

Ревич Юрий

АЗБУКА ЭЛЕКТРОНИКИ ИЗУЧАЕМ ARDUINO



Москва
Издательство АСТ

УДК 087.5: 621.38
ББК 32.85
Р32

Все права защищены.

Ни одна часть данного издания не может быть воспроизведена или использована в какой-либо форме, включая электронную, фотокопирование, магнитную запись или какие-либо иные способы хранения и воспроизведения информации, без предварительного письменного разрешения правообладателя.

Ревич, Юрий.

Р32 Азбука электроники. Изучаем Arduino / Ю. Ревич. – Москва: Издательство АСТ: Кладезь, 2017. – 224 с. – (Электроника для всех).

ISBN 978-5-17-102271-6

В книге читатель знакомится с основой современной электроники — микроконтроллерами на примере популярной любительской платформы Arduino. Начиная с простых схем, управляющих свечением светодиода, читатель постепенно переходит к более сложным устройствам: бытовой автоматике, часам и измерительным приборам, элементам конструкции механических устройств. Последовательно изложены принципы программирования в среде Arduino с подробными пояснениями.

Книга представляет собой продолжение книги «Азбука электроники. Электронные устройства своими руками», где можно найти необходимые элементарные физические сведения, а также свойства основных электронных компонентов. Книга предназначена детям среднего и старшего школьного возраста и их родителям, кружкам по электронике, а также всем тем, кто интересуется современной электроникой.

УДК 087.5: 621.38
ББК 32.85

ISBN 978-5-17-102271-6

© Ревич Ю.В., 2017

© ООО «Издательство АСТ», 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

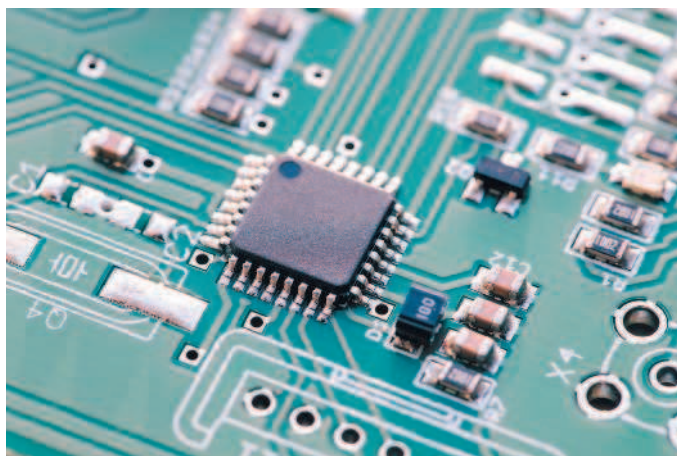
РЕВОЛЮЦИЯ ПОД НАЗВАНИЕМ ARDUINO	5
Что такое Ардуино?	8
ЧТО ТАКОЕ ARDUINO?	11
Основные платы Arduino.....	11
Среда программирования Arduino IDE.....	20
Язык программирования Arduino.....	29
ГЛАВА 1. ПРОСТЫЕ КОНСТРУКЦИИ НА ARDUINO	41
Эксперимент 1. Мигаем светодиодом	41
Эксперимент 2. Управляем кнопкой	47
Эксперимент 3. Звуки Arduino.....	54
Эксперимент 4. Пешеходный светофор.....	62
ГЛАВА 2. АНАЛОГОВЫЕ ВВОД И ВЫВОД	65
Эксперимент 5. Аналоговый вход	66
Эксперимент 6. Аналоговый выход: плавное управление нагрузкой	69
Эксперимент 7. Аналоговый пульт управления.....	80
Эксперимент 8. Термостат	82
ГЛАВА 3. ДИСПЛЕИ	90
Эксперимент 9. Подключение цифрового дисплея к Arduino.....	92
Эксперимент 10. Простой электронный термометр.....	104

