

УДК 621.38  
ББК 32.85  
А50

## IL MANUALE DI ARDUINO (ARDUINO MANUAL)

Paolo Aliverti

© Edizioni Lswr è un marchio di La Tribuna Srl. La Tribuna Srl fa parte di Lswr Group — Tutti i diritti riservati.  
This edition of Elettronica per Maker — by Paolo Aliverti is published by arrangement with Edizioni LSWR.

В пределах, допустимых действующим законодательством, ни Издатель, ни Правообладатель не несут ответственности за какой-либо ущерб и/или ущерб лицам или собственности в результате каких-либо фактических или предполагаемых клеветнических заявлений, нарушения прав интеллектуальной собственности или прав на неприкосновенность частной жизни, или материальной ответственности, возникшей в результате халатности, либо в результате любых действий с информацией, инструкциями, процедурами, продуктами или методами, содержащимися в материалах этой книги.

### **Аливерти, Паоло.**

А50      Изучаем Arduino : руководство для начинающих / Паоло Аливерти ; [перевод с итальянского О. Ермака]. — Москва : Эксмо, 2021. — 400 с. — (Электроника для начинающих).

ISBN 978-5-699-96898-5

Самая понятная книга по Arduino для новичков. Настольная книга начинающего робототехника, написанная итальянским инженером Паоло Аливерти, специалистом в области 3D-печати, интернета вещей и интерактивных технологий. Благодаря этой книге читатель познакомится с легендарной итальянской платформой Arduino, узнает азы электротехники и всего того, что необходимо уметь и знать, прежде чем начать собирать собственные проекты. В дружелюбной манере простым языком автор раскрывает основные понятия и термины, рассказывает о типах плат и проводит читателя по пути от абсолютного новичка до подкованного пользователя, готового к созданию собственных проектов на Arduino.

УДК 621.38  
ББК 32.85

ISBN 978-5-699-96898-5

© Ермак Александр, перевод на русский язык, 2017  
© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2021

# Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	9
Структура книги .....	10
Автор .....	11
Внимание! .....	11
1 МИР ARDUINO	13
История .....	15
Контроллеры, микроконтроллеры и микропроцессоры .....	18
Платы расширения .....	20
Энтузиасты и Arduino .....	21
Источники информации .....	24
2 УСТРОЙСТВО И МОДЕЛИ ARDUINO	25
Arduino Uno (или Genuino Uno) .....	26
Модели Arduino .....	30
Arduino и Atmel .....	47
Платы расширения и модули .....	49
3 УСТАНОВКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	57
Скачивание и установка .....	59
Ваша первая программа .....	63
4 ARDUINO И ЯЗЫК C/C++	71
Учимся программировать .....	74
Язык C/C++ .....	79
5 ПРОГРАММИРОВАНИЕ ARDUINO	105
Скетч .....	105
Функция pinMode() .....	110

Функция delay()	113
Функция digitalWrite()	115
Функция digitalRead()	121
Функция analogWrite()	125
Монитор COM-порта	128
Функция analogRead()	132
Управление временем	134
Звуковое сопровождение	136
Измерение длины сигнала	141
Математические функции	143
Текстовые функции	146
Биты и байты	147
Преобразование типов	151
Функция sizeof()	152
<b>6 ПРОСТЫЕ КОМПОНЕНТЫ</b>	<b>153</b>
Подключение светодиода	153
Пульсирующий светодиод	156
Пульсирующий светодиод с помощью кода	158
RGB-светодиод	160
Кнопки	162
Цепь с кнопкой и без резистора	164
Кнопка на аналоговом входе	168
Использование сервоприводов	170
Индикатор	173
ЖК-дисплей	179
Регистр сдвига	186
Программные модули	191
Библиотеки	193
<b>7 ПРОДВИНУТОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ</b>	<b>199</b>
Прерывания	199
Хранение переменных в EEPROM	204
Ассемблер	208
Библиотека Scheduler.h	210
Таймер	212

