Лекция 1. Введение

**Микроконтро́ллер** ([англ.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) *Micro Controller Unit, MCU*) — [микросхема](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0) для программного управления [электронными](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0) [устройствами](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE). Обычно изготавливается в виде единого кристалла с функциями [ядра микропроцессора](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%B4%D1%80%D0%BE_%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%BE%D1%80%D0%B0), [шин](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%B8%D0%BD%D0%B0_%28%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%29) команд и данных, [периферийных устройств](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B9%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE), [ОЗУ](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%97%D0%A3) и [ПЗУ](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D1%8E%D1%89%D0%B5%D0%B5_%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE). По сути, это [компьютер](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80) в [чипе](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0), выполняющий роль [периферийного процессора](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%BE%D1%80).

С появлением [однокристальных микроЭВМ](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%BA%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80) связывают начало эры массового применения компьютерной автоматизации в области управления. По-видимому[[*источник не указан 1799 дней*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%BA%D0%B8%D0%BF%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D1%8F%3A%D0%A1%D1%81%D1%8B%D0%BB%D0%BA%D0%B8_%D0%BD%D0%B0_%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8)], это обстоятельство и определило термин «контроллер» ([англ.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) *controller* — регулятор, управляющее устройство).

В связи со спадом отечественного производства и возросшим импортом техники, в том числе вычислительной, термин «микроконтроллер» (МК) вытеснил из употребления ранее использовавшийся термин «однокристальная микроЭВМ».

Первый патент на однокристальную микроЭВМ был выдан в [1971 году](https://ru.wikipedia.org/wiki/1971_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) инженерам Майклу Кокрэну и Гэри Буну, сотрудникам американской [Texas Instruments](https://ru.wikipedia.org/wiki/Texas_Instruments). Именно они предложили на одном [кристалле](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB_%28%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0%29) разместить не только процессор, но и память с устройствами ввода-вывода.

В [1976 году](https://ru.wikipedia.org/wiki/1976_%D0%B3%D0%BE%D0%B4)[[1]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80#cite_note-1) американская фирма [Intel](https://ru.wikipedia.org/wiki/Intel) выпускает микроконтроллер [i8048](https://ru.wikipedia.org/wiki/I8048). В 1978 году фирма Motorola выпустила свой первый микроконтроллер MC6801, совместимый по системе команд с выпущенным ранее микропроцессором MC6800. В 1980 году Intel выпускает следующий микроконтроллер: [i8051](https://ru.wikipedia.org/wiki/Intel_8051). Удачный набор периферийных устройств, возможность гибкого выбора внешней или внутренней программной памяти и приемлемая цена обеспечили этому микроконтроллеру успех на рынке. С точки зрения технологии микроконтроллер i8051 являлся для своего времени очень сложным изделием — в кристалле было использовано 128 тыс. [транзисторов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80), что в 4 раза превышало количество транзисторов в 16-разрядном микропроцессоре [i8086](https://ru.wikipedia.org/wiki/I8086).

В [СССР](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%A1%D0%A1%D0%A0) велись разработки оригинальных микроконтроллеров. В [1979 году](https://ru.wikipedia.org/wiki/1979_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) в СССР ЛКТБ разработало однокристальную 16-разрядную микро-ЭВМ «Электроника С5-31» (К1827 ВЕ1) с системой команд семейства «Электроника С5» и [НИИ ТТ](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%BC_%28%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F%29) разработал [однокристальную 16-разрядную ЭВМ К1801ВЕ1](https://ru.wikipedia.org/wiki/1801BMx), [микроархитектура](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%B0%D1%80%D1%85%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0) которой получила название «[Электроника НЦ](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%9D%D0%A6)». Уровень их разработки соответствовал лучшим мировым результатам того периода в области 16-разрядных однокристальных микро-ЭВМ. Также осваивался выпуск клонов наиболее удачных зарубежных образцов.[[2]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80#cite_note-2)[[3]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80#cite_note-3)[[4]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80#cite_note-4)[[5]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80#cite_note-5)

На 2013 год существовало более 200 модификаций микроконтроллеров, совместимых с i8051, выпускавшихся двумя десятками компаний, и большое количество микроконтроллеров других типов. Популярностью у разработчиков пользуются 8-битные, 16-битные и 32-битные микроконтроллеры [PIC](https://ru.wikipedia.org/wiki/PIC) фирмы [Microchip Technology](https://ru.wikipedia.org/wiki/Microchip_Technology), микроконтроллеры [AVR](https://ru.wikipedia.org/wiki/AVR) фирмы [Atmel](https://ru.wikipedia.org/wiki/Atmel) (с 2016 года производятся фирмой Microchip[[6]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80#cite_note-6)), 16-битные [MSP430](https://ru.wikipedia.org/wiki/MSP430) фирмы [TI](https://ru.wikipedia.org/wiki/Texas_Instruments), а также 32-битные микроконтроллеры архитектуры [ARM](https://ru.wikipedia.org/wiki/ARM_%28%D0%B0%D1%80%D1%85%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0%29), которую разрабатывает фирма [ARM Limited](https://ru.wikipedia.org/wiki/ARM_%28%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F%29) и продаёт лицензии другим фирмам для их производства. Несмотря на популярность в России микроконтроллеров, упомянутых выше, на 2009 год мировой рейтинг по объёму продаж, по данным Gartner Group, выглядел иначе: первое место с большим отрывом занимала [Renesas Electronics](https://ru.wikipedia.org/wiki/Renesas_electronics), на втором — [Freescale](https://ru.wikipedia.org/wiki/Freescale_Semiconductor), на третьем — [Samsung](https://ru.wikipedia.org/wiki/Samsung_Electronics), затем шли Microchip и TI, далее — все остальные[[7]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80#cite_note-7).