Эксперимент 11. Arduino и графический дисплей	114
Эксперимент 12. Подключение текстового дисплея	133
ГЛАВА 4. ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ В ARDUINO	139
Интерфейс TWI (I ² C)	140
Эксперимент 13. Электронные часы	144
Эксперимент 14. Подключение цифровых датчиков.....	158
Эксперимент 15. Беспроводная передача данных	179
Глава 5. Познавательные проекты	189
Эксперимент 16. Пирозлектрический датчик и охранная сигнализация.....	189
Эксперимент 17. Управляем с любого ИК-пульта	193
Эксперимент 18. Эксперименты с сервоприводом.....	197
Эксперимент 19. Ультразвуковой дальномер	205
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ARDUINO MINI И PRO MINI	209
Программирование Mini с помощью платы Arduino Uno	209
Программирование Mini через адаптер USB-UART	211
Программирование Arduino Mini через адаптер USB-UART с автоматическим сбросом	212
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. СЛОВАРЬ ЧАСТО ВСТРЕЧАЮЩИХСЯ АНГЛОЯЗЫЧНЫХ АББРЕВИАТУР И ТЕРМИНОВ	216

РЕВОЛЮЦИЯ ПОД НАЗВАНИЕМ ARDUINO

Перед вами вторая книга «Азбука электроники». В первой книге были изложены основы электроники. По сути первая книга — иллюстрация к тому, какой электроника была до появления больших и сверхбольших интегральных схем. Это не значит, что такая электроника полностью потеряла значение и сегодня ее изучать уже не требуется. Наоборот — многие вещи получаются проще, дешевле и надежнее, если они сделаны без применения сложных современных схем, и работают при этом ничуть не хуже. Многие промышленные бытовые электроприборы и сейчас делают вообще без всякой электроники, и никто на их работу не жалуется.

Однако, как вы увидите из этой книги, применение современной электроники прежде всего намного упрощает процесс разработки электронных устройств. Чем сложнее устройство и выполняемые им задачи, тем легче его спроектировать именно с помощью современных компонентов. Вы сможете сравнить, скажем, цифровой термометр на отдельных интегральных микросхемах — один из самых сложных и громоздких проектов, описанных в первой книге, и цифровой термометр на Arduino, который содержит ровно три детали, включая индикаторную панель, на которой демонстрируется значение температуры (см. *Эксперимент 10*). В этой книге такой термометр будет одним из самых простых проектов — просто иллюстрацией к применению индикаторных дисплеев.



Что же это за большие и сверхбольшие микросхемы, которые позволяют настолько упростить процесс проектирования электронных устройств? К таким микросхемам относятся в первую очередь микропроцессоры и микроконтроллеры. Не только они, конечно — скажем, всем знакомые флэш-карточки и флэш-накопители тоже относятся к тому же поколению электронных компонентов и тоже совершили своеобразную революцию в электронике и информатике. Но мы здесь будем иметь дело в первую очередь с микроконтроллерами, которые давно стали универсальным средством для создания цифровых устройств любого назначения.

Подробности для любознательных. Микроконтроллеры и микропроцессоры — как правильно?

Микропроцессор — это интегральная схема, которая позволяет производить математические операции над числами. Микропроцессор является основной частью, мозгом любого компьютерного устройства, от детского робота-игрушки до смартфонов и ноутбуков. Самые навороченные суперкомпьютеры, установленные в больших вычислительных центрах, тоже содержат микропроцессоры, причем число их там обычно составляет сотни и тысячи.

Но микропроцессор в одиночку не умеет больше ничего, кроме как «перемалывать» поступающие в него числа. Законченное компьютерное устройство должно иметь еще, как минимум, память, где хранятся программы и результаты их работы, и средства ввода-вывода, которые позволят микропроцессору обмениваться информацией с внешней средой.

