

Wireless Bluetooth communication

Беспроводная Bluetooth связь

Цель работы: Знакомство с устройствами беспроводной связи Bluetooth.

Задача работы: Построение беспроводной линии передачи данных между контроллером и компьютером по стандарту Bluetooth.

Приборы и принадлежности: Два персональных компьютера, контроллер Arduino UNO, Bluetooth адаптеры компьютера и контроллера, консоль Arduino IDE.

ВВЕДЕНИЕ

Беспроводные линии последовательной передачи данных могут использоваться в системах управления, тестирования, наблюдения и др. Знание основ построения таких каналов позволяет обеспечить требуемое качество систем, особенно, систем с беспроводными линиями связи в контурах управления (как известно, задержка передачи данных может негативно повлиять на устойчивость систем).

В этой работе сравниваются радиосвязи стандартов Wi-Fi и Bluetooth и рассматривается вариант построения беспроводной связи Bluetooth между компьютером и контроллером через USB адаптер и UART модуль HC-05.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Сравнение Wi-Fi и Bluetooth

Стандарты беспроводной связи стремительно развиваются в направлениях увеличения скорости передачи, дальности действия, помехозащищенности и др. **Wi-Fi** и **Bluetooth** имеют следующие сравнительные характеристики.

- Сетевые свойства.

Wi-Fi используется для построения локальных беспроводных сетей LAN (Local Area Network), через Bluetooth подключается только одно устройство, сеть типа PAN (Personal Area Network).

- Радиодиапазон.

Частотный диапазон радиосвязи стандарта Wi-Fi перекрывает диапазон стандарта Bluetooth 2,4–2,4835 ГГц. Однако, находясь на одной и той же рабочей частоте, каждый стандарт воспринимает только свои сигналы, а влияние сигналов другого стандарта минимизируется как посторонний шум.

- Скорость передачи данных

Развитие стандартов приводит к увеличению скорости передачи данных до 10 Мбит/с для Wi-Fi и 1 Мбит/с для Bluetooth

- Протоколы передачи данных

Стандарты Wi-Fi (Wireless Fidelity) и Bluetooth основаны на использовании собственных протоколов.

- Радиус действия

Радиус действия Wi-Fi - до 100 м в условиях помещений и 400 м на открытом пространстве. Радиус действия Bluetooth значительно ниже - около 10 м в условиях помещений и 100 м – на открытом пространстве, при отсутствии помех.

- Энергопотребление

Bluetooth отличается более низким энергопотреблением.

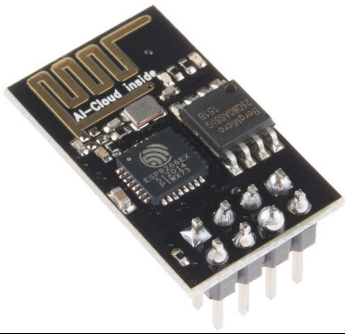
- Стоимость

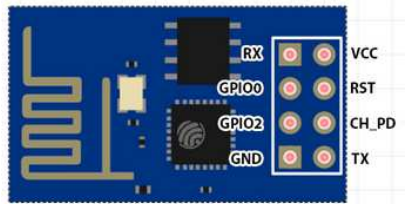
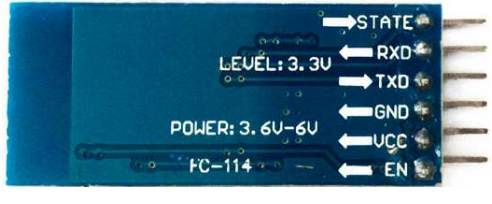
Bluetooth эффективно используется для построения сравнительно недорогих (в пересчете на узел) беспроводных устройств.

Интерфейс Bluetooth лучше, чем Wi-Fi, приспособлен для использования в беспроводных устройствах связи с более простой организацией подключения, низким электропотреблением и низкой ценой, где нет необходимости в высоких скоростях передачи данных.

Сравнение стандартов на уровне модулей, выполнено для устройств, которые подключаются к UART интерфейсу платы расширения Arduino (Таблица 1).

Таблица 1. Сравнение UART модулей: Wi-Fi с Bluetooth.

