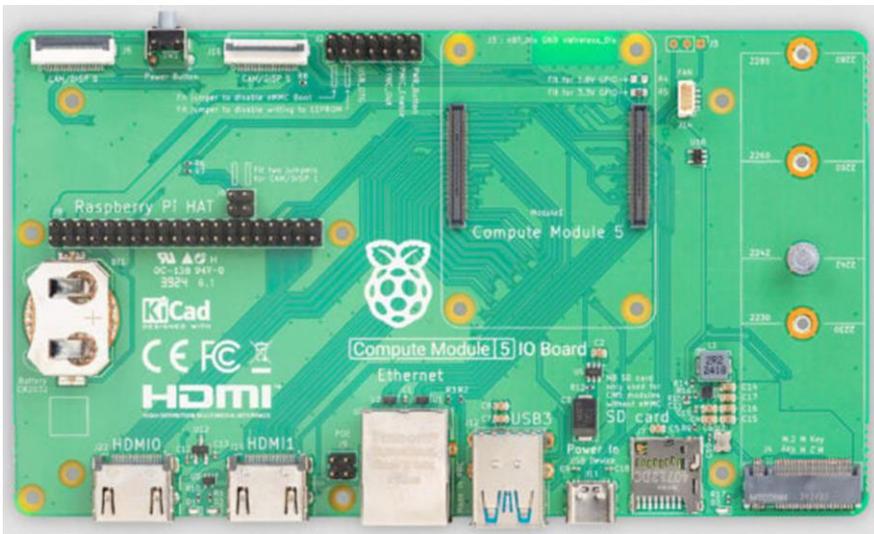
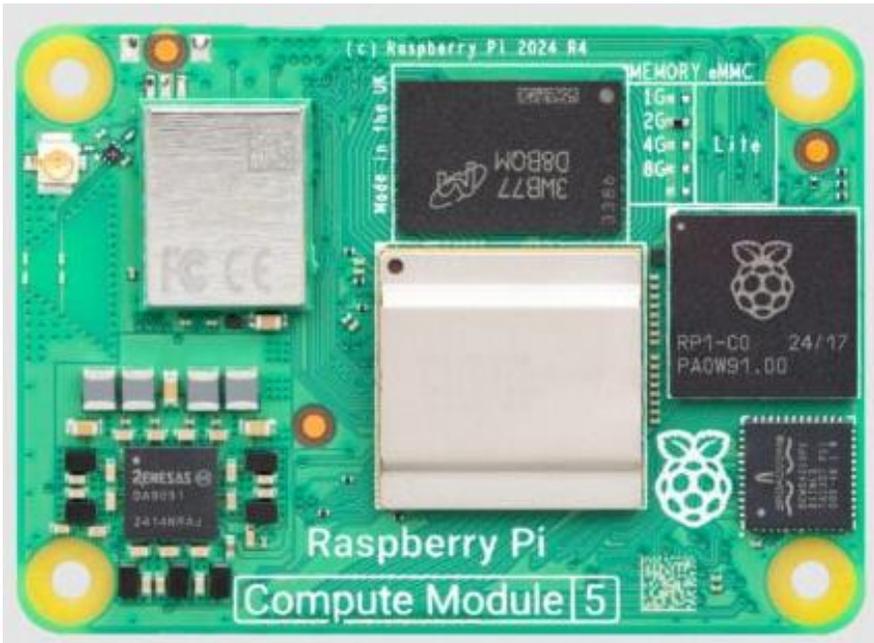
Еще один порт M.2 предусмотрен для установки NVMe SSD на базе SATA. Четырехполосный слот PCI Express Gen.3 ×8 предназначен для интеграции сетевых карт, графических карт или ускорителей ИИ. Что касается подключения периферии: на плате выведен порт HDMI 2.0, аналоговый аудиовход и выход, интерфейс отладки UART и JTAG, и два гигабитных порта Ethernet. Питание подается через разъем DC Jack.

# Jetway JPIC-ADN1



- **Центральный процессор:**  
Intel серии N (N97, N200)
- **Графический процессор:**  
Intel UHD
- **Оперативная память:**  
до 32 ГБ DDR5
- **Хранилище:**  
до 128 ГБ eMMC, SATA3, M.2
- **Поддерживаемые ОС:**  
Windows 10/11, Linux
- **Размеры:** 100×72 мм

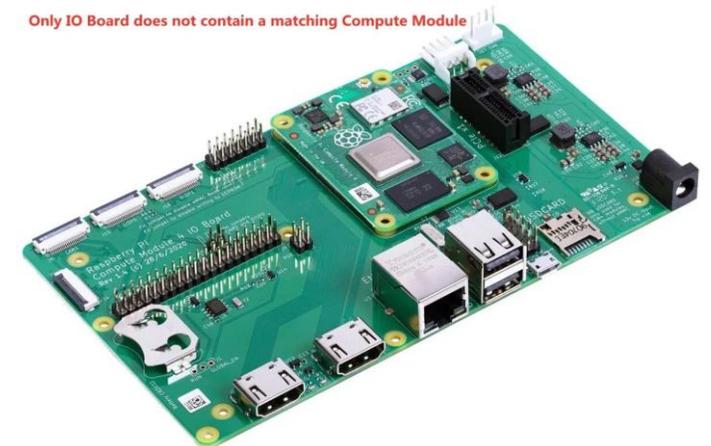
# Raspberry Pi Compute Module 5



- **Процессор** Arm Cortex-A76 с частотой 2,4 ГГц;
  - **Графический процессор** VideoCore VII с поддержкой OpenGL ES 3.1 и Vulkan 1.3;
  - **Два порта HDMI** с поддержкой 4K при 60 кадрах в секунду;
  - **Wi-Fi** 802.11ac и Bluetooth 5.0;
  - **Два порта USB 3.0**;
  - **Гигабитный Ethernet** с поддержкой IEEE 1588;
  - **Интерфейс PCIe 2.0**;
  - **30 GPIO**.
- 
- Платы доступны в комплектациях с 2, 4, 8 ГБ LPDDR4X-4267 SDRAM и с 16, 32, 64 ГБ MLC eMMC.
  - В 2025 году в продаже появится версия с 16 ГБ SDRAM.