Функция analogReference()	234
Загрузчик	235
Программирование микроконтроллеров AVR	238
<b>8 ДАТЧИКИ</b>	<b>249</b>
Переменные резисторы	249
Датчик угла поворота	251
Фоторезисторы	253
Датчики температуры	256
Датчик влажности	259
Датчик газа	261
Датчики магнитного поля	263
Датчики наклона	264
Пироэлектрические инфракрасные датчики движения	265
Емкостные датчики	266
Инфракрасные датчики расстояния	267
Ультразвуковые датчики расстояния	272
Акселерометры и гироскопы	274
Компасы	276
Беспроводные модули	277
Часы реального времени	278
Подключение микрофона и источника звука	282
RFID-модули	283
Карты памяти SD	285
Прочие датчики	289
<b>9 ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА</b>	<b>291</b>
Биполярные транзисторы	291
Реле	294
Полевые транзисторы	298
Управление шаговым двигателем	304
Оптически изолированные выходы	305
Цифровые потенциометры	306
Подключение ЦАП	309
Аудиовыход	312
Другие исполнительные устройства	312

10	КОММУНИКАЦИИ	313
	Немного теории .....	313
	Последовательные интерфейсы .....	316
	Программный COM-порт .....	321
	Преобразователи напряжения .....	323
	Шина I <sup>2</sup> C .....	325
	Шина SPI .....	331
	Интерфейсы RS232 и RS485 .....	334
	Интерфейс Bluetooth .....	335
	Технология ZigBee .....	341
	Интерфейс Ethernet .....	341
	Связь по Wi-Fi .....	350
	Связь по GSM/GPRS .....	352
	Что дальше? .....	354
11	ARDUINO YÚN	355
	Arduino +Linux .....	355
	Установка .....	357
	Программирование через Wi-Fi-интерфейс .....	358
	Дистрибутив OpenWrt-Yun .....	360
	Консоль .....	366
	Простой веб-сервер .....	369
	Динамические веб-страницы .....	371
	Сброс контроллера .....	375
	Библиотека Bridge.h .....	376
	Резюме .....	383
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	384
	ПРИЛОЖЕНИЕ А. ЧТЕНИЕ НОМИНАЛОВ РЕЗИСТОРОВ	385
	Ответы .....	388
	РЕКОМЕНДУЕМЫЕ РЕСУРСЫ	389
	ГЛОССАРИЙ	391

# Введение

Эта книга очень долго шла к своему читателю. Я приступил к ее написанию в 2011 году, когда начал проводить курсы по Arduino. Я записывал все вопросы, сомнения и сложности, с которыми сталкивался в попытках изложить материал публике, не имеющей технического образования. Слушатели моих курсов не были инженерами. Их посещали дизайнеры, архитекторы, артисты и просто творческие личности. Думаю, что в годы учебы они очень редко сталкивались с электроникой. Благодаря их сомнениям, вопросам и более открытому взгляду на мир, нежели мой кругозор инженера, я очень многому научился. В частности, я научился смотреть на вещи с ранее непривычной для меня точки зрения.

Конечно же, много записей появилось из моих собственных проектов, которые я реализовал в те годы, начиная с покупки первого контроллера Arduino в 2009 году. Я помню, как был удивлен легкостью и доступностью этого решения. Я всегда «возился» с электроникой и прекрасно понимал, что запрограммировать контроллер — задача не из легких, потому что требует специального оборудования и технических знаний.

С Arduino многое изменилось: контроллер можно запрограммировать за несколько секунд, используя обычный USB-кабель. Более того, инструкции последовательные и настолько простые, что написание кода напоминает скорее программирование на JavaScript, нежели на языке C. Многие новички прозвали контроллер Arduino «швейцарским ножом». Он всегда присутствует в ящике для инструментов, и его используют в самых разных проектах: от гирлянд до устройств управления принтерами и дронами.

Руководство по Arduino является продолжением моей предыдущей книги «Электроника для начинающих. Самый простой пошаговый самоучитель», который в русском переводе выпустило издательство «Бомбора». Многие мои ученики нуждались в том, чтобы понять основы электроники, прежде чем приступать к использованию Arduino. Соответственно,

эти две книги представляют собой «суперруководство по Arduino», способное дать читателю все необходимые знания для реализации проекта.