Характеристики	Wi-Fi	Bluetooth
Модуль	ESP-01	HC-05
Чип	ESP8266	BC417
Сетевой протокол	IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP	
Безопасность	WPA/WPA2	
Шифрование	WEP/TKIP/AES	
Внешний вид		
Интерфейс	I2C (для подключения внешнего датчика или дисплея) / UART	UART (Serial-порт)
Напряжение логических уровней	3.3В	3.3В

Подключение		
Средства переконфигурации	АТ команды	АТ команды
дальность связи на открытом пространстве	до 400м	до 10м
Беспроводной интерфейс:	Wi-Fi 802.11 b/g/n	
Частота радиосвязи.	2,412 .. 2.484 ГГц	2,4 .. 2,48 ГГц
Мощность передачи	89 мВт	0,25–2,5 мВт
Выходная мощность	+20dBm	
Чувствительность	–72 .. -98 dBm	–80 dBm
Режимы:	P2P (клиент), soft-AP (точка доступа)	master, slave
Напряжение питания:	3,0 .. 3,6 В	3.6 - 6 В
Потребляемый ток:	80 мА (средний), 220 мА (максимальный). Для Arduino требуется дополнительный стабилизатор 3.3 В	8 мА (передача), 30–40 мА (подключение)
Максимальная скорость передачи данных		115200 бит/с
Портов ввода-вывода свободного назначения	2	0
Частота процессора:	80 МГц	
Flash память:	1 Мб	
Объём оперативной памяти:	96 Кб	
Код подключения		1234, по дефолту (можно перепрограммировать)
Помехозащищенность		Делает автоматическое переподключение через 30 мин после потери связи
Рабочий диапазон температур	–40 .. +125 С	–25 .. +75 С
Габариты	24.8×14.3×3 мм	27×13×2,2 мм
Относительная стоимость	150 руб	320 руб

Bluetooth модуль HC-05

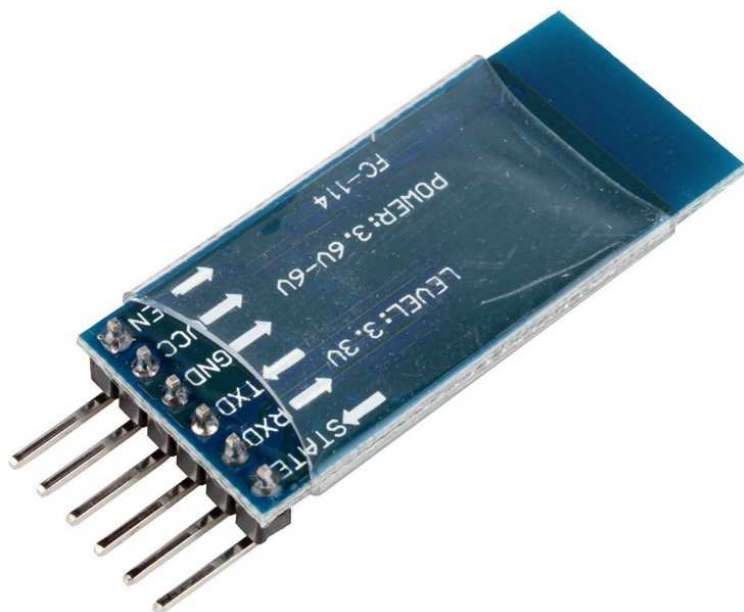


Рисунок 1. Bluetooth модуль HC-05 на основе чипа BC417. На плате выведен стандартный UART интерфейс, используемый для управления модулем и передачи данных.

Модуль HC-05 может работать как в Slave, так и в Master режиме. В Slave режиме модуль подключается к каналам передачи данных внешним приемопередатчиком. В режиме Master модуль может самостоятельно подключаться к другим приемопередатчикам. Последний вариант может использоваться, например, для организации пульта.

Модуль HC-05 внешне похож на модуль HC-06, который работает только в Slave режиме.

Чтение и переустановка параметров модуля HC-05 в режиме AT-команд

Чтение параметров Bluetooth модуля HC-05 или их переустановка выполняется через UART интерфейс модуля в режиме AT-команд. Модуль можно подключить к компьютеру, например, через контроллер Arduino или WAVGAT - клон Arduino UNO с напряжением логических уровней 3.3 В (как и у модуля HC-05). Подключение модуля показано на Рисунок 2. В показанном варианте используются цифровые порты 8 и 9 контроллера. Можно использовать и другие порты, которые назначаются командой `SoftwareSerial BTSerial(gRxBPin, gTxPin)` библиотеки `<SoftwareSerial.h>`. Необходимо помнить, что цифровые порты 0 и 1 заняты интерфейсом UART, который используется для связи между контроллером и внешним устройством, например, компьютером.

Для перевода модуля HC-05 в режим AT-команд необходимо

1. Отключить модуль от питания (можно вместе с контроллером);
2. Нажать и удерживать кнопку на модуле HC-05, которая привязана к контакту Key (см. Рисунок 2);
3. Подключить питание (например от контроллера, который, в свою очередь, питается от USB линии или автономного источника);
4. Отпустить кнопку (красный светодиод модуля начинает мигать с частотой примерно 0,5 Гц, раз в две секунды).

