

# Содержание

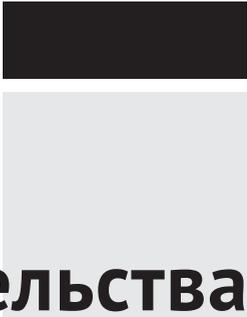
<b>От издательства</b> .....	9
<b>Предисловие</b> .....	11
<b>Благодарности</b> .....	16
<b>Об авторе</b> .....	17
<b>Глава 1 Начало работы</b> .....	18
1.1. Обзор .....	18
1.2. Общая картина .....	19
1.3. Быстрый старт Arduino .....	20
1.3.1. Краткое руководство по быстрому старту .....	21
1.3.2. Обзор среды Arduino IDE .....	24
1.3.3. Концепция альбома для эскизов .....	24
1.3.4. Программное обеспечение Arduino, библиотеки и ссылки на языки .....	24
1.3.5. Написание скетча Arduino .....	26
1.4. Приложение: светодиодная лента .....	28
1.5. Выводы .....	33
1.6. Задания .....	33
Источники .....	33
<b>Глава 2 Arduino Nano 33 BLE Sense</b> .....	34
2.1. Обзор .....	34

2.2. Плата Arduino Nano 33 BLE Sense.....	35
2.3. Возможности Arduino Nano 33 BLE Sense .....	37
2.4. Подсистемы модуля NINA B306 .....	37
2.4.1. Память модуля B306 .....	40
2.4.1.1. Программируемая флеш-память.....	40
2.4.1.2. Статическая память с произвольным доступом (SRAM) в модуле B306 .....	40
2.5. Периферийные устройства модуля NINA B306.....	41
2.5.1. Каналы широтно-импульсной модуляции (PWM).....	41
2.5.2. Последовательная связь .....	43
2.5.2.1. USART .....	43
2.5.2.2. Последовательный периферийный интерфейс (SPI) .....	47
2.5.2.3. Интерфейс I2C (TWI).....	52
2.5.2.4. Аналого-цифровой преобразователь ADC ...	53
2.5.3. Bluetooth с низким энергопотреблением (BLE) ...	56
2.5.3.1. Библиотека ArduinoBLE .....	59
2.6. Периферийные устройства Nano 33 BLE Sense.....	65
2.6.1. Девятиосевой IMU LSM9DS1 .....	65
2.6.2. Барометр и датчик температуры LPS22HB .....	67
2.6.3. Датчик относительной влажности и температуры HTS221 .....	69
2.6.4. Цифровой датчик расстояния, окружающего освещения, RGB-цвета и распознавания жестов APDS-9960 .....	71
2.6.4.1. Распознавание жестов .....	71
2.6.4.2. Датчик цвета .....	74
2.6.4.3. Датчик расстояния .....	76
2.6.5. Цифровой микрофон MP34DT05 .....	77
2.7. Приложение: Bluetooth BLE GreenhouseMonitor.....	80
2.8. Выводы.....	87
2.9. Задания .....	87
Источники .....	88

<b>Глава 3 Arduino Nano 33 BLE Sense: питание и сопряжение с внешними устройствами .....</b>	<b>90</b>
3.1. Обзор.....	90
3.2. Требования к питанию Arduino .....	91
3.3. Стабилизаторы напряжения .....	91
3.3.1. Питание Nano 33 от батарей .....	93

3.4. Концепции сопряжения с внешними устройствами ...	93
3.5. Устройства ввода .....	94
3.5.1. Переключатели и кнопки .....	94
3.5.1.1. Устранение дребезга контактов .....	96
3.6. Выходные устройства .....	98
3.6.1. Светоизлучающие диоды (LED).....	98
3.6.2. Жидкокристаллический дисплей (ЖК-дисплей, LCD).....	99
3.7. Принципы управления двигателем.....	99
3.7.1. Двигатель постоянного тока.....	102
3.7.1.1. Характеристики двигателей постоянного тока.....	102
3.7.1.2. Однонаправленное управление двигателем постоянного тока .....	103
3.7.1.3. Управление скоростью двигателя постоянного тока – широтно-импульсная модуляция (PWM).....	106
3.8. Приложение: Dagu Magician робот .....	107
3.8.1. Требования .....	111
3.8.2. Принципиальная схема .....	112
3.8.3. Алгоритм управления роботом DaguMagician ...	113
3.8.4. Тестирование алгоритма управления .....	121
3.9. Выводы.....	121
3.10. Задания.....	122
Источники .....	122
<b>Глава 4 Искусственный интеллект и машинное обучение .....</b>	<b>124</b>
4.1. Обзор.....	125
4.2. Краткая история развития искусственного интеллекта и машинного обучения .....	127
4.3. Метод К ближайших соседей.....	129
4.4. Дерево решений .....	134
4.5. Приложение: классификатор KNN .....	150
4.6. Приложение: дерево решений .....	150
4.7. Выводы.....	152
4.8. Задания.....	152
Источники .....	153
<b>Глава 5 Нечеткая логика .....</b>	<b>155</b>
5.1. Обзор концепций .....	155
5.2. Теория .....	157