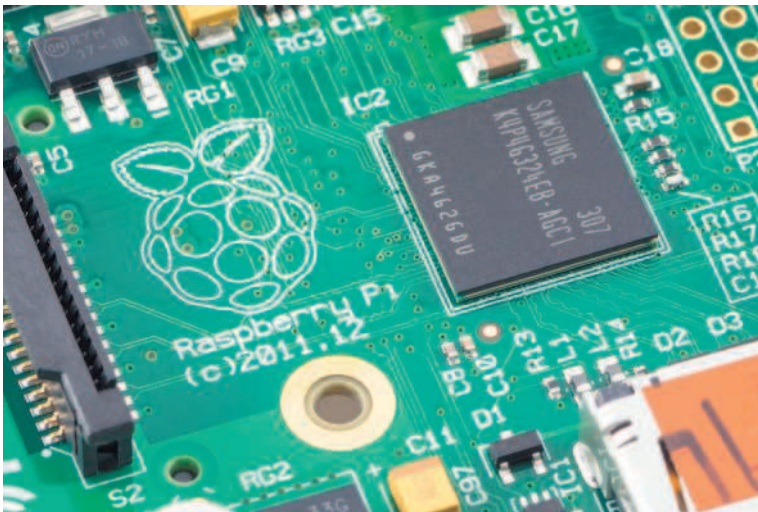
В больших компьютерах (к которым можно условно отнести все компьютерные устройства крупнее, чем планшеты — ноутбуки, настольные компьютеры и так далее) стоят мощные микропроцессоры. Для них важна в первую очередь производительность, то есть наибольшее возможное количество операций в секунду, микропроцессоры ни на что больше не должны отвлекаться. В таких компьютерах значительная часть дополнительных действий — запоминание, управление вводом и выводом данных и прочие, — возложена на отдельные микросхемы, внешние по отношению к «числодробилке»-микропроцессору.

Но есть и огромное количество задач, где производительность не столь важна. Много ли вычислительной мощности требуется, чтобы получить значение с температурного датчика и вывести его на дисплей? Или управлять включением-выключением освещения в зависимости от времени суток? Зато в таких устройствах необходимы другие качества: малые габариты, дешевизна, простота

в обращении, малое энергопотребление и т.д. Именно для таких целей придумали устройства, которые назвали микроконтроллерами. Иначе их еще называют «однокристальными компьютерами» (по-английски, computer-on-chip).

Кроме собственно микропроцессора, микроконтроллер обычно содержит на том же кристалле: долговременную память для записи программ; оперативную память для промежуточного хранения данных; устройства, которые позволяют обмениваться данными с другими компьютерами или различными датчиками нескольких разновидностей (порты ввода-вывода); счетчики-таймеры для измерения времени, аналогово-цифровые преобразователи и еще много всяких вспомогательных компонентов. Эти особенности микроконтроллера и позволяют сделать процесс проектирования быстрым, удобным и дешевым.

Кстати, на основе практически любого универсального микроконтроллера ничего не стоит спроектировать и изготовить настоящий персональный компьютер. Для этого к нему надо добавить клавиатуру, дисплей и, возможно, некоторое количество внешней памяти. Все это делается с помощью стандартных процедур и модулей. Полученный компьютер будет даже быстрее, чем самые первые модели персоналок, разработанные в конце 1970 — начале 1980-х годов и известные под названием Apple II и IBM PC. Но, конечно, заниматься этим смысла не имеет: современные настольные компьютеры и ноутбуки работают в сотни и тысячи раз быстрее, и никаких привычных ныне задач, вроде демонстрации фотографий и видео, такой импровизированный компьютер выполнить не сможет.



Но и это ограничение можно преодолеть — вслед за однокристальными компьютерами в последнее десятилетие появились и одноплатные компьютеры. Это несколько более громоздкое устройство, чем микроконтроллер — как следует из названия, оно уместается на одну небольшую плату. Одноплатный компьютер (английское название — *single-board computer*) имеет в составе более мощный микропроцессор, чем обычные микроконтроллеры, а также все необходимые в современном устройстве составляющие. Подключив к нему дисплей и клавиатуру, вы получите вполне работоспособный компьютер, снабженный операционной системой Linux. Его также можно использовать, как управляющий центр для сложных электронных устройств — роботов и квадрокоптеров, электромобилей и т. д., то есть там, где возможностей простых микроконтроллеров не хватает.

Что такое Ардуино?

В 2004 году несколько инженеров и преподавателей института в итальянском городе Ивреа поставили перед собой цель научить студентов неэлектронных специальностей создавать электронные устройства. Создавать быстро и, желательно, без углубленного изучения электроники, электротехники и программирования. Серия специальных плат, которую они создали, получила название Arduino от имени реально существовавшего короля Ардуина, правившего Италией в 1002—1014 годах.