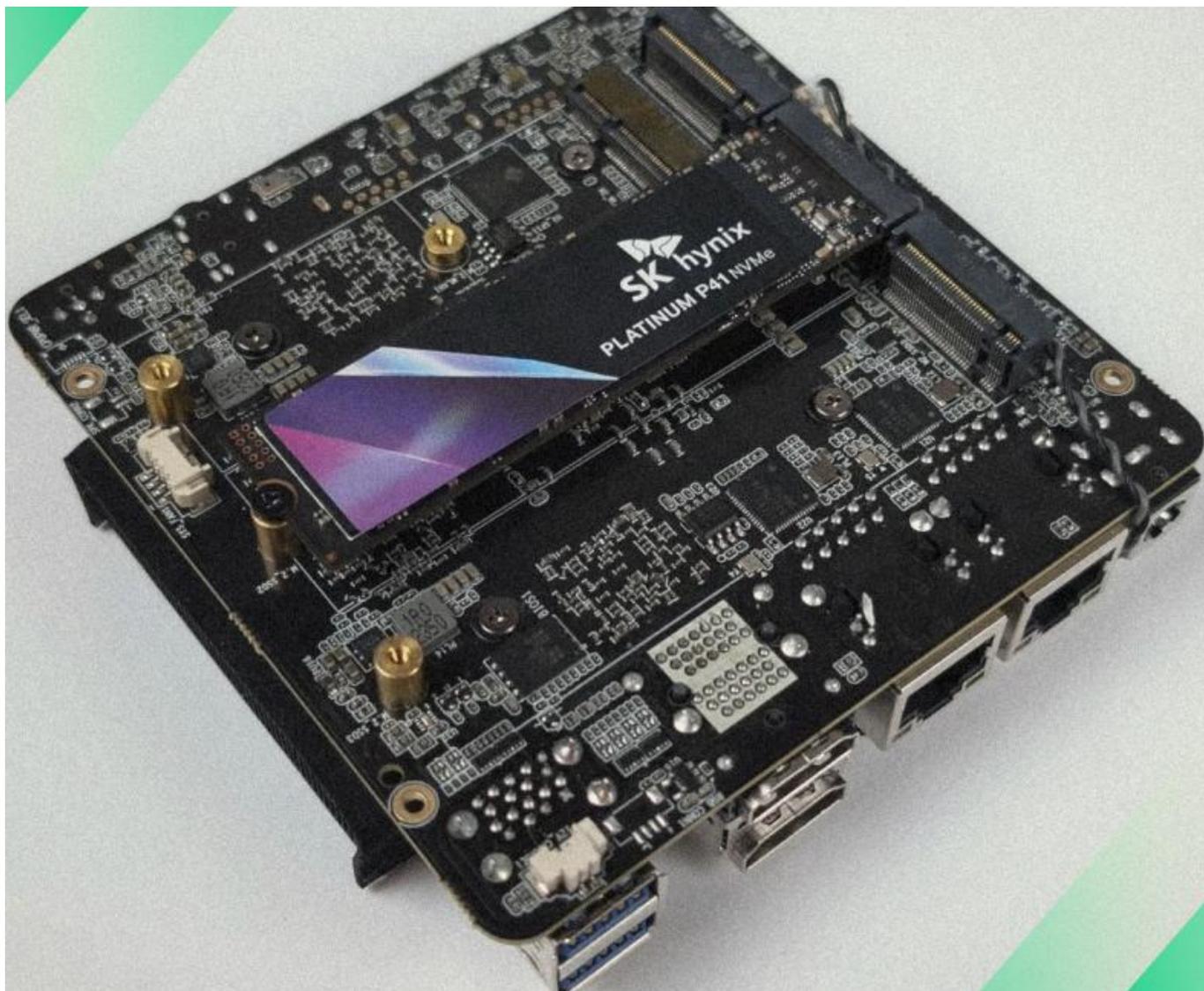
# Raspberry Pi IO Board

- Характеристики IO Board:
- 40 GPIO;
- Два полноразмерных HDMI 2.0;
- Два 4-полосных разъёма MIPI DSI/CSI-2 FPC;
- Два порта USB 3.0;
- Гигабитный Ethernet с поддержкой PoE+;
- PCIe;
- Порт для microSD;
- Порт для аккумулятора RTC;
- 4-контактный разъём для вентилятора.



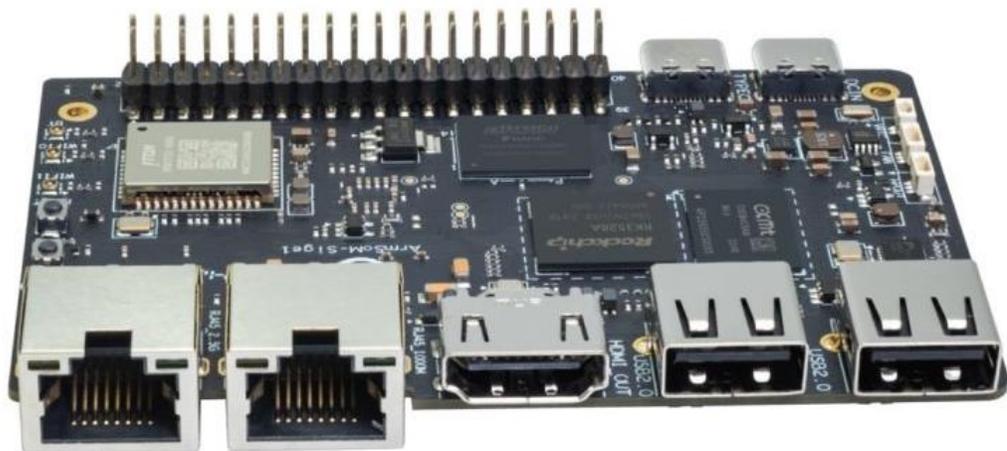
Only IO Board does not contain a matching Compute Module

# Next SBC с Ryzen 7840HS



- **Процессор:** AMD Ryzen 7 7840HS, 8 ядер, 16 потоков, частота 3,8–5,1 ГГц
- **Графика:** Radeon 780M
- **Оперативная память:** до 32 ГБ LPDDR5X-6400
- **Хранилище:** до 12 ТБ SSD (три слота M.2 2280 PCIe 4.0)
- **Сети:** 2 порта 2,5-гигабитного Ethernet, Wi-Fi 6, Bluetooth 5.2
- **Порты:**
  - 4 USB 3.2
  - 1 USB-C (USB 4)
  - 2 HDMI 2.1
- **Поддерживаемые ОС:** Windows 10/11, Linux Ubuntu, RHEL

# Banana Pi BPI-M1S



- **Процессор:** Rockchip RK3528, ARM Cortex-A53, четырехъядерный
- **Графика:** Mali-450
- **Видеовыход:** HDMI 2.0b, поддержка 4K
- **Сетевые возможности:** 2.5 Gb Ethernet, Gigabit Ethernet, Wi-Fi 6, Bluetooth 5.2
- **Порты:** 1 x USB Type-C (питание), 2 x USB 2.0 Type-A, 1 x USB 2.0 Type-C
- **Хранилище:** Slot для microSD-карты, Встроенная поддержка eMMC
- **Память:** LPDDR4x, доступные варианты – 4 ГБ RAM + 32 ГБ eMMC (Banana Pi BPI-M1S) и 2 ГБ RAM + 8 ГБ eMMC (ArmSoM Sigel)
- **GPIO:** 40-контактный интерфейс

Одноплатный компьютер Banana Pi BPI-M1S выпущен компанией Banana Pi. Модель представляет собой компактное устройство размером 92 x 62 мм, построенное на базе процессора Rockchip RK3528 с четырьмя ядрами ARM Cortex-A53. Устройство поддерживает современные операционные системы Android 13 и Debian Linux.