5.2.1. Установить цель, входы и выходы системы нечеткого управления.....	159
5.2.2. Размыть четкий сигнал датчика .....	159
5.2.3. Применение правил .....	162
5.2.4. Объединение активных правил и восстановление четкости выхода .....	162
5.3. Arduino-библиотека eFLL.....	163
5.3.1. Простой пример.....	163
5.3.2. Расширенный пример.....	169
5.4. Применение .....	172
5.5. Выводы.....	180
5.6. Задания .....	180
Источники .....	181
<b>Глава 6 Нейронные сети.....</b>	<b>183</b>
6.1. Обзор.....	184
6.2. Биологический нейрон.....	184
6.3. Персептрон.....	185
6.3.1. Обучение модели персептрона .....	187
6.3.2. Режим выполнения одиночного персептрона ...	195
6.3.3. Сортировка помидоров.....	197
6.4. Модель группы персептронов.....	201
6.4.1. Режим выполнения трех персептронов .....	210
6.5. Проблемы персептрона.....	211
6.6. Искусственная нейронная сеть (ANN) .....	211
6.6.1. Модель одиночного нейрона .....	211
6.6.2. Режим выполнения одиночного нейрона.....	216
6.6.3. Искусственные нейронные сети ANN.....	216
6.6.4. Сходимость ANN .....	231
6.7. Глубокие нейронные сети и глубокое обучение. Введение в программные инструменты .....	232
6.8. Приложение: управление роботом с помощью ANN .....	235
6.9. Выводы.....	236
6.10. Задания .....	236
Источники .....	238
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>239</b>



# От издательства

## ***Отзывы и пожелания***

Мы всегда рады отзывам наших читателей. Расскажите нам, что вы думаете об этой книге – что понравилось или, может быть, не понравилось. Отзывы важны для нас, чтобы выпускать книги, которые будут для вас максимально полезны.

Вы можете написать отзыв на нашем сайте [www.dmkpress.com](http://www.dmkpress.com), зайдя на страницу книги и оставив комментарий в разделе «Отзывы и рецензии». Также можно послать письмо главному редактору по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com); при этом укажите название книги в теме письма.

Если вы являетесь экспертом в какой-либо области и заинтересованы в написании новой книги, заполните форму на нашем сайте по адресу [http://dmkpress.com/authors/publish\\_book/](http://dmkpress.com/authors/publish_book/) или напишите в издательство по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com).

## ***Список опечаток***

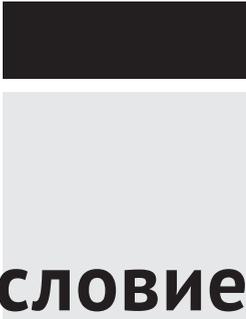
Хотя мы приняли все возможные меры для того, чтобы обеспечить высокое качество наших текстов, ошибки все равно случаются. Если вы найдете ошибку в одной из наших книг, мы будем очень благодарны, если вы сообщите о ней главному редактору по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com). Сделав это, вы избавите других читателей от недопонимания и поможете нам улучшить последующие издания этой книги.

## ***Нарушение авторских прав***

Пиратство в интернете по-прежнему остается насущной проблемой. Издательства «ДМК Пресс» и Wiley очень серьезно относятся к вопросам защиты авторских прав и лицензирования. Если вы столкнетесь в интернете с незаконной публикацией какой-либо из наших книг, пожалуйста, пришлите нам ссылку на интернет-ресурс, чтобы мы могли применить санкции.