Авторы идеи взяли за основу Arduino один из самых популярных универсальных микроконтроллеров своего времени под названием ATmega8. Эта микросхема относится к семейству так называемых AVR-контроллеров, которую разрабатывает и выпускает фирма Atmel. За годы существования семейства Arduino AVR-контроллеры постепенно совершенствовались, и сейчас основой для большинства плат Arduino служит контроллер ATmega328. В первую очередь он обладает значительно большим объемом памяти, чем его предки ATmega8 и ATmega168, но по подключению ничем от них не отличается. Есть и платы Arduino на других контроллерах — более мощных или обладающих другим набором функций.

Подробности для любознательных: AVR-контроллеры

Микроконтроллеры семейства AVR фирмы Atmel относятся к разновидности 8-разрядных универсальных микроконтроллеров. Определение «универсальные» означает, что они предназначены для широкого круга разнообразных задач, а не для выполнения только каких-то специализированных действий (как, например, контроллеры, предназначенные только для управления дисплеями или, скажем, обработки аудио). А «8-разрядные» означает, что они оперируют числами размером в 8 двоичных разрядов, иначе называемых байтами. Это не значит, что они не могут перемножать или делить числа большого размера (многобайтные), просто они выполняют такие операции в несколько приемов и потому гораздо медленнее, чем контроллеры большей разрядности. Зато они дешевые, очень просто управляются и быстро работают при выполнении многих простейших операций.

Идея итальянских инженеров оказалась настолько плодотворной, что они образовали коммерческую компанию, которая стала проектировать и выпускать платы Arduino. Очень важным моментом во всей этой истории был тот факт, что, кроме названия Arduino, компания Arduino LLC не закрепляла за собой какие-то права на разработанные платы. Схемы плат и среда для их программирования распространяются под свободной лицензией и могут выпускаться и модифицироваться любым желающим.

Это в значительной степени способствовало взрывному росту популярности Arduino не только среди радиолюбителей, но и среди производителей комплектующих. За прошедшие годы по всему миру появилось множество клонов плат Arduino, нередко с теми или иными изменениями и усовершенствованиями, под разными названиями в том же стиле: Freeduino, Craftduino, Carduino и многие другие. Все подобные копии (клоны) совместимы с оригинальными платами Arduino, в том числе и по размерам. Они могут иметь те или иные усовершенствования: например, российский Craftduino имеет больше выводов в целях доступности использования различных функций контроллера, Freeduino — усовершенствованные способы питания и так далее.

В настоящее время название Arduino означает целую отрасль промышленности, выпускающей комплектующие для быстрого проектирования и самостоятельной сборки устройств самого различного назначения — от игрушек и бытовой автоматики до крупных электронных проектов. Трудно найти такую задачу в области электроники, для которой бы не существовало Arduino-решения. Платформой заинтересовались

и серьезные «взрослые» компании: так, Google создала специальный программный интерфейс для взаимодействия Arduino-устройств с операционной системой Android в коммуникаторах и планшетах, а компания iRobot — для подключения Arduino-модулей к ее роботам-пылесосам. Поддержка Arduino также включена в состав AVR Studio — профессиональной среды программирования AVR-контроллеров фирмы Atmel.

Не стоит, конечно, думать, что владение Arduino заменит профессиональный подход к проектированию электронных устройств на основе микроконтроллеров. Однако, Arduino — отличная стартовая площадка для новичков, позволяющая своими руками пощупать, что это такое — современная электроника. И на ее основе можно сделать много интересных и пригодных для практического использования вещей, которые доставят вам немало радости!

Автор предполагает, что читатель уже знаком с макетными платами, мультиметром, знает, что такое осциллограф, и умеет определять величину резистора по цветовому коду. Если это не так, то советую обратиться к первой книге — «Азбука электроники. Электронные устройства своими руками», где подобные сведения изложены во всех подробностях.