Устройство способно воспроизводить видео в разрешении 4K через HDMI 2.0b, что делает его подходящим выбором, если нужны мультимедийные приложения. В устройстве предусмотрен широкий набор возможностей для сетевого подключения: есть как поддержка 2.5 Gigabit Ethernet, так и стандартного гигабитного Ethernet, а также интеграция с Wi-Fi 6 и Bluetooth 5.2 для беспроводного соединения. Устройство оснащено интерфейсом GPIO с 40 контактами, что позволяет подключать различные периферийные устройства, а также портом USB Type-C для питания и несколькими USB 2.0 портами.

# UP Squared Pro 710H

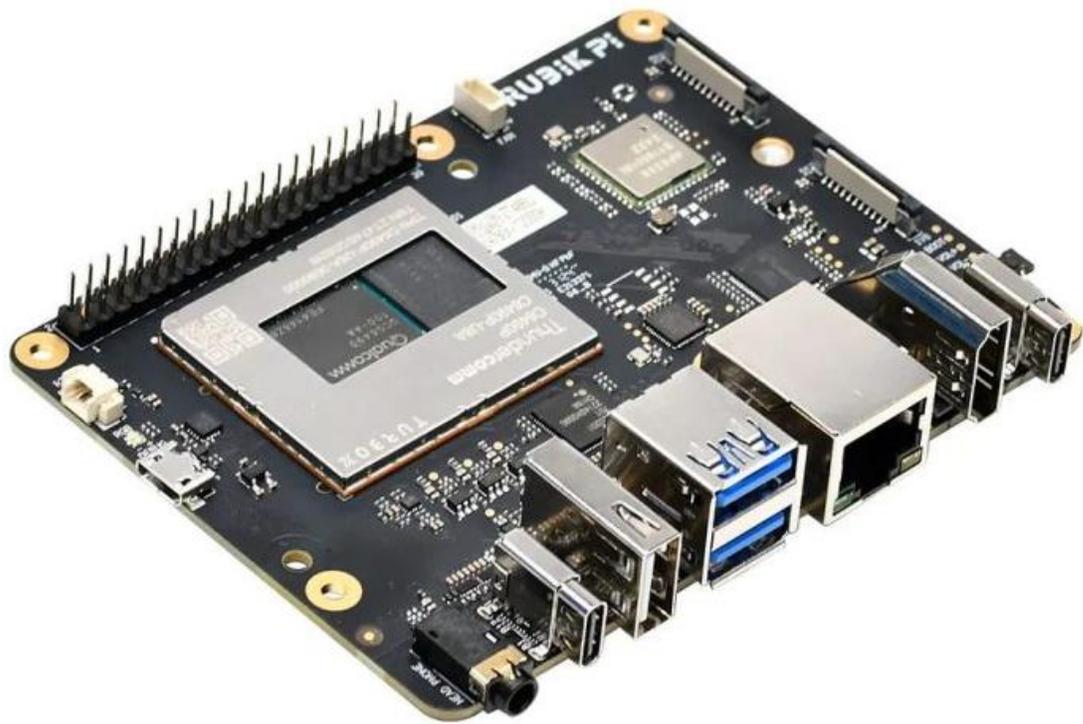


Одноплатный компьютер UP Squared Pro 710H был выпущен компанией AAEON. Этот компактный одноплатник размером 102 x 102 мм достаточно производителен благодаря чипам Intel Alder Lake-N. В отличие от предыдущей модели, UP Squared 7100, новинка оснащена интегрированным Halio-8 AI процессором, который способен обеспечивать до 26 TOPS производительности для задач искусственного интеллекта.

UP Squared Pro 710H поддерживает до 16 ГБ оперативной памяти LPDDR5 и до 128 ГБ eMMC для хранения данных, что делает его подходящим для сложных вычислений и приложений IoT. Варианты процессоров включают Intel Atom x7000RE, Core i3-N305 и Intel Processor N97. Это обеспечивает гибкость для различных сценариев использования. Модель также поддерживает Windows 10 IoT Enterprise, Ubuntu 22.04 LTS и Yocto 4.0 и потенциально совместима с другими операционными системами. UP Squared Pro 710H отличается широким набором портов, включая поддержку 2,5 Gigabit Ethernet и разнообразные интерфейсы для периферийных устройств.

- **Процессор:** Варианты – Intel Atom x7000RE, Core i3-N305, Intel Processor N97
- **Память:** до 16 ГБ LPDDR5
- **Хранилище:** до 128 ГБ eMMC
- **Графика:** Поддержка HDMI 2.0b и DisplayPort 1.2
- **Сетевые возможности:** 2 x 2.5 Gb Ethernet (Intel i226-IT)
- **Порты и разъемы:** 1 x M.2 2280 M-Key (PCIe Gen 3 x2), 1 x M.2 2230 E-Key (PCIe Gen 3, USB 2.0), 1 x M.2 305 B-Key (USB 3.2 Gen 2) (опционально), 1 x HDMI 2.0b, 1 x DisplayPort 1.2, 2 x USB 3.2 Gen 2 Type-A, 1 x USB 2.0 Type-A (через 10-контактный разъем), 2 x RS-232/422/485 (через 10-контактный разъем), 1 x слот для nano SIM, 40-контактный GPIO, 1 x MIPI-CSI разъем, Вход для питания 12-36V
- **Производительность ИИ:** Halio-8 AI процессор с производительностью до 26 TOPS