ВНИМАНИЕ. Для вывода модуля HC-05 из режима AT-команд необходимо снять и подать питание или ввести команду AT+RESET, светодиод модуля в режиме приема-передачи данных по Bluetooth начнет мигать с частотой около 4 Гц.

Для работы в режиме AT-команд используется COM порт компьютера, к которому подключается контроллер. Сигналы COM порта контроллера для связи с компьютером выведены на его порты (UART интерфейс), например, на порты DO (RX) и D1 (TX) контроллера Arduino и порты D4 (RX) и D3 (TX) контроллера Teensy 3.2. Поскольку только два устройства могут обмениваться данными через COM порт, то подключение Bluetooth модуля HC-05 к контроллеру необходимо выполнять через другой UART интерфейс, например, порты D8 (RX) и D9 (TX) контроллера Arduino (Рисунок 2) и порты D1 (TX) и D0 (RX) контроллера Teensy 3.2., соответственно.

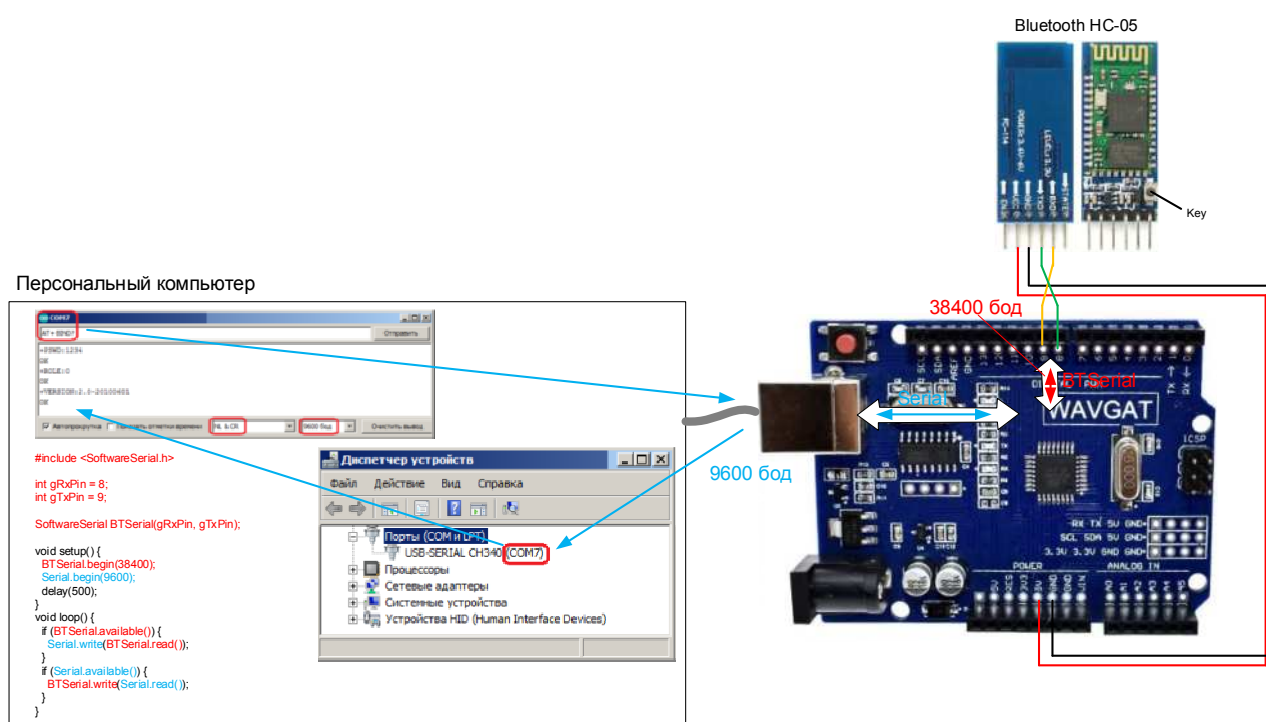
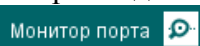


Рисунок 2. Подключение Bluetooth модуля HC-05 к компьютеру для чтения или перепрограммирования его параметров в режиме AT-команд.