Архивы с текстами программных примеров из книги можно скачать с сайта автора по адресу <http://revich.lib.ru/AVR/AzbukaEL.zip>. В конце книги (*Приложение 2*) помещен краткий англо-русский и русско-английский словарики некоторых специфических терминов, употребляемых в электронике, а также расшифровка часто встречающихся английских сокращений.

Автор благодарит директора центра инновационных образовательных технологий МФТИ Тараса Пустового и сотрудников ООО «Киберфизика» Руслана Тихонова и Татьяну Волкову за поддержку проекта книги, а также сеть магазинов «Чип и Дип» за разрешение использовать изображения компонентов из ее каталога.

Связаться с автором можно по электронной почте revich@lib.ru.

ЧТО ТАКОЕ ARDUINO?

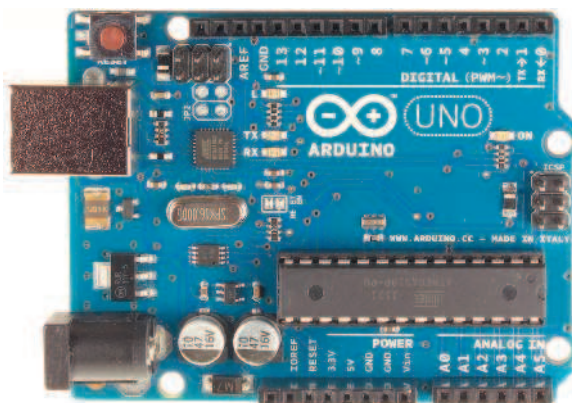
Как вы уже узнали из предисловия, Arduino — семейство плат на основе микроконтроллеров серии AVR фирмы Atmel. Все платы из этого семейства объединены единым принципом устройства и способами программирования, потому мы в дальнейшем будем часто упоминать *платформу* Arduino, имея в виду все семейство в целом.

В этой вводной главе мы прежде всего познакомимся с некоторыми самыми распространенными платами Arduino, на которые мы будем опираться в дальнейшем. Затем мы кратко познакомимся со средой программирования Arduino и некоторыми особенностями языка программирования, лежащего в ее основе.

Из сетевых ресурсов, посвященных Arduino, можно порекомендовать русскоязычный сайт arduino.ru. В существенной своей части он представляет собой перевод англоязычного официального сайта arduino.cc, хотя часто не успевает за обновлениями, потому содержит много устаревшей информации. Более интересен его украинский коллега на русском языке arduino.ua, на котором, кроме официальной информации, можно найти много различных попутных сведений. Новейшие версии плат Arduino и документацию к ним лучше искать на англоязычном arduino.org — сайте европейской компании, разрабатывающей и выпускающей эти платы.

Основные платы Arduino

В предисловии также упоминалось, что ранее платы Arduino использовали контроллер ATmega168 (а еще ранее — самый первый представитель этой линейки ATmega8). И до сих пор на многих ресурсах в Сети можно встретить ссылки на принципиальные схемы и обозначения выводов плат, где показан именно ATmega168. Это не должно вас смущать, потому что эти контроллеры устроены одинаково и различаются лишь объемом памяти для различных целей, в том числе — для загрузки программы. Так что схемы



с обозначениями выводов на основе любой из этих разновидностей AVR-контроллеров пригодны для использования.

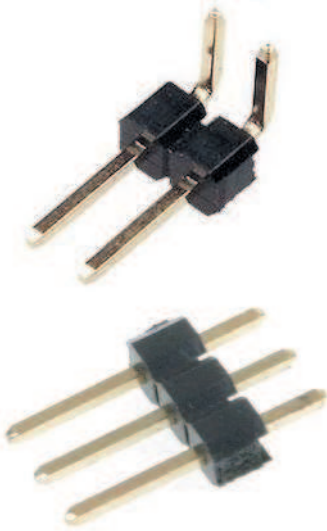
Сами платы, конечно, совершенствуются со временем и потому могут несколько отличаться. Хотя все новые их разновидности можно без раздумий ставить вместо старых — изменения почти не затрагивают главных особенностей.