Ссылку на подозрительные материалы можно прислать по адресу электронной почты [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com).

Мы высоко ценим любую помощь по защите наших авторов, благодаря которой мы можем предоставлять вам качественные материалы.



# Предисловие

Эта книга посвящена микроконтроллеру Arduino и концепции Arduino. Визионерская команда Arduino в составе Массимо Банзи (Massimo Banzi), Дэвида Куартиелеса (David Cuartielles), Тома Иго (Tom Igoe), Джанлуки Мартино (Gianluca Martino) и Дэвида Меллиса (David Mellis) представила инновацию в области микроконтроллерного аппаратного обеспечения в 2005 году – концепцию оборудования с открытым исходным кодом. Их подход заключался в том, чтобы открыто делиться подробностями построения микроконтроллерных систем и платформами проектирования аппаратного обеспечения для стимулирования обмена идеями и продвижения инноваций. Эта концепция уже много лет популярна в мире программного обеспечения. В июне 2019 года мы с Джоэлом Клейпулом встретились, чтобы спланировать четвертое издание книги «Arduino Microcontroller Processing for Everyone!». Нашей целью было предоставить доступную книгу о быстро развивающемся мире Arduino для широкой аудитории, включая студентов, изучающих изящные искусства, учащихся средних и старших классов, студентов инженерно-проектных специальностей и практикующих ученых и инженеров. Чтобы сделать книгу еще более доступной и лучше служить нашим читателям, мы решили изменить наш подход и предоставить серию меньших томов. Каждый том написан по конкретной теме и для конкретной аудитории.

Книга «Arduino: искусственный интеллект и машинное обучение» исследует приложения Arduino в увлекательном и быстро развивающемся мире небольших локальных приложений искус-

ственного интеллекта и машинного обучения на базе микроконтроллеров. Первые три главы посвящены изучению среды Arduino IDE, микроконтроллера Arduino Nano 33 BLE Sense, а также методам обращения с интерфейсом датчиков и периферийных устройств. В оставшихся трех главах мы обсуждаем обучающий подход к искусственному интеллекту (Artificial Intelligence, AI) и различные концепции машинного обучения (Machine Learning, ML), подходящие для реализации на микроконтроллере, включая метод К ближайших соседей (K Nearest Neighbors, KNN), деревья решений, нечеткую логику, перцептроны и искусственные нейронные сети (Artificial Neural Nets, ANN).