# RUBIK Pi

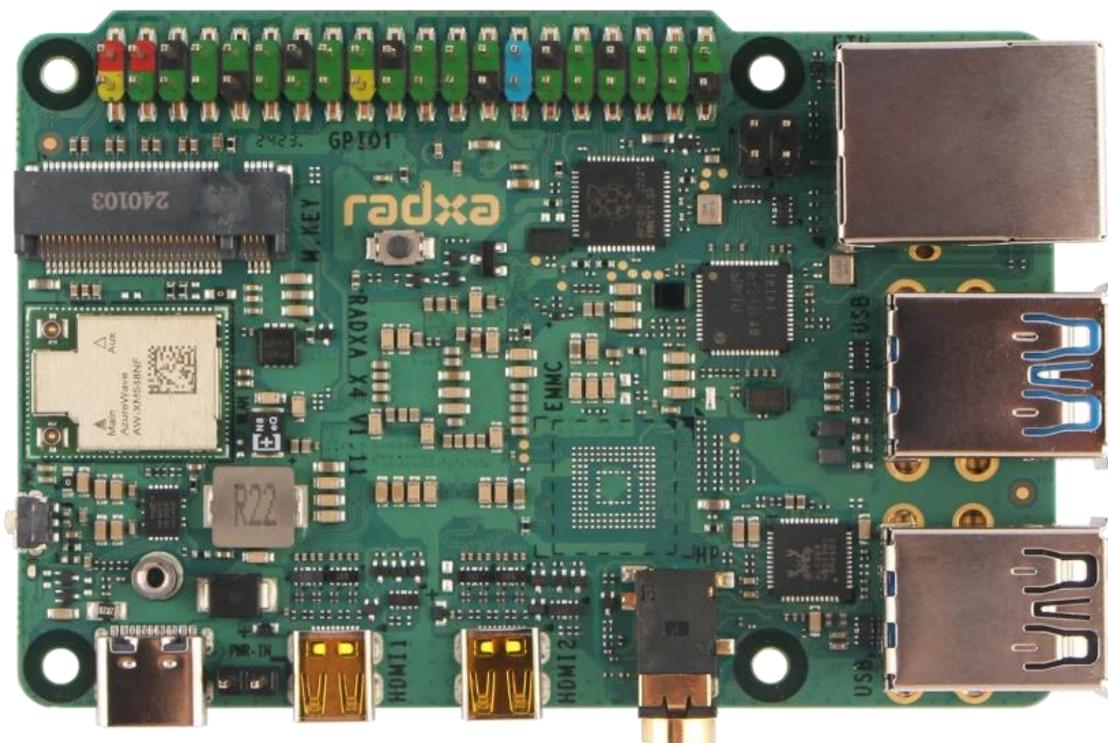


Одноплатный компьютер RUBIK Pi, созданный компанией Thundercomm, предназначен для разработчиков, работающих с технологиями искусственного интеллекта. Плата базируется на чипе Qualcomm QCS6490. У него восемь ядер ARMv8, графика Qualcomm Adreno 643 и шестое поколение Qualcomm AI Engine, которое обеспечивает производительность до 12,5 TOPS для задач AI. Дата релиза пока не указана, но предзаказы начнутся в начале ноября.

RUBIK Pi поддерживает многозадачность и функции для приложений на базе искусственного интеллекта, таких как распознавание лиц и объектов с использованием камеры. Плата оснащена разнообразными портами и разъемами для подключения периферийных устройств, а также поддерживает расширение памяти через M.2 и использует 8 ГБ оперативной памяти LPDDR4x, 128 ГБ UFS 2.x для хранения данных. Дополнительные возможности включают поддержку Wi-Fi 5, Bluetooth 5.2 и 12V/3A (36W) Type-C питания.

- **Процессор:** Qualcomm QCS6490
- **Ядра процессора:** 1 x Kryo 670 Gold CPU core (Cortex-A78) @ 2.7 GHz, 3 x Kryo 670 Gold CPU cores (Cortex-A78) @ 2.4 GHz, 4 x Kryo Silver CPU cores (Cortex-A55) @ 1.9 GHz
- **Графика:** Qualcomm Adreno 643 GPU @ 812 MHz
- **Производительность ИИ:** Qualcomm AI Engine 6-го поколения, до 12.5 TOPS
- **Память:** 8 ГБ LPDDR4x
- **Хранилище:** 128 ГБ UFS 2.x
- **Порты и разъемы:** 1 x USB 3.1 Gen 1 Type-C, 2 x USB 3.0 Type-A, 1 x USB 2.0 Type-A, 1 x Gigabit Ethernet, 1 x HDMI 1.4, 1 x 3,5 mm аудиоразъем, 2 x MIPI-CSI D-PHY 4-lane для входа камер, 1 x micro USB для UART, 1 x 40-контактный GPIO
- **Дополнительные возможности:** M.2 разъем для SSD, PWM разъем для вентилятора, Разъем для батареи RTC, Кнопка питания, RGB LED индикатор
- **Беспроводные соединения:** Wi-Fi 5, Bluetooth 5.2
- **Поддерживаемые ОС:** Linux, Android, Windows, Ubuntu
- **Питание:** 12V/3A (36W) через USB Type-C

# Radxa X4

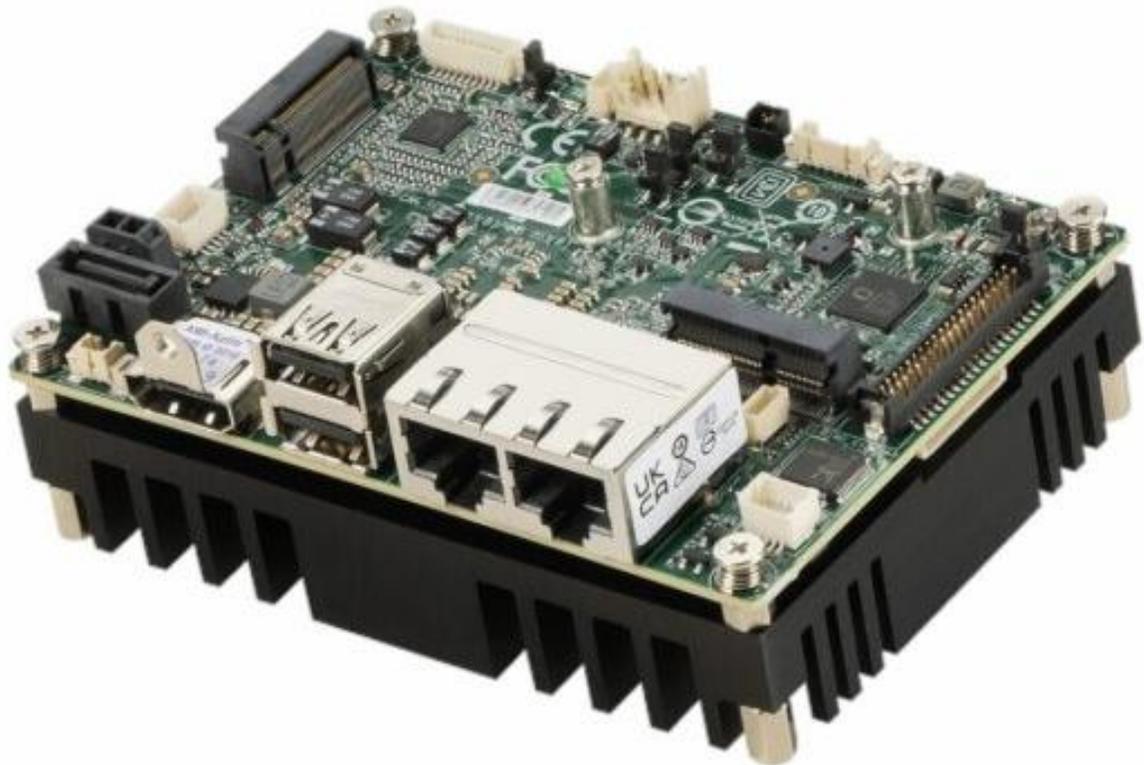


Radxa X4 – компактный одноплатный компьютер размером с кредитную карту, представленный компанией Radxa в июле. Устройство построено на базе четырехъядерного процессора Intel N100 и поддерживает до 16 ГБ оперативной памяти. Благодаря интерфейсу M.2 2230 с поддержкой PCIe 3.0 x4 возможна установка NVMe SSD или других плат расширения. На момент запуска минимальная стоимость устройства начинается от \$60 за версию с 4 ГБ ОЗУ без встроенного хранилища.