Это руководство среднего уровня сложности. Хотя я пытался описать все максимально простым языком. Иногда упрощения в тексте могут показаться излишними для более опытного читателя, но помните, что я старался донести текст для читателей, не имеющих технического образования. Я старался быть краток и в то же время дать достаточно информации, чтобы вы могли сразу приступить к работе. В книге «Электроника для начинающих. Самый простой пошаговый самоучитель» я допустил несколько ошибок. Иногда ошибки могут проскакивать из-за огромного количества проделанной над книгой работы. Наверняка и в этой книге я допущу некоторые ошибки. Если вы с ними столкнетесь, незамедлительно отмечайте их на моем сайте [www.zepelinmaker.it](http://www.zepelinmaker.it) или присылайте по электронной почте [paolo@zepelinmaker.it](mailto:paolo@zepelinmaker.it). Я постарался дополнить текст всеми необходимыми изображениями. Иногда я прибегал к использованию программы Fritzing, не только потому, что она предоставляет отличные возможности для создания проектов на макетной плате, но и потому, что у нее качественные векторные изображения.

## Структура книги

В первой главе мы рассмотрим историю Arduino, что это такое и для чего используется. Во втором разделе я расскажу о контроллере Arduino Uno (или Genuino Uno), его устройстве с полным описанием компонентов и сравним его с другими существующими контроллерами. Третья глава очень краткая, в ней мы рассмотрим установку и начальную конфигурацию Arduino. В четвертой главе мы пройдем краткий курс по программированию, так как у большинства начинающих нет этого навыка, а он очень важен как для написания программ, так и для использования Arduino в целом. В пятой главе подробно рассмотрим основные команды и алгоритмы Arduino. Шестая глава описывает электронные компоненты и их применение с Arduino. Седьмая глава посвящена продвинутым задачам. Если вы новичок в этих вопросах, рекомендую вам пропустить ее. Рассмотренные в ней задачи используются редко, но они могут запутать вас. В восьмой главе мы познакомимся с датчиками и задачами, для решения которых они используются. Девятая глава рассматривает исполнительные устройства, транзисторы и компоненты,

работающие под напряжением, отличным от стандартного для Arduino. Десятая глава посвящена средствам связи: от передачи данных через COM-порт до сотовой связи стандарта GSM. Последняя, одиннадцатая, глава полностью посвящена контроллеру Arduino Yún.

В конце книги я добавил приложение, рассказывающее, как определять сопротивление резисторов по цветовой маркировке, так как в основных главах эта тема не рассматривается.

Вы также можете ознакомиться с дополнительным контентом на нашем сайте [www.zepelinmaker.it/manualearduino](http://www.zepelinmaker.it/manualearduino) и [arduino.madeformakers.it](http://arduino.madeformakers.it).

Это руководство по Arduino изначально распространялось бесплатно и в первый же месяц после издания было скачано 5000 раз: отличный показатель. Благодарю всех, кто скачал книгу и поделился со мной замечаниями и наблюдениями. Отдельная благодарность всем людям, содействовавшим моей работе и поддержавшим меня пожертвованиями.

## Автор

Меня зовут Паоло Аливерти, и я инженер-связист, мастер по ремонту и предприниматель. В 1999 году я окончил Миланский технический институт, защитив диссертацию, посвященную робототехнике, искусственному интеллекту и машинному зрению. Электроникой и компьютерами увлекаюсь с десяти лет. Я написал книгу «Электроника для начинающих. Самый простой пошаговый самоучитель» и еще два руководства по 3D-печати. Я регулярно публикую свои проекты в «3D Printing Creative», ведущем итальянском журнале о 3D-печати, а также организую курсы и семинары по цифровым разработкам, Интернету вещей и интерактивным системам. С 2008 года я занимаюсь разработкой и производством различных прототипов. С 2015 года я уволился с основной работы на железной дороге и посвятил себя хобби. При любой возможности я взбираюсь на какую-нибудь гору с веревкой, шипами и скобами.

## Внимание!

Электрический ток очень опасен! Ток невидим. Если вы не уверены в том, что делаете, вы можете получить травму и даже умереть. Никогда не используйте для ваших экспериментов напряжение 230 вольт! Всегда

используйте только батареи и аккумуляторы, и даже при этом соблюдайте максимальную осторожность.

Не так давно я работал в Риме над роботами из RoboCup-99. У команды из Миланского технического института был робот, играющий в «Лиге средних размеров». Это был довольно массивный робот, которого питали аккумуляторы на 12 вольт общим весом в несколько килограммов. После часов непрерывной работы над программным обеспечением я настолько устал, что, подключая источник питания, перепутал черный и красный провода. Произошел мощный хлопок и образовалось отверстие в зеленом коврик покрытия игрового поля.