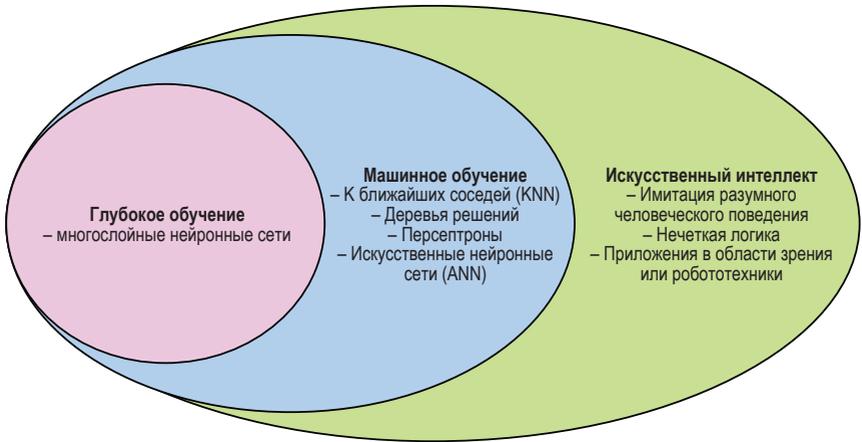
## Концепция книги

---

В книге «Arduino: искусственный интеллект и машинное обучение» мы сосредоточимся на искусственном интеллекте (AI) и машинном обучении (ML) для систем на базе микроконтроллеров. Несколько лет назад команда Arduino заявила: «Arduino ставит перед собой задачу сделать машинное обучение достаточно простым, чтобы каждый мог его использовать» [1]. Те, кто знаком с концепциями искусственного интеллекта и машинного обучения, могут удивиться такому подходу: AI и ML наиболее подходят для более мощных вычислительных платформ. Однако недавние разработки позволили некоторым приложениям искусственного интеллекта после их обучения выполняться на микроконтроллерах. Есть приложения, которые подходят для удаленных приложений искусственного интеллекта на базе микроконтроллеров с батарейным питанием [3]. В этой книге мы ограничиваем обсуждение исключительно методами искусственного интеллекта и машинного обучения для микроконтроллеров. Цель состоит в том, чтобы познакомить вас с этими концепциями и дать вам возможность попрактиковаться на недорогом и доступном аппаратном и программном обеспечении Arduino. Надеемся, вы оцените эту книгу как отправную точку, как введение в эту увлекательную область. Мы предоставляем ряд ссылок на источники для дальнейшего изучения.

Рисунок 1 иллюстрирует взаимосвязь между искусственным интеллектом, машинным обучением и методом глубокого обучения (Deep Learning, DL). Цель искусственного интеллекта состоит в том,

чтобы вычислительная техника могла имитировать разумное человеческое поведение. Некоторые относят происхождение искусственного интеллекта к 1300 году до н. э. [6]. Мы ограничиваем наш исторический обзор развитием AI в XX веке и далее. В этой области мы также исследуем нечеткую логику.



**Рис. 1.** Искусственный интеллект и машинное обучение [5]

Машинное обучение относится к сфере искусственного интеллекта. Его цель – развитие алгоритмов для управления процессом или для классификации (распознавания) объектов. Разработанный алгоритм подвергается этапу обучения, на котором входные данные используются для подтверждения или разработки желаемых выходных данных контроллера. В процессе обучения алгоритм корректирует определенные веса, чтобы улучшить производительность приложения. В рамках ML мы исследуем алгоритмические методы ближайших соседей (KNN), деревья решений, персептроны и искусственные нейронные сети (ANN). Глубокое обучение предполагает разработку алгоритмов с использованием многослойных искусственных нейронных сетей (ANN).

Для полноты картины в главе 1 этой книги мы приводим необходимую предварительную информацию. В этой главе представлено краткое руководство по началу работы с интегрированной средой разработки Arduino (Arduino IDE).

Глава 2 знакомит с отладочной платой микроконтроллера Arduino Nano 33 BLE Sense. Это микроконтроллер с питанием на-

пряжением 3,3 В постоянного тока<sup>1</sup>. В Nano установлен модуль NINA V306, который включает мощный 32-битный процессор Nordic Semiconductor Arm Cortex-M4F nRF52840 с частотой 64 МГц, содержащий 256 Кбайт статической оперативной памяти (SRAM) и 1 Мбайт флеш-памяти. Модуль также содержит средства связи Bluetooth и Zigbee, подсистемы последовательной связи (UART, I2C, SPI), функции прямого доступа к памяти, аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и 128-битный сопроцессор Advanced Encryption Standard (AES) [2, 4].

На отладочной плате Nano 33 также находится обширная серия периферийных устройств, включая девятиосевой инерциальный измерительный блок; датчики барометрического давления, температуры и влажности, приближения, света и жестов; цифровой микрофон; а также криптографический сопроцессор [2].

В главе 3 представлена чрезвычайно важная концепция операционного диапазона для микроконтроллера. Электрические параметры напряжения и тока для микроконтроллеров Arduino применяются для правильного сопряжения устройств входа и выхода с 3.3-вольтовой отладочной платой Arduino Nano 33 BLE Sense. Мы предоставляем основы взаимодействия с Nano 33 для приложений, обсуждаемых в книге.

В главе 4, после краткого исторического обзора, мы разбираем концепции машинного обучения: методы классификации ближайших соседей (KNN) и дерева решений. В пределах области искусственного интеллекта мы исследуем нечеткую логику в главе 5.

В главе 6 мы рассматриваем перцептрон и искусственные нейронные сети (ANN). Глубокое обучение предполагает разработку алгоритмов с использованием многослойных искусственных нейронных сетей. Завершает главу 6 краткое введение в передовые инструменты и приложения глубокого обучения AI и ML.