Radxa X4 напоминает Raspberry Pi Model B благодаря наличию 40-контактного GPIO и разнообразным портам, включая USB, Ethernet, HDMI и аудиоразъем. Однако X4 оснащен более мощным процессором Intel N100, который обеспечивает улучшенную производительность и поддержку более широкого диапазона операционных систем благодаря архитектуре x86\_64. Устройство поддерживает более быстрые проводные подключения (2,5 GbE) и скоростные USB порты до 10 Гбит/с. Дополнительно, предусмотрен микроконтроллер RP2040 для расширенного управления периферией.

- **Процессор:** Intel N100, 4 ядра / 4 потока, до 3,4 ГГц
- **Графика:** Intel UHD с 24 исполнительными блоками (EU) до 750 МГц
- **Энергопотребление:** 6W TDP
- **Микроконтроллер:** Raspberry Pi RP2040 Cortex-M0+ (двухъядерный)
- **Оперативная память:** LPDDR5-4800, 4 ГБ, 8 ГБ или 16 ГБ
- **Хранилище:** M.2 2230 (PCIe 3.0 x4), eMMC модуль (опционально), SPI Flash для BIOS
- **Сетевые возможности:** 1 x 2,5 GbE LAN (поддержка PoE через опциональный HAT)
- **Порты:** 2 x micro HDMI 2.0, 1 x 3,5 мм аудиоразъем, 3 x USB 3.2 Gen 2 Type-A (10 Гбит/с), 1 x USB 2.0 Type-A (480 Мбит/с), 1 x USB Type-C (для питания 12В/2А или выше)
- **Расширение:** 40-контактный GPIO (совместим с большинством Raspberry Pi HAT), Разъем для вентилятора, Разъем для батареи RTC
- **Беспроводные соединения:** Wi-Fi 5 и Bluetooth 5.0 (для моделей с 4 ГБ ОЗУ), Wi-Fi 6 и Bluetooth 5.2 (для моделей с 8 ГБ ОЗУ или более)
- **Размеры:** 85 x 56 мм (3.35" x 2.2")

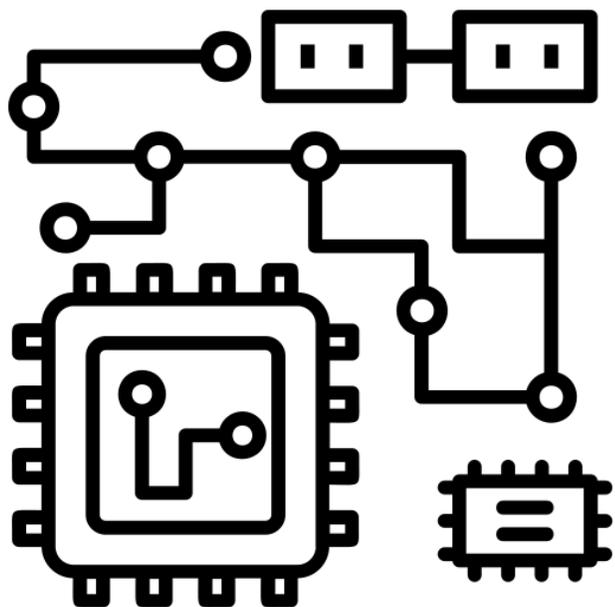
# MSI MS-CF16



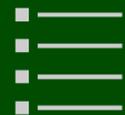
MSI MS-CF16 – это одноплатный компьютер формата Pico-ITX, разработанный компанией MSI. Оснащен маломощными процессорами Intel Alder Lake-N или Amston Lake, есть до 16 ГБ оперативной памяти LPDDR5. В целом, неплохой вариант для встраиваемых и промышленных систем. Охлаждение, кстати, пассивное. Модель также поддерживает два независимых дисплея через HDMI и LVDS/eDP и имеет разнообразные порты для подключения периферийных устройств.

Кроме того, MSI MS-CF16 – это энергоэффективная альтернатива более крупной модели MS-CF17, которая ориентирована на использование в промышленных и встроенных приложениях, включая автоматизацию, медицинское оборудование и наружные дисплеи. Устройство поддерживает 2,5 GbE и GbE LAN, несколько портов USB и расширение через два разъема M.2: B-Key и E-Key. Возможна установка операционных систем Windows и Linux, что расширяет возможности для настройки и интеграции.

- **SoC: Серия Alder Lake-N:** Четырехъядерный Intel Atom x7425E, до 3,4 ГГц, 6 МБ кэша, 24EU Intel UHD Graphics @ 1.00 ГГц, TDP: 12 Вт
- Intel N97, четырехъядерный, до 3,6 ГГц, 6 МБ кэша, 24EU Intel UHD Graphics @ 1,2 ГГц, TDP: 12 Вт
- **Серия Amston Lake:** Четырехъядерный Intel Atom X7433RE, до 3.4 ГГц, 6 МБ кэша, 24EU Intel UHD Graphics @ 1.00 ГГц, TDP: 6 Вт
- **Оперативная память:** до 16 ГБ LPDDR5 @ 4 800 МГц, встроенная
- **Накопитель:** 1 x порт SATA III
- **Видеовыход:** LVDS/eDP до 1 920 x 1 200 при 60 Гц, HDMI до 3840 x 2160 при 30 Гц, Поддержка двух независимых дисплеев
- **Аудио:** аудиокодек Realtek ALC897
- **Сетевые возможности:** 2,5 GbE и GbE LAN (серия Alder Lake), 2,5 GbE или GbE LAN (серия Amston Lake)
- **USB:** 2 x USB 3.2 (сзади), 2 x USB 2.0 (внутренние)
- **Последовательный порт:** 1 x COM-порт: RS-232/422/485, 0 В/5 В/12 В
- **Расширение:** M.2 E-Key 2230 (PCIe x1 + USB 2.0), M.2 B-Key 2242/3042 (PCIe x1/SATA 3.0 + USB 3.2 Gen 2 + USB 2.0), 8-битный GPIO, 5 В
- **Безопасность:** TPM 2.0 (Infineon SLB 9672VU2.0)
- **Разное:** Суперконтроллер ввода-вывода Fintek F81966AB-I, 256-уровневый сторожевой таймер
- **Питание:** 12 В через разъем постоянного тока
- **Размеры:** 101 x 73 мм (форм-фактор Pico-ITX)
- **Вес:** 300 грамм
- **Диапазон температур:** Эксплуатация: от -10 до 60°C, хранение: от -20 до 80°C (серия Alder Lake-N), Эксплуатация: от -40 до 70°C, хранение: от -40 до 85°C (серия Amston Lake)
- **Влажность:** 10 ~ 90%, без конденсации
- **Сертификации:** FCC, CE, RCM, VCCI, BSMI, UKCA, IC



# Практические рекомендации по работе с микроконтроллерами, периферией и актуаторами



# Практические рекомендации

- Работа с встраиваемыми системами требует не только теоретических знаний, но и соблюдения проверенных на практике правил, которые помогают избежать типичных ошибок, сократить время отладки и повысить надёжность устройств.
- Ниже приведены ключевые практические рекомендации, актуальные для разработчиков, использующих платформы STM32, ESP32, Arduino и работающих с периферийными устройствами, актуаторами и интерфейсами связи.