Если вы в чем-то сомневаетесь, спросите у более опытного человека, вашего преподавателя или другого энтузиаста электроники. В Интернете вы найдете множество тематических сайтов и сообществ, включая форумы и социальные сети (хотя порой и нелегко оценить достоверность информации).

Ни я, ни издание не несем ответственность за последствия от возможных результатов экспериментов, описанных в этой книге. Также мы не несем ответственность за вред, причиненный вещам, людям и животным, который вы можете нанести в процессе ваших экспериментов.

# Мир Arduino

**Небольшая плата с микроконтроллером Arduino, разработанная в Италии, дает широкие возможности для создания всевозможных проектов. Контроллеры Arduino и Genuino могут быть использованы для прототипирования и производства дронов, 3D-принтеров и различных автоматизированных устройств. Для использования Arduino вам не нужно владеть особыми знаниями, а огромное сообщество единомышленников в Интернете готово прийти вам на помощь.**

Перед покупкой своего первого контроллера Arduino я прочитал книгу Массимо Банци «Arduino для начинающих волшебников»<sup>1</sup>, которая мне очень понравилась, так как я увидел много общего с ее автором, являющимся еще и отцом этой знаменитой платформы.

Я тоже с детства интересовался электроникой и микрокомпьютерами. В восьмидесятые годы у меня был компьютер Spectrum 48K. Когда я его распаковал, внутри коробки обнаружил пособие по программированию, потому что в ту эпоху считалось обычным делом пользоваться компьютером именно для программирования. Это были годы, когда журналы по электронике продавали в киосках, в магазинчиках для хобби и электроники. Мне было около десяти лет, когда я собрал свою первую электрическую цепь. Не помню, как именно я этому научился. В этом мне помогли две книги, которые я сохранил по сей день: L'Elettrotecnica figurata и Il manuale dell'inventore. Это две книги с картинками, они идеально

---

<sup>1</sup> По изд. М. : Рид Групп, 2012. — Прим. ред.

подходили мне по возрасту и очень помогли в обучении. Благодаря им и множеству небольших опытов, я разобрался в резисторах и конденсаторах. В моем подвальчике была обустроена небольшая лаборатория, целиком заполненная компьютерами и папками с файлами. Я проводил в моем маленьком «бункере» дни, а иногда и ночи напролет.

Несмотря на годы обучения в Миланском техническом институте, я отдалился от моей лаборатории на многие годы, но в 2006-м прочитал книгу Нейла Гершенфельда FAV, и во мне проснулась былая страсть к электронике. За двадцатилетие многое изменилось: мощные современные технологии стали рыночным стандартом, многое упростилось, а цены на компоненты сильно снизились, сделав их легкодоступными.

В этот период я наблюдал молниеносное развитие Интернета. Помню свои первые онлайн-сеансы на переменах между лекциями в Миланском техническом университете: подключение происходило к FTP-серверу, после чего тщательно исследовались огромные архивы файлов. Адресами мы обменивались в разговоре. Это схоже с навигацией с завязанными глазами. Спустя несколько лет появился текстовый браузер Lynx, использующий протокол HTTP: огромный прорыв в то время.

В наши дни Интернет стал привычным средством связи и источником информации для всех желающих научиться чему-то новому.

В моей лаборатории, в подвале, помимо некоторых подаренных мне книг, описывающих работу транзисторов и микросхем, единственными источниками информации были подшивки журналов, которые я знал наизусть. По возможности я собирал электронные компоненты, разбирая старые электроприборы, и очень часто в мои руки попадали компоненты, о которых я ничего не знал. В наши дни достаточно ввести в поисковой системе код любого компонента, и вы найдете его техническую спецификацию (DataSheet). В Интернете есть любые схемы, учебники и инструкции, позволяющие изучить любое теоретическое и практическое понятие. В наши дни заниматься электроникой в качестве хобби намного проще, а увлекаются ею гораздо меньше людей. Сейчас этой областью занимаются только энтузиасты, *мейкеры*.