**Описание**

[[править](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80&veaction=edit&section=2) | [править код](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80&action=edit&section=2)]

При проектировании микроконтроллеров приходится соблюдать компромисс между размерами и стоимостью с одной стороны и гибкостью и производительностью с другой. Для разных приложений оптимальное соотношение этих и других параметров может различаться очень сильно. Поэтому существует огромное количество типов микроконтроллеров, различающихся архитектурой процессорного модуля, размером и типом встроенной памяти, набором периферийных устройств, [типом корпуса](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B8%D0%BF%D1%8B_%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BE%D0%B2_%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC) и т. д.

В отличие от обычных компьютерных микропроцессоров, в микроконтроллерах часто используется [гарвардская архитектура](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D1%80%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%B4%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B0%D1%80%D1%85%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0) памяти, то есть раздельное хранение данных в [ОЗУ](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%97%D0%A3), а команд — в [ПЗУ](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D1%8E%D1%89%D0%B5%D0%B5_%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE).

Кроме ОЗУ, микроконтроллер может иметь встроенную [энергонезависимую память](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%81%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%B0%D0%BC%D1%8F%D1%82%D1%8C) для хранения программы и данных. Многие модели контроллеров вообще не имеют [шин](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%B8%D0%BD%D0%B0_%28%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%29) для подключения внешней памяти.

Наиболее дешёвые типы памяти допускают лишь однократную запись, либо хранимая программа записывается в кристалл на этапе изготовления (конфигурацией набора технологических масок). Такие устройства подходят для массового производства в тех случаях, когда программа контроллера не будет обновляться. Другие модификации контроллеров обладают возможностью многократной перезаписи программы в энергонезависимой памяти.

Неполный список [периферийных устройств](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B9%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE), которые могут использоваться в микроконтроллерах, включает в себя:

* универсальные цифровые порты, которые можно настраивать как на ввод, так и на вывод;
* различные интерфейсы ввода-вывода, такие, как [UART](https://ru.wikipedia.org/wiki/UART), [I²C](https://ru.wikipedia.org/wiki/I2C), [SPI](https://ru.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface), [CAN](https://ru.wikipedia.org/wiki/Controller_Area_Network), [USB](https://ru.wikipedia.org/wiki/USB), [IEEE 1394](https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_1394), [Ethernet](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ethernet);
* [аналого-цифровые](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%A6%D0%9F) и [цифро-аналоговые](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%90%D0%9F) преобразователи;
* [компараторы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80);
* [широтно-импульсные](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%98%D0%9C) модуляторы ([ШИМ-контроллер](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%98%D0%9C-%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80));
* [таймеры](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B0%D0%B9%D0%BC%D0%B5%D1%80_%28%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%29);
* контроллеры бесколлекторных двигателей, в том числе [шаговых](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%B0%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C);
* контроллеры дисплеев и клавиатур;
* радиочастотные приемники и передатчики;
* массивы встроенной [флеш-памяти](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BB%D0%B5%D1%88-%D0%BF%D0%B0%D0%BC%D1%8F%D1%82%D1%8C);
* встроенные [тактовый генератор](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80) и [сторожевой таймер](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%82%D0%B0%D0%B9%D0%BC%D0%B5%D1%80);

Ограничения по цене и энергопотреблению ограничивает тактовую частоту контроллеров. Хотя производители стремятся обеспечить работу своих изделий на высоких частотах, они, в то же время, предоставляют заказчикам выбор, выпуская модификации, рассчитанные на разные частоты и напряжения питания. Во многих моделях микроконтроллеров используется [статическая память](https://ru.wikipedia.org/wiki/SRAM_%28%D0%BF%D0%B0%D0%BC%D1%8F%D1%82%D1%8C%29) для ОЗУ и внутренних [регистров](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%80_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%BE%D1%80%D0%B0). Это даёт контроллеру возможность работать на меньших частотах и даже не терять данные при полной остановке тактового генератора. Часто предусмотрены различные режимы [энергосбережения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE%D1%81%D0%B1%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), в которых отключается часть периферийных устройств и вычислительный модуль.