# 1. Начиная с правильного питания

- Никогда не питайте микроконтроллер и мощные нагрузки (моторы, реле, светодиодные ленты) от одного источника без фильтрации.
- Используйте **отдельные стабилизаторы** или хотя бы **развязывающие конденсаторы** (100 нФ + 10–100 мкФ) рядом с каждым МК и нагрузкой.
- Убедитесь, что напряжение питания соответствует спецификации: большинство **STM32 и ESP32 работают от 3.3 В**, а **Arduino Uno – от 5 В**. Подача 5 В на 3.3-вольтовый GPIO может повредить чип.
- При использовании Li-ion аккумуляторов применяйте **модули защиты** и **уровневые преобразователи**, если напряжение выходит за пределы допустимого.

## 2. Согласуйте уровни сигналов

- Не подключайте напрямую 5 В-устройства (например, датчики или модули для Arduino) к 3.3 В-микроконтроллерам (STM32, ESP32). Используйте **логические уровневые преобразователи** (например, на MOSFET или TXB0104).
- Для I<sup>2</sup>C особенно важно: шина требует подтяжки к тому же напряжению, на котором работает ведущее устройство. При смешанной логике – применяйте **двунаправленные преобразователи**.

# 3. Защищайте GPIO от перегрузки

- Выводы микроконтроллера могут выдавать **максимум 20–40 мА**. Для управления реле, моторами, мощными LED всегда используйте **транзисторы, опторазвязку** или **драйверы** (ULN2003, L298N, MOSFET).
- Подключайте **обратный диод** (flyback diode) параллельно обмотке реле или мотора для подавления ЭДС самоиндукции.

# 4. Используйте отладку через UART

- Даже в простейших проектах добавляйте вывод отладочной информации через **Serial (UART)**.
- Это сэкономит часы времени при поиске ошибок.
- Настройте **буферизованный вывод** и избегайте `Serial.print()` в критических участках кода (например, в обработчиках прерываний), чтобы не нарушать временные характеристики.

# 5. Выберите правильный интерфейс под задачу

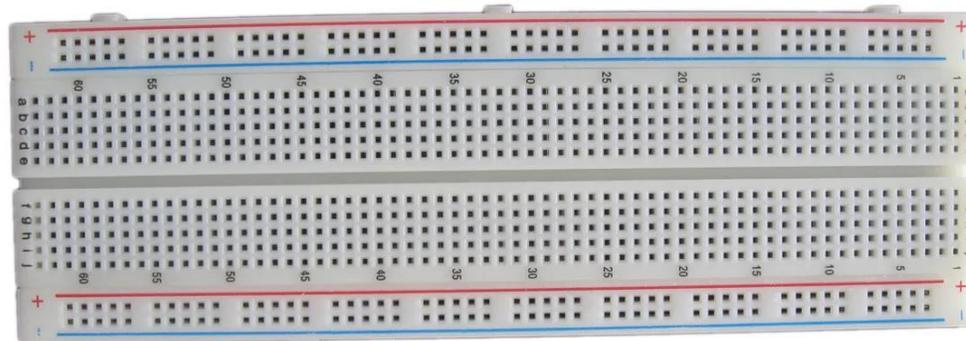
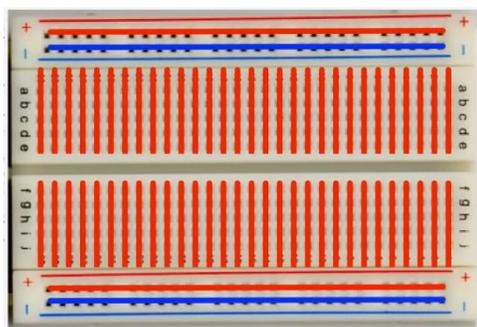
- Для датчиков на одной плате – I<sup>2</sup>C (экономия выводов).
- Для высокоскоростной передачи (дисплеи, память) – SPI.
- Для дальнобойной связи без интернета – LoRa.
- Для умного дома с низкой задержкой – Zigbee или BLE.
- Для подключения к ПК – USB-CDC (если есть встроенный USB) или USB-UART.

# 6. Оптимизируйте энергопотребление

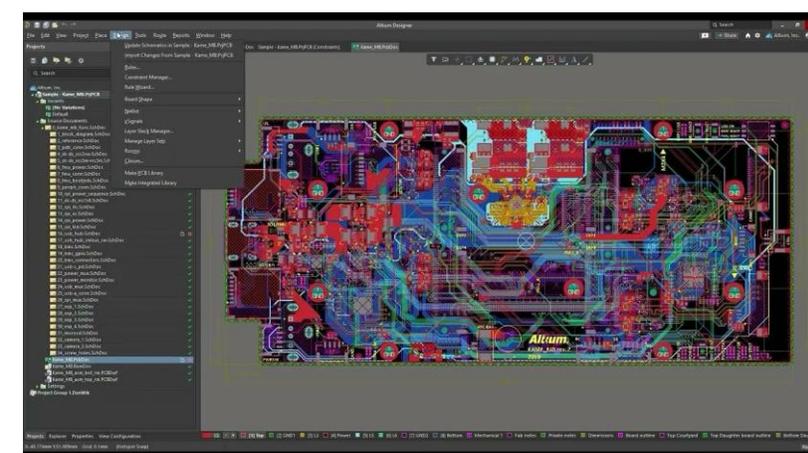
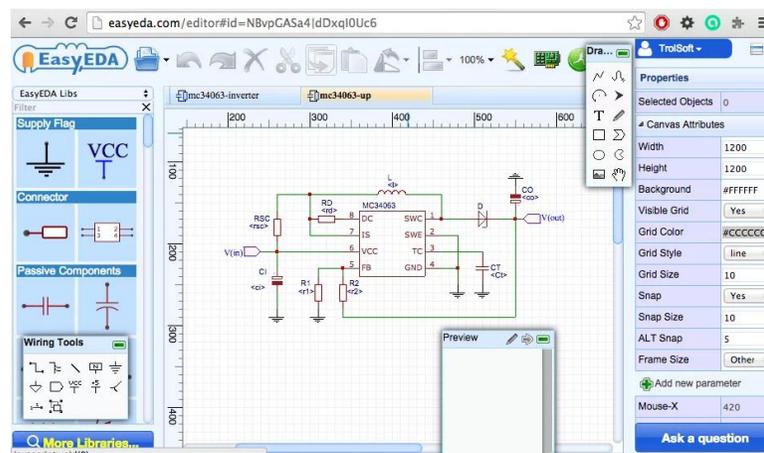
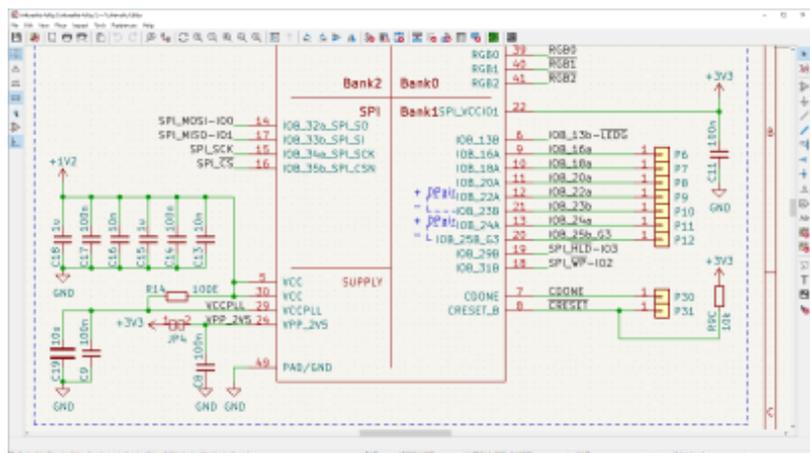
- Используйте **режимы сна** (Sleep, Deep Sleep) в ESP32 и STM32, когда устройство простаивает.
- Отключайте неиспользуемые периферийные блоки программно.
- Для батарейных устройств предпочтительны **STM32L-серии** (низкое энергопотребление) или **ESP32 с ULP-сопроцессором**.