Связь (передача и прием данных) с модулем HC-05 через компьютер может выполняться через терминал  консоли Arduino IDE. Каждая, передаваемая модулю AT команда, должна завершаться “возвратом каретки” и “переводом строки” (r/n):

0x0D ==13₁₀ ==CARRIAGE RETURN == \r
0x0A ==10₁₀ ==LINE FEED == \n

Для автоматического добавления \r\n необходимо выбрать  в окне монитора порта.

Список AT команд содержит 36 команд [1]. Часть команд приведена в Таблица 2.

Таблица 2. Сокращенный список AT команд.

Команда	Ответ	Параметр	Примечание
AT	OK или ERROR(0)		Проверка связи ПК с модулем
AT+RESET	OK		Выход из режима AT-команд
AT+VERSION?	+VERSION: <Номер версии> OK	напр. 2.0-20100601	Код прошивки
AT+ADDR?	+ADDR: <адрес Bluetooth> OK	напр. 18: e5: 04: aa: 5c	Адрес модуля,
AT+NAME?			Имя устройства, по умолчанию: HC-05
AT+NAME=<Param>	OK	напр. Thruster	Установка имени
AT+ ROLE?	+ROLE:<Param> OK	0- Slave/ 1-Master/ 2- Slave-Loop	Режим работы.
AT+ROLE=<Param>	OK		
AT+ PSWD?	+PSWD:<Param> OK	по умолчанию: 1234	Пароль модуля
AT+PSWD=<Param>	OK		
AT+ CMODE?		0 - fixed address 1 - connect any address 2 - slave-Loop	Режим подключения
AT+ BIND?	+BIND: <Param> OK	Напр. 98d3:31:300e42	Проверка фиксированного адреса
AT+BIND=<Param>		по умолчанию: 00:00:00:00:00:00	
AT+STATE?	+STATE: <Param> OK	Напр. INITIALIZED	Состояние модуля
AT+UART?	+UART: <Param1>, <Param2>, <Param3>	Param1: baud rate(bits/s): 4800 9600 19200 38400 57600 115200 23400 460800 921600 1382400 Param2: stop bit: 0--1 bit, 1----2 bits Param3: parity bit: 0----None, 1----Odd parity, 2----Even parity Default: 9600, 0, 0	Параметры канала передачи
AT+UART=<Param>,<Param2>,<Param3>		по умолчанию: 9600, 0, 0	

Для перехода на скорость передачи, например, 115200 бод, необходимо ввести команду AT+UART=115200,0,0.

Примечание. В лабораторных условиях Bluetooth модуль HC-05 показал устойчивую скорость обмена данными 19200 бод на расстоянии 4м с Bluetooth адаптерами ASUS USB BT400 class 4 и Buro BU-BT21A 2.1+EDR class 2.

Подключение к компьютеру Bluetooth USB адаптера для связи с модулем HC-05

Беспроводная связь компьютера с модулем HC-05 выполняется через Bluetooth адаптер, который подключается к компьютеру. Основные характеристики используемых в работе USB адаптеров BU-BT21A и ASUS USB-BT400 представлены в Таблица 3.

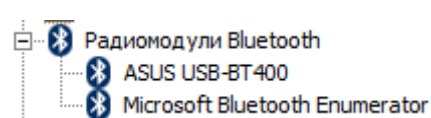
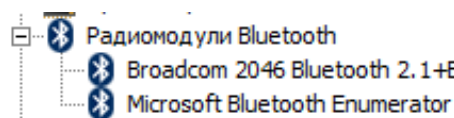
Таблица 3. Характеристики USB Bluetooth адаптеров.

Параметр	Модель BU-BT21A	ASUS USB-BT400
Скорость передачи данных	3 Мбит/сек	3 Мбит/сек
Класс Bluetooth	class 2	class 4
Версия стандарта Bluetooth	Bluetooth 2.1+EDR	Bluetooth 4.0/3.0/2.1/2.0
Интерфейс USB	USB2.0	USB2.0
Поддерживаемый ОС	Win98/Win2000/XP/Vista/Win7	XP/Win7/Win8
Радиус действия	10 м	10 м
Частота		2.4 .. 2.4835 ГГц
Чипсет	BCM2046	
Отображение в поле “Устройства и принтеры” компьютера с Win 7.		
Сравнительная цена	198 руб	900 руб

Выполненное тестирование подключения устройств и обмена данными между компьютерами с операционными системами Windows XP и Windows 7 (через COM порты упомянутых Bluetooth адаптеров) и контроллером Arduino (через UART интерфейс Bluetooth модуля HC-05) не нашло существенных отличий (хотя цена адаптеров BU-BT21A и BT-400 отличается существенно), поскольку контроллер и модуль HC-05 с более низким быстродействием (115200 бит/с) ограничивали скорость всего канала передачи данных.

Для работы Bluetooth адаптера на компьютере необходимо установить его драйвер. Bluetooth адаптер отображается в списке Диспетчера устройств и в окне “Устройства и принтеры”.

Строки Bluetooth USB адаптеров BU-BT21A и BT-400 в списке Диспетчера устройств компьютера с Win 7 выглядят, как показано ниже.



Список функций адаптера можно раскрыть через меню Пуск > Устройства и принтеры > двойной щелчок на значке адаптера > Свойства > **закладка Оборудование** (см. Рисунок 3)

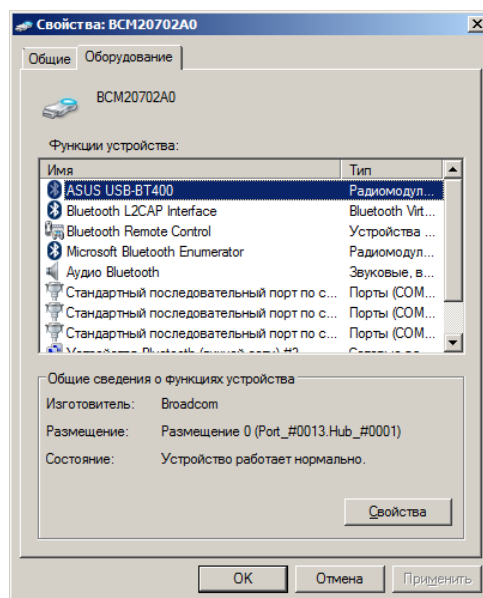


Рисунок 3. Список функций Bluetooth адаптера.

Для подключения к компьютеру мобильных устройств с Bluetooth приемопередатчиком в параметрах Bluetooth адаптера компьютера необходимо разрешить устройствам Bluetooth обнаруживать компьютер, как показано на Рисунок 4.

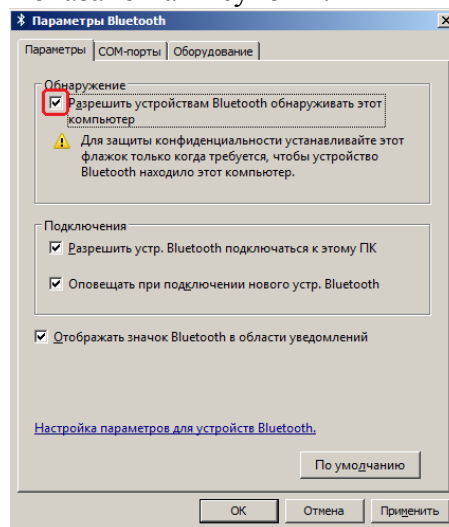


Рисунок 4. Установка разрешения Bluetooth устройствам обнаруживать компьютер с Bluetooth адаптером.

Тип запуска службы поддержки Bluetooth должен быть автоматическим. Список служб (Рисунок 5) можно открыть последовательностью ПУСК > Начать поиск > **services.msc**

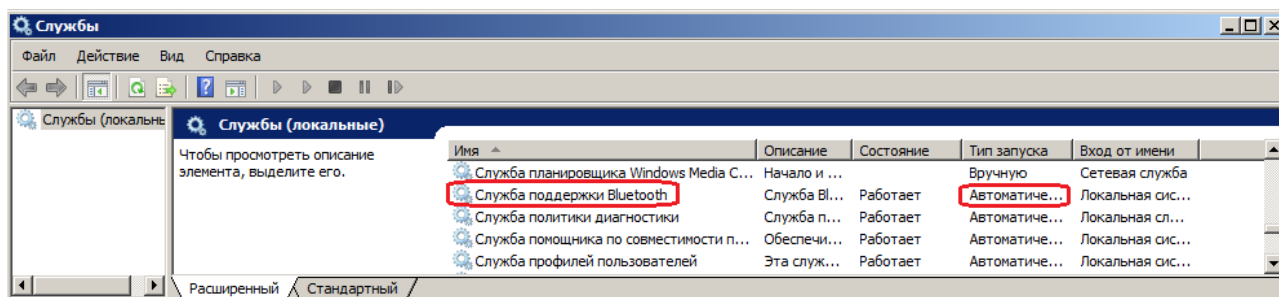


Рисунок 5. Служба поддержки Bluetooth с автоматическим запуском. Для вызова параметров службы необходимо дважды щелкнуть по соответствующей строке.

При подключении Bluetooth устройств компьютер запросит код подключения, который для модуля HC-05, по умолчанию, равен 1234 (Рисунок 6).