В 2008-м я написал приложение для участия в областных соревнованиях. Оно позволяло спортсменам контролировать свои тренировки и предлагало им реальные вызовы или возможность состязаться с другими *бегунами*. Чтобы моя программа не привязывала человека к телефону, вместо

него я создал небольшой GPS-модуль. Для реализации прототипа я приобрел свой первый контроллер Arduino с намерением подключить к нему все необходимые датчики.

Я удивился, насколько легко было его программировать. Достаточно подключить контроллер к компьютеру через USB-интерфейс и загрузить программу, нажав несколько кнопок.

С тех пор я воспользовался Arduino для реализации многих проектов. В 2011-м я открыл курсы для желающих научиться работать с Arduino. Пожалуй, я был среди первых в Милане, кто начал учить людей Arduino.

## История

Проект Arduino<sup>2</sup> зародился в Институте проектирования взаимодействий в итальянском городе Ивреа. Это институт повышения квалификации для аспирантов, основанный компаниями Olivetti и Telecom. Зародился он в особом месте, в городе, повидавшем восход и закат большой итальянской индустриальной электроники, период, заставивший всех нас немного помечтать. К сожалению, в Италии немного осталось от тех больших компаний и умов, знавших, как конкурировать с транснациональными компаниями на мировом рынке. Мы изобрели персональный компьютер, конкурировали с такими гигантами, как IBM, но потом что-то пошло не так: наша политическая и экономическая система постепенно разрушила все, что было создано в послевоенный период, и предприниматели уступили менеджерам, которые специализировались на финансах и которые их и обобрали.

Я не знаю всей истории, но, говорят, что в 2003 году Эрнандо Барраган разработал в Иврее оригинальный проект, способный сблизить дизайнеров и энтузиастов с миром электроники. Или лучше сказать: способный облегчить интеграцию электроники в современные интерактивные продукты. Детище Баррагана получило название Wiring, и этот проект все еще действует. Wiring — это небольшая плата, оснащенная микроконтроллером, который можно очень легко программировать на компьютере

---

<sup>2</sup> Эта история — плод моего воображения и результат поиска публикаций в Интернете. Я никогда не брал интервью у людей, задействованных в проекте, и надеюсь, что мой текст весьма близок к правде. Да простят меня Массимо Банци и Эрнандо Барраган, если я где-то допустил ошибку! — *Прим. авт.*

с помощью модифицированной программы Processing (изначально — средство разработки, позволяющее облегчить программирование и освоение языка Java). Processing — это проект с открытым кодом, измененный для программирования контроллера Wiring на языке C. Wiring и модифицированная версия программы Processing вместе составляют систему, основу для быстрой сборки электрических цепей. Стоит отметить, что набор инструкций программирования выполняется не на чистом языке C, а в упрощенной форме, скрывающей низкоуровневый код. Такой подход облегчил работу неопытных мейкеров.

Массимо Банци заинтересовался работой Баррагана и в 2005 году решил разработать новый микрокомпьютер, оттолкнувшись от оригинальной идеи проекта Wiring, пытаясь как можно больше упростить систему и уменьшить стоимость самого контроллера. Новый проект назвали Arduino, так же, как и одноименный бар в Иврее, в котором команда разработчиков встречалась после работы. В разработке приняли участие: Массимо Банци, Дэвид Куартиель, Том Иго, Джанлука Мартино и Дэвид Меллис. С тех пор проект пользуется невероятным успехом среди разработчиков и не только. Небольшой контроллер из Ивреи используется для сборки бесчисленных проектов и позволяет собирать невиданные ранее устройства, в особенности среди людей, не обладающих знаниями в электронике.

Так родилась Arduino, маленькая плата с микропроцессором, научиться пользоваться которой может любой человек. Для программирования достаточно подключить Arduino к USB-порту компьютера, написать пару инструкций, подключить пару компонентов и нажать кнопку загрузки сценария (*скетча*). В случае ошибок в коде их можно исправить по ходу работы. Инструкции довольно простые и понятные. Интегрированная среда разработки (IDE, Integrated development environment) сопровождается множеством демонстрационных скетчей, из которых можно черпать идеи собственных программ. Для дальнейшего облегчения разработок придуманы небольшие дополнительные *платы расширения*, называемые *шилдами*, которые можно подключать к Arduino. Существуют платы расширения с экранами, с Bluetooth-модулем, с кнопками, с контроллерами сервоприводов, с GPS/ГЛОНАСС, со звуковыми модулями и многие другие. Даже без перемычек вы сможете собрать «небоскреб» из плат расширения,

устанавливая их друг на друга, и, таким образом, создать даже очень сложное устройство.

Существуют наборы, состоящие из большой материнской платы, на которую устанавливается Arduino, и множества более мелких модулей и перемычек, позволяющих в итоге собрать необходимое устройство. Аналогично платам расширения существуют и прочие мелкие модули с кнопками, различными датчиками, индикаторами, дисплеями, светодиодами, реле и даже электродвигателями.

Микрокомпьютер Arduino пользуется успехом, потому что он прост и всегда работает. Потому, что вы всегда найдете то, что вам нужно, не ломая головы. Потому что этот продукт качественно сделан и непрерывно поддерживается производителем. Контроллер всегда производился только на территории Италии и всегда будет производиться только здесь, так что можно считать его настоящим *итальянским* продуктом.

Учебный проект со временем превратился в финальный продукт с открытым исходным кодом. Никаких секретов и подводных камней. Все схемы и спецификации можно найти в Интернете, как и программное обеспечение (ПО), необходимое для работы с контроллером Arduino в домашних условиях.

Компании часто параноидально относятся к вопросам безопасности и, если это возможно, держат все разработки в строжайшем секрете. Проект Arduino продемонстрировал, что с соответствующими мерами предосторожности можно создать преуспевающую компанию, основываясь на открытом исходном коде. Защита товарного знака не в самом патенте на устройство, а в ответственности за собственный продукт: ответственности, созданной на основе сотрудничества энтузиастов со всего мира.

Впоследствии из-за споров по поводу обладания маркой Arduino микрокомпьютер по всему миру (кроме США) продают под маркой Genuino, но речь идет об одном и том же продукте. В США продукт зарегистрирован под маркой Arduino. В Италии тот же контроллер продается под маркой Arduino, но до недавнего времени производился более не существующей компанией Smart Projects, ныне переименованной в Arduino S.r.l. Пусть выше сказанное не вводит вас в замешательство, ведь все, что вы найдете в этой книге, вы можете равноправно использовать как с контроллером Arduino, так и Genuino.

## Контроллеры, микроконтроллеры и микропроцессоры

Что такое микроконтроллер? Прежде, чем ответить на этот вопрос, рассмотрим *микропроцессор*: устройство, выполняющее арифметические и логические операции, а также операции управления. Микропроцессор может быть реализован в виде одной или нескольких микросхем. Эти микросхемы служат мозгом наших компьютеров, и для работы им необходимы память, диски, периферийные устройства различных типов, мышь, клавиатура, дисплей. Первый микропроцессор был создан в 1970-х годах компанией Intel, назывался «4004», состоял из нескольких транзисторов и мог осуществлять простые математические операции в четыре бита и частотой в несколько килогерц (кГц). Современные микропроцессоры сделали огромный скачок со времен разработки микропроцессора «Intel 4004». Современные микропроцессоры состоят из сотен тысяч транзисторов и функционируют на частоте в несколько гигагерц (ГГц).

В отличие от микропроцессора, микроконтроллер — это микросхема, состоящая из небольшого микропроцессора и необходимого минимума средств для его работы: оперативной памяти, флеш-памяти в качестве диска для сохранения информации, долговременной памяти (EEPROM), тактового генератора, аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и простых периферийных устройств, позволяющих взаимодействовать микроконтроллеру с внешним миром. Многие микроконтроллеры имеют невысокую производительность, но и их цена тоже невысокая. По этой причине их можно встретить почти во всех устройствах, которыми мы пользуемся каждый день. Благодаря серии инноваций, сделанных в 1990-е годы компаниями ATMEЛ и Microchip, микроконтроллеры стали очень простыми в использовании, что поспособствовало их дальнейшему распространению. Современный микроконтроллер не нуждается в специфической аппаратной части для программирования, а прошивку на нем можно установить даже после того, как микроконтроллер будет установлен в печатную плату, называемую *контроллером*, например Arduino. До этих новшеств для прошивки микроконтроллера нужно было подвергнуть его ультрафиолетовому излучению (чтобы стереть с него все данные) и после этого установить прошивку посредством