# 7. Тестируйте на макетной плате, проектируйте – в CAD

- Прототипируйте схему на **breadboard** с использованием готовых модулей (датчики, драйверы).



- Перед изготовлением платы моделируйте схему в **KiCad**, **EasyEDA** или **Altium**, проверяйте трассировку, земляные полигоны и развязку питания.

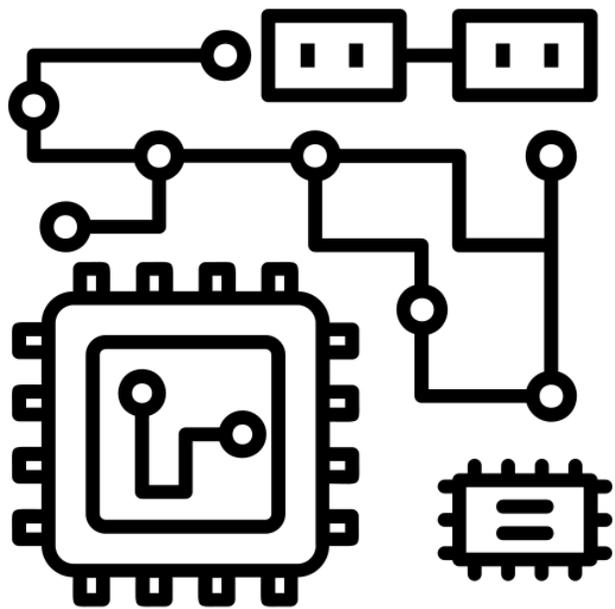


## 8. Используйте проверенные библиотеки и инструменты

- Для STM32 – **STM32CubeIDE** + HAL/LL.
- Для ESP32 – **ESP-IDF** (для профессионалов) или Arduino Core for ESP32 (для быстрого старта).
- Для Arduino – официальные и популярные библиотеки с хорошей документацией (проверяйте GitHub и рейтинги).

# 9. Обеспечьте безопасность и надёжность

- В сетевых проектах (Wi-Fi, Ethernet) используйте **шифрование, аутентификацию** и **безопасные протоколы** (MQTT over TLS, HTTPS).
- Для хранения чувствительных данных (ключи, пароли) используйте **защищённую память** (например, Secure Element или защищённые области Flash в STM32 с TrustZone).
- Всегда предусматривайте **аварийное восстановление**: сторожевой таймер (Watchdog), резервное питание RTC, возможность обновления прошивки по воздуху (OTA).



# Программируемые логические контроллеры (ПЛК): специализированные системы управления



# Программируемый логический контроллер

- **Программируемый логический контроллер (ПЛК)** – это специализированное промышленное устройство, предназначенное для автоматизации технологических процессов в средах с высоким уровнем электромагнитных помех и жесткими требованиями к надежности.
- **В отличие от универсальных микроконтроллеров, ПЛК проектируются и создаются для длительного автономного функционирования в суровых условиях, часто без прямого контроля со стороны человека.**
- Его архитектура типично складывается из нескольких ключевых блоков: центрального процессора (ЦП), модулей ввода/вывода (I/O), источника питания и коммуникационных интерфейсов.
- ЦП выполняет пользовательскую программу управления, модули I/O обеспечивают связь с внешним оборудованием (датчиками и исполнительными механизмами), источник питания обеспечивает стабильное напряжение, а коммуникационные порты позволяют интегрировать ПЛК в более крупные системы сбора и управления данными (SCADA) или сети предприятия

# Программируемый логический контроллер



# Программируемый логический контроллер

- **Основной принцип работы ПЛК – это циклическое сканирование**, которое происходит непрерывно и многократно в режиме работы (RUN).
- Этот цикл можно условно разделить на несколько этапов, хотя точное их количество и порядок могут варьироваться в зависимости от производителя и стандарта (например, МЭК 61131-3).
- **Типичный рабочий цикл включает:**
  - **Начало цикла:** Самотестирование оборудования, настройка аппаратных ресурсов и проверка целостности пользовательской программы.
  - **Чтение входов:** На этом этапе ПЛК считывает состояние всех физических входных контактов (например, замкнулся ли концевик или какой уровень сигнала подан на аналоговый вход) и сохраняет эту информацию во внутреннем файле состояний входов (или "карте входов") в оперативной памяти. Это гарантирует, что вся последующая программа будет работать с одним и тем же, "замороженным" моментальным срезом состояния системы, даже если входные сигналы изменятся в течение цикла.
  - **Выполнение программы:** ЦП последовательно, сверху вниз и слева направо, выполняет инструкции пользовательской программы, используя данные из файла состояний входов для принятия решений. Все математические и логические операции, сравнения и вызовы функций происходят в этот момент.
  - **Обновление выходов:** После того как программа полностью выполнена, результаты вычислений записываются из файла состояний выходов в соответствующие физические выходные клеммы, управляющие исполнительными устройствами (катушками реле, двигателями, клапанами).
  - **Обслуживание и диагностика:** ПЛК выполняет фоновые задачи, такие как связь с HMI (Human-Machine Interface) или другими устройствами по промышленным сетям (Modbus, Profibus, Ethernet/IP), а также самодиагностику оборудования.
  - **Контроль времени цикла:** Система отслеживает, не превышает ли суммарное время выполнения всех предыдущих шагов заданного максимального значения, и может инициировать аварийную реакцию, если это произошло.