## Источники

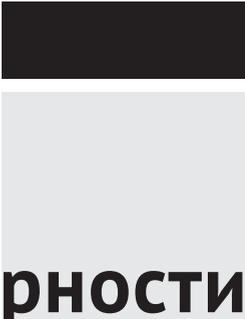
---

1. Arduino Team, Get started with machine learning on Arduino, <https://blog.arduino.cc>, October 15, 2019.

---

<sup>1</sup> На протяжении всей книги мы подчеркиваем, что это процессор с напряжением 3,3 В постоянного тока. Сигналы на входах и выходах процессора не должны превышать напряжения 3,3 В! – *Прим. авт.*

2. Arduino Nano 33 BLE Sense, ABX00031, January 5, 2022, [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc).
3. G. Lawton, Machine Learning on Microcontrollers Enables AI, [targettech.com](http://targettech.com), November 17, 2021.
4. nRF52840 Advanced multi--protocol System--on--Chip, nRF52840 Product Brief Version 1.0, Nordic Semiconductor.
5. J. P. Mueller and L. Massaron, Artificial Intelligence for Dummies, John Wiley and Sons, Inc, 2018.
6. C. Pickover, Artificial Intelligence an Illustrated History, Sterling, New York, 2019.



# Благодарности

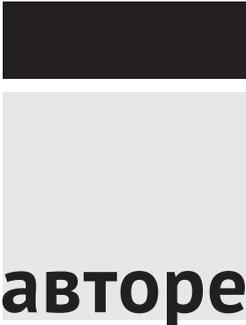
Эта книга стала возможной благодаря нескольким людям. Я хотел бы поблагодарить Массимо Банзи и команду разработчиков Arduino за поддержку и поощрение при написании первого издания данной книги.

Я также хотел бы выразить признательность Джоэлу Клейпулу (Joel Claypool) за его поддержку ряда писательских проектов. Его видение и опыт в издательском мире сделали эту книгу возможной. Джоэл «ушел на пенсию» в сентябре 2022 года после 40 с лишним лет на службе ВМС США в издательский мир. От имени множества писателей мы благодарим вас за предоставленную возможность стать публикуемыми авторами! Следующая глава в жизни Джоэла начинается с предстоящей поездки по оказанию помощи пострадавшим от урагана, и я посвящаю эту книгу тебе, мой друг.

Я также хотел бы поблагодарить Дхаранисварана Сундарамурти (Dharaneeswaran Sundaramurthy) из Total Service Books Production за его опыт в преобразовании законченного проекта в готовый продукт.

Наконец, что самое важное, я хотел бы поблагодарить моего лучшего друга в течение многих (почти 50) лет, мою жену Синди.

*Стивен Ф. Барретт,  
Ларами, Вайоминг, США,  
январь, 2023*



## Об авторе

**Стивен Ф. Барретт (Steven F. Barrett)**, доктор философии (Ph. D.), профессиональный инженер (P. E.). Получил степень бакалавра технологий электронной инженерии в университете Небраски в Омахе в 1979 году, стажировался по обмену из Университета Айдахо в Москве в 1986 году и получил степень доктора философии в Техасском университете в Остине в 1993 году. Формально был действующим преподавателем Академии ВВС США в Колорадо, а сейчас является вице-проректором бакалавриата в Университете штата Вайоминг и профессором электротехники и вычислительной техники. Он является членом ассоциации Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE, пожизненный Senior) и инженерного сообщества Tau Beta Pi (главный советник).

Исследовательские интересы Стивена Ф. Барретта включают цифровую и аналоговую обработку изображений, компьютерную лазерную хирургию и встраиваемые контроллерные системы. Он является зарегистрированным профессиональным инженером в Вайоминге и Колорадо. С. Ф. Барретт выступает соавтором нескольких учебников по микроконтроллерам и встроенным системам (совместно с доктором Дэниелом Паком). В 2004 году Фонд Карнеги назвал Барретта «профессором года в Вайоминге» за развитие преподавания, а в 2008 году он стал лауреатом премии Национального общества профессиональных инженеров «Профессиональные инженеры в высшем образовании» (NSPE) за выдающиеся достижения в области образования.

# Начало работы

После изучения этой главы читатель должен уметь делать следующее:

- успешно загрузить и выполнить простую программу с помощью среды разработки Arduino IDE;
- описать ключевые особенности Arduino IDE.