Различных плат Arduino существует более полутора десятка разновидностей. Примеры из этой книги ориентированы на три варианта: самую известную плату Arduino Uno, а также две миниатюрных платы, удобных для применения в автономных малогабаритных конструкциях — Arduino Nano и еще меньшую по размерам Arduino Mini (не путать с Arduino Micro!). С точки зрения программирования эти платы устроены одинаково, и программу, отлаженную на наиболее удобной для макетирования плате Arduino Uno, можно без проблем закидывать в Nano и Mini.

Arduino Uno (см. рисунок на предыдущей странице) — основная (базовая) модель Arduino, на нее равняются все остальные. Ее размер (54×69 мм, без учета разъемов, выступающих за пределы платы) и конфигурация контактов стали стандартом, на который равняется множество электронных изделий, включая даже далекие от собственно Arduino. На размеры Arduino Uno обычно ориентируются также производители плат расширения, так называемых «шилдов» (shields). «Шилды», содержащие дополнительные компоненты или гнезда для их подключения, могут устанавливаться на плату Arduino Uno «в этажерку» друг над другом.

Другие платы и внешние датчики подключаются к Arduino Uno с помощью широко распространенных контактных колодок с шагом 2,5 мм (см. рисунок слева). Такие разъемы со штырями носят название PLS, ответные части-гнезда (такие, как установлены на плате Arduino Uno) называются PBS. Платы расширения имеют такие же разъемы, как на плате Arduino Uno, но с противоположной гнездам стороны разъемов у них торчат штыри, что и позволяет устанавливать платы «в этажерку».

Рассмотрим кратко основные компоненты платы Arduino Uno. Самая большая микросхема с 28 выводами (по 14 с каждой стороны) — это сам контроллер ATmega328.



Здесь он установлен на панельку, что позволяет извлекать его и, например, использовать отдельно в других схемах. Таким путем Arduino Uno можно использовать в качестве программатора для этой микросхемы.

Подробности для любознательных: альтернативные способы программирования Arduino

Контроллер ATmega328 в составе плат Arduino программируется без излишних сложностей через последовательный порт, размещенный на плате (см. далее). Однако, практически на всех платах Arduino имеется отдельный программирующий 6-контактный разъем (двухрядный со штырями, на фото Arduino Uno он расположен справа вверху от контроллера). Этот разъем позволяет не использовать среду Arduino, а запрограммировать контроллер в любой удобной системе программирования, включая профессиональные пакеты. На любой плате Arduino обязательно имеются, как минимум, контактные площадки для установки такого разъема, позволяющего запрограммировать контроллер, не извлекая его из схемы. Такая система носит название ISP, что означает In System Programming («программирование в системе»). Через нее же закачивается программа Bootloader, которая всегда присутствует в Arduino — именно она позволяет запрограммировать контроллер через USB без лишних проблем.

Возможно и обратное: платы Arduino можно применять в качестве программатора — для загрузки программ, созданных в среде программирования Arduino IDE, в другие типы контроллеров семейства AVR. Тогда их можно использовать отдельно в схемах, где дополнительные устройства, размещенные на плате, не требуются, а возможности довольно-таки навороченного контроллера ATmega328 излишни. Пример того, как пользоваться этой возможностью, можно посмотреть, например, на сайте *Amperka.ru* (см. <http://wiki.amperka.ru/программирование:работа-c-attiny-через-arduino>).

На другом торце платы Arduino Uno размещен, во-первых, основной коммуникационный USB-разъем для подключения к компьютеру. По традиции он самого большого размера из всех многочисленных разновидностей USB (такие разъемы устанавливаются сейчас только на крупногабаритной технике, например, на принтерах или сканерах). Потому к нему придется приобретать отдельный кабель, называемый USB-кабелем типа AB. Сторона А — это обычный прямоугольный USB, всем хорошо знакомый по флэш-накопителям, он вставляется в компьютер, а сторона В — квадрат со скошенными гранями, он

и вставляется в разъем на плате. Через USB-разъем производится программирование платы в среде Arduino и одновременно он же служит для посылки сообщений через последовательный порт контроллера при его работе.

Во-вторых, на той же стороне платы размещено гнездо для подключения внешнего источника питания. При подключении к компьютеру через USB-разъем плата будет получать питание 5 вольт через него, таким образом при программировании отдельного внешнего источника обычно не требуется. Если в гнездо питания вставить штекер от сетевого адаптера, то тогда уже питания от USB не требуется, и плата может работать отдельно от компьютера. Напряжение, которое выдает адаптер, может быть нестабилизированным и должно находиться в пределах 7–12 вольт. Теоретически преобразователь питания, встроенный в Arduino, позволяет подавать внешнее питание до 20 вольт, но он не установлен на радиатор и может перегреваться при значительной разнице напряжений между входом и выходом. Потому в описаниях Arduino обычно ограничивают питание значением 12 вольт, хотя при небольшой нагрузке платы можно подавать питание и немного выше этого значения.

Кстати, если внешний источник стабилизированный, то нижнее значение в 7 вольт также соблюдать необязательно — при необходимости Arduino Uno отлично работает от 5-вольтовых адаптеров или от батарейных блоков с напряжением даже ниже 5 вольт. При покупке адаптера надо учитывать, что диаметр штекера разъема питания составляет 5,5 мм, и более тонкие разъемы (например, от мобильных зарядников) сюда не подойдут. При необходимости подключения нестандартных источников или батарейных блоков можно приобрести универсальный разъем 5,5 мм, в котором установлена колодка для непосредственного подключения проводов от источника «под винт» (см. рисунок справа).



На контакты боковых разъемов, о которых мы говорили ранее, в основном выведены напрямую выводы самого контроллера, иногда их еще называют портами (хотя это и не совсем точно). Часть из этих выводов обозначается просто цифрами от 0 до 13 — это цифровые порты ввода-вывода, которые могут переключаться из состояния работы «на выход» в состояние «на вход» для приема сигналов логических уровней нуля и единицы. На схемах их часто обозначают цифрой

с добавлением буквы D (от слова digital, например, D3 или D12 — в тексте программы это все равно будет просто 3 или 12). Многие из них также задействованы в других функциях контроллера — например, выводы номер 0 и 1 представляют собой выводы RX и TX последовательного (serial) порта UART. Если в программе предусмотрен обмен сигналами между Arduino и компьютером или другими компонентами схемы через такой порт, то в качестве обычных входов-выходов выводы 0 и 1 задействовать нельзя. Последовательный порт используется почти в каждом проекте (хотя бы на стадии загрузки программы), и в качестве цифровых портов 0 и 1 практически не применяют. Потому на платах Mini и Nano (о которых далее) эти два вывода обозначены только, как выводы последовательного порта (RX и TX), а нумерация цифровых выводов начинается с двойки.

К выводу номер 13 традиционно подключен светодиод с токоограничивающим резистором (он размещен на плате недалеко от этого вывода и обозначен буквой L). Его можно использовать для проверки работы различных программ, причем работе вывода при другом его использовании этот светодиод не мешает. Есть и другие важные функции отдельных выводов, о которых мы поговорим при рассмотрении различных схем.

Шесть выводов с буквой A в обозначении могут работать в качестве аналоговых входов — к ним подключен аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). Наличие таких входов — одно из самых главных преимуществ Arduino. Именно это качество превращает процесс проектирования, например, цифрового термометра в рутинную операцию, состоящую из написания нескольких строк в программе. Заметим, что аналоговые порты, если они не использованы по назначению, могут также служить в виде обычных цифровых портов ввода-вывода с номерами от 14 до 19.

Кроме портов ввода-вывода, на боковые разъемы с другой стороны платы выведены многочисленные выводы, связанные с питанием, назначение которых понятно из надписей рядом. Следует отметить, что напряжение 3,3 вольта получается из отдельного преобразователя, установленного на плате, и часто бывает необходимо для питания внешних датчиков. Напряжение Vin повторяет то, что подается на разъем внешнего питания (можно подавать внешнее питание сюда вместо внешнего разъема). Особую функцию выполняет вывод, обозначенный, как AREF — в необходимых случаях на него подается отдельное опорное напряжение для АЦП, в обычном режиме на него никаких напряжений подавать нельзя. Назначение остальных выводов мы постепенно разберем при рассмотрении конкретных схем.