# Программируемый логический контроллер

- **Время одного полного цикла сканирования является критическим параметром производительности ПЛК.** Для большинства современных ПЛК он составляет от нескольких миллисекунд до 100 мс.
- Основной частью этого времени занимает этап выполнения программы пользователя, который может составлять до 98%.

- **Формула для расчета времени цикла может быть представлена как**

$$t = (\text{время чтения} \times \text{количество входов}) + (\text{скорость вычисления} \times \text{шаги программы}) + (\text{время вывода} \times \text{количество выходов}) + \text{самодиагностика.}$$

- Скорость выполнения программы напрямую зависит от мощности процессора (часто 8-разрядные микропроцессоры, но иногда и Pentium) и сложности логики.
- Например, для станков требуется минимальное время цикла, тогда как для элеваторов оно может достигать нескольких секунд или даже суток.
- Для обеспечения высокой надежности и безопасности ПЛК оснащены различными средствами защиты. Ключевым из них является сторожевой таймер (Watchdog Timer, WDT), который постоянно сбрасывается программой.
- Если из-за сбоев или зависания программа перестает его сбрасывать, WDT генерирует аппаратный сброс, восстанавливая нормальную работу системы.
- Также для сохранения данных при отключении основного питания часто используется резервная батарея, которая питает ОЗУ.
- Кроме того, ПЛК часто имеют гальваническую изоляцию входов и выходов для защиты от помех и импульсных скачков напряжения, а также поддерживают различные режимы горячей замены компонентов для повышения доступности системы.
- Эти особенности делают ПЛК незаменимым инструментом в промышленной автоматизации, где отказ системы недопустим.

# Микроконтроллер vs ПЛК

- Выбор между использованием **микроконтроллера (МК)** и **программируемого логического контроллера (ПЛК)** является фундаментальным на этапе проектирования любой автоматизированной системы.
- Хотя **оба устройства служат цели управления, они кардинально различаются** по своим архитектурным принципам, областям применения, характеристикам производительности и экосистеме разработки. Понимание этих различий позволяет сделать обоснованный выбор, оптимальный для конкретной задачи.
- **Одно из самых фундаментальных различий заключается в принципе работы.**
- **МК обычно выполняет свою программу в непрерывном цикле (main loop)**, обрабатывая данные и управляя периферией по мере необходимости.
- Он более универсален и может быть использован для широкого спектра задач.
- **ПЛК, напротив, работает строго по циклу сканирования:** он сначала считывает все входные данные, затем выполняет всю программу, используя только эти прочитанные данные, и только после этого обновляет выходы.
- Этот детерминированный подход обеспечивает предсказуемость и надежность, что критически важно в промышленной среде, где важно гарантировать одинаковое время реакции на одно и то же событие.

# Микроконтроллер vs ПЛК

- **Второе ключевое различие** – в целевой среде эксплуатации и надежности.
- **МК**, особенно бюджетные 8-битные модели, **рассчитаны на работу в относительно благоприятных условиях**, часто внутри корпуса устройства.
- Они не обладают встроенными средствами защиты от электромагнитных помех, вибраций и других неблагоприятных факторов.
- **ПЛК**, напротив, **проектируются специально для суровых промышленных условий**.
- Их конструкция включает гальваническую изоляцию входов и выходов, усиленную механическую конструкцию, расширенный диапазон рабочих температур и другие меры для обеспечения высокой отказоустойчивости.
- Это делает ПЛК незаменимым в автомобильной промышленности, на производственных линиях и в других средах с высоким уровнем помех.

# Микроконтроллер vs ПЛК

- **Третье различие** связано с производительностью и масштабируемостью.
- **ПЛК**, как правило, **используют более мощные процессоры** (иногда 32-битные, вплоть до Intel Pentium) и имеют больший объем памяти, что позволяет им обрабатывать сложные алгоритмы управления и интегрироваться с другими системами через Ethernet и другие протоколы.
- Они часто имеют модульную конструкцию, что позволяет добавлять новые модули ввода/вывода по мере роста потребностей системы.
- **МК**, особенно в младших сериях, **имеют ограниченные ресурсы** (память, количество GPIO), что ограничивает их применение в очень крупных и сложных системах.
- Однако современные 32-битные МК, такие как STM32, предлагают производительность, сопоставимую с ПЛК нижнего класса, и становятся все более популярными для задач, ранее считавшихся прерогативой ПЛК

# Микроконтроллер vs ПЛК

- **Четвертое различие** касается языков программирования и экосистемы разработки.
- **ПЛК** стандартизированы по языкам программирования в соответствии со стандартом МЭК 61131-3, который определяет пять языков: Лестничная диаграмма (LD), Список инструкций (IL), Функциональная блок-схема (FBD), Текстовая функция (ST) и Список состояний (SFC).
- Это обеспечивает единый подход к разработке и совместимость программного обеспечения между различными производителями.
- Программирование осуществляется в специализированных средах разработки (IDE), таких как **CoDeSys**, **ISaGRAF** или среды от производителей ПЛК (например, RSLogix от Rockwell).
- **МК**, с другой стороны, программируются преимущественно на C/C++, а для более производительных задач – на ассемблере.
- Разработка для МК часто ведется в более гибких средах, таких как Keil, IAR Embedded Workbench или Eclipse с GCC.
- Хотя существуют библиотеки и абстракции (CMSIS), работа с регистрами периферии часто является обязательной для получения максимальной производительности и понимания аппаратной части

# Микроконтроллер vs ПЛК

- Наконец, стоит отметить **различия в стоимости и гибкости**.
- **МК**, особенно в массовом производстве, могут стоить значительно дешевле, чем ПЛК.
- Например, некоторые модели STM32F100 могут стоить менее 1 доллара.
- Это делает их экономически выгодным решением для массовых продуктов.
- **ПЛК** существенно дороже, но их цена включает в себя не только сам контроллер, но и надежность, долговечность и готовность к работе в промышленной среде.
- Гибкость МК огромна: можно выбрать ядро, объем памяти и набор периферии, который точно соответствует задаче.
- ПЛК, как правило, поставляются в готовых конфигурациях, хотя и с возможностью расширения.



**ЭВМ, периферийные устройства и контроллеры**

Тема: Микроконтроллеры и встраиваемые системы

# **Благодарю за внимание**

**КУТУЗОВ** Виктор Владимирович

Белорусско-Российский университет, Кафедра «Программное обеспечение информационных технологий»

Республика Беларусь, Могилев, 2025