## 1.1. Обзор

---

Добро пожаловать в мир Arduino! Как мы говорили, концепция аппаратного обеспечения с открытым исходным кодом Arduino была разработана визионерской командой Arduino в составе Массимо Банзи, Дэвида Куартиллеса, Тома Иго, Джанлука Мартино и Дэвида Меллис в Иврее, Италия. Целью команды было разработать линейку простого в использовании аппаратного и программного обеспечения на основе микроконтроллеров, обеспечивающего достаточную вычислительную мощность, но при этом легко доступного каждому.

В этой главе мы даем краткий обзор процесса написания программ (скетчей) Arduino в среде разработки Arduino IDE. Мы используем нисходящий подход к проектированию: начнем с общей картины предмета главы, затем обсудим среду разработки Arduino IDE и то, как она может быть использована для быстрой разработки скетчей для Arduino Nano 33 BLE Sense.

## 1.2. Общая картина

---

Большинство микроконтроллеров программируются на каком-либо варианте языка программирования C<sup>1</sup>. Язык программирования C обеспечивает хороший баланс между контролем аппаратуры микроконтроллера со стороны программиста и экономии времени при написании программы. Как альтернатива<sup>2</sup> среда Arduino (Arduino IDE) обеспечивает удобный интерфейс для быстрой разработки программы (скетча), преобразования ее в машинный код и затем загрузки машинного кода в процессор Arduino за несколькими простыми шагами, как показано на рис. 1.1.

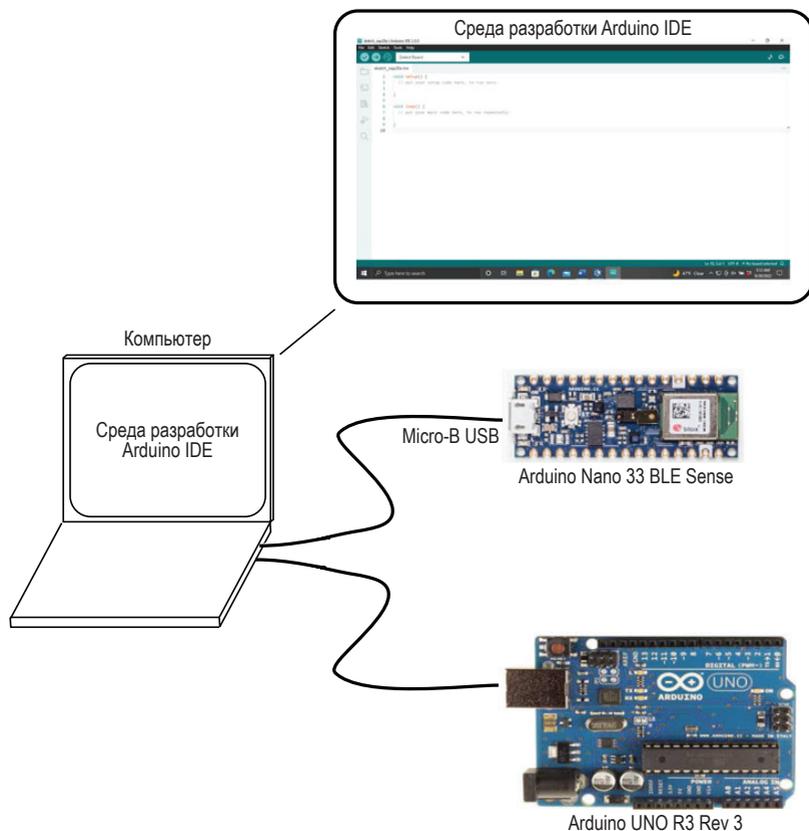
Первая версия среды разработки Arduino была выпущена в августе 2005 года. Она была разработана в Институте интерактивного дизайна в Иврее, Италия, чтобы дать студентам возможность быстро использовать вычислительную мощьность в самых разных проектах. С этого момента обновленные версии, включающие новые функции, выпускаются регулярно (см. [2]).

На самом фундаментальном уровне среда разработки Arduino IDE представляет собой удобный для пользователя интерфейс, позволяющий быстро писать, загружать и выполнять код на микроконтроллере. Минимальный вариант программы может состоять только из функций `setup()` и `loop()`. В среде Arduino IDE могут быть добавлены другие необходимые части, такие как файлы библиотечных заголовков или пользовательские функции. IDE написана на Java и берет свое начало от языка программирования микропроцессоров Wiring Project [2].

---

<sup>1</sup> Последнее время все возрастающая часть разработки программного обеспечения микроконтроллеров осуществляется на языке Python. На него, в частности, ориентирован программный пакет средств AI и ML для микроконтроллеров TensorFlow (см. краткий обзор в разделе 6.7). – *Прим. перев.*

<sup>2</sup> Строго говоря, Arduino IDE не является альтернативой языку программирования C – она допускает использование «чистого C»; однако расширенная версия «языка Arduino» основана на модифицированном языке C++ (т. н. AVRGCC) со специальными добавлениями, ориентированными на конкретные платы контроллеров. В оригинале это платы компании Arduino (например, Arduino Uno или Arduino Nano 33, см. рис. 1.1) и некоторые им родственные, но к среде легко добавляется поддержка многих других контроллеров. – *Прим. перев.*



**Рис. 1.1.** Программирование платы Arduino. С разрешения команды Arduino (лицензия CC BY-NC-SA, [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc))

Arduino IDE размещается на ноутбуке или персональном компьютере (PC). После того как программа Arduino, называемая скетчем, написана, она проверяется (компилируется) и загружается на плату Arduino.

## 1.3. Быстрый старт Arduino

Чтобы начать использовать платформу на базе Arduino Nano 33, вам понадобится следующее оборудование и программное обеспечение:

- плата Arduino Nano 33 BLE Sense;
- интерфейсный кабель (типа USB A – USB Micro-B) от PC или ноутбука к плате Arduino;
- программное обеспечение Arduino IDE.

### 1.3.1. Краткое руководство по быстрому старту

Среду разработки Arduino можно загрузить с веб-сайта Arduino [arduino.cc](http://arduino.cc). Доступны версии для Windows, Mac OS X и Linux. Ниже по шагам представлен быстрый подход к созданию скетча для мигания встроенного светодиода.

- Загрузите среду разработки Arduino IDE с сайта [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc).
- Подключите плату Arduino к главному компьютеру с помощью кабеля Micro-B USB.
- Запустите среду разработки Arduino IDE.
- На вкладке **Tools** (*Инструменты*) выберите тип используемой платы и порт, к которому она подключена. Если платы Arduino Nano 33 BLE Sense нет в списке, используйте **Library Manager** (*Менеджер библиотек*)<sup>1</sup>. В этом разделе найдите и установите библиотеку для поддержки нужной платы. Для платы Arduino Nano 33 BLE Sense используется библиотека «Arduino Mbed OS Nano Boards».
- Введите в Arduino IDE следующую программу:

```
//*****  
#define LED_PIN 13  
void setup()  
{  
  pinMode(LED_PIN, OUTPUT); //set digital pin to output  
}  
void loop()
```

---

<sup>1</sup> Автор использует одну из последних версий Arduino IDE (с номерами, начинающимися с двойки, Arduino IDE2), в которой часть меню вынесена на панель инструментов слева (см. далее рис. 1.2). В традиционных версиях с номером, начинающимся с единицы (Arduino IDE1), пункт управления библиотеками расположен по адресу **Sketch** (*Скетч*) -> **Include Library** (*Подключить библиотеку*) -> **Manage libraries** (*Управление библиотеками*). В дальнейшем этих оговорок не делается, в переводе, как и у автора, будет использоваться версия Arduino IDE2. – *Прим. перев.*

```

{
  digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
  delay(500); //delay specified in ms
  digitalWrite(LED_PIN, LOW);
  delay(500);
}
//*****

```

- Загрузите и запустите программу через кнопку с обозначением стрелки вправо **Upload** (*Загрузка*).
- Встроенный светодиод должен мигать с интервалом в одну секунду.

Плата Arduino Nano 33 BLE Sense оснащена красным, зеленым и синим (RGB) светодиодами. Следующий скетч демонстрирует, как управлять каждым RGB и светодиодом питания. Примечание: светодиоды R, G, B имеют активный низкий уровень.

```

//*****
//RGB_test
//
//Adapted from Controlling_RGB_and_Power_LED by the Arduino Team
// arduino.cc
//Demonstrates control of the RGB and Power LEDs on the NANO 33 BLE boards
//Note: The R, G, B LEDs are asserted active low.
//*****
#define RED 22 //provide pin locations of LEDs
#define GREEN 23
#define BLUE 24
#define LED_PWR 25
void setup()
{
  pinMode(RED, OUTPUT); //initialize digital pins as output
  pinMode(GREEN, OUTPUT);
  pinMode(BLUE, OUTPUT);
  pinMode(LED_PWR, OUTPUT);
}
void loop()
{
  digitalWrite(RED, HIGH); //turn LEDs off
  digitalWrite(GREEN, HIGH);
  digitalWrite(BLUE, HIGH);
  digitalWrite(LED_PWR, LOW);
  delay(1000); //delay 1s
  digitalWrite(RED, LOW); //turn RGB LEDs on in sequence
  delay(1000);
  digitalWrite(RED, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(GREEN, LOW);
  delay(1000);
  digitalWrite(GREEN, HIGH);

```

```

delay(1000);
digitalWrite(BLUE, LOW);
delay(1000);
digitalWrite(BLUE, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(LED_PWR, HIGH);
delay(1000);
}
//*****

```

В следующем скетче используется функция настройки светодиодов R, G и B.

```

//*****
//RGB_test2
//
//Adapted from Controlling_RGB_and_Power_LED by the Arduino Team
// arduino.cc
//Demonstrates control of the RGB and Power LEDs on the NANO 33 BLE boards
//Note: The R, G, B LEDs are asserted active low.
//
//This sketch uses a function call to set the LED colors.
//*****
#define RED 22 //provide pin locations of LEDs
#define GREEN 23
#define BLUE 24
#define LED_PWR 25
void setup()
{
  pinMode(RED, OUTPUT); //initialize digital pins as output
  pinMode(GREEN, OUTPUT);
  pinMode(BLUE, OUTPUT);
  pinMode(LED_PWR, OUTPUT);
}
void loop()
{
  RGB_set(LOW, HIGH,HIGH); //red
  RGB_set(HIGH,LOW, HIGH); //green
  RGB_set(HIGH,HIGH, LOW); //blue
  RGB_set(LOW, LOW, HIGH); //yellow
  RGB_set(HIGH,LOW, LOW); //cyan
  RGB_set(LOW, HIGH,LOW); //magenta
  RGB_set(LOW, LOW, LOW); //white
}
//*****
void RGB_set(bool R, bool G, bool B)
{
  digitalWrite(RED, HIGH); //turn LEDs off
  digitalWrite(GREEN, HIGH);
  digitalWrite(BLUE, HIGH);
  digitalWrite(LED_PWR, LOW);
  delay(1000); //delay 1s
}

```

```
digitalWrite(RED, R); //set LEDs
digitalWrite(GREEN,G);
digitalWrite(BLUE, B);
digitalWrite(LED_PWR, HIGH);
delay(1000); //delay 1s
digitalWrite(RED, HIGH); //turn LEDs off
digitalWrite(GREEN, HIGH);
digitalWrite(BLUE, HIGH);
digitalWrite(LED_PWR, LOW);
delay(1000); //delay 1s
}
//*****
```

Загрузив и протестировав среду Arduino IDE, давайте поближе познакомимся с ее особенностями.

### 1.3.2. Обзор среды Arduino IDE

Среда разработки Arduino IDE показана на рис. 1.2. Arduino IDE содержит текстовый редактор, область сообщений для отображения статуса, текстовую консоль, панель инструментов общих функций и обширную систему меню. Arduino IDE также предоставляет удобный интерфейс для плат Arduino, позволяющий быстро загружать код. Это возможно, потому что контроллеры в платах Arduino оснащены программой-загрузчиком.

### 1.3.3. Концепция альбома для эскизов

В соответствии с аппаратной и программной платформой для студентов, изучающих искусство, среда Arduino использует концепцию альбома для эскизов. Художник сохраняет свои незавершенные работы в подобном альбоме, аналогичным образом программы сохраняются в среде Arduino. Кроме того, мы называем отдельные программы скетчами (набросками, эскизами). Доступ к отдельному скетчу в альбоме можно получить через перечень скетчей на панели инструментов или через меню **File** (*Файл*).

### 1.3.4. Программное обеспечение Arduino, библиотеки и ссылки на языки

Среда Arduino IDE имеет ряд встроенных функций. Доступ к некоторым функциям можно получить напрямую через раскрыва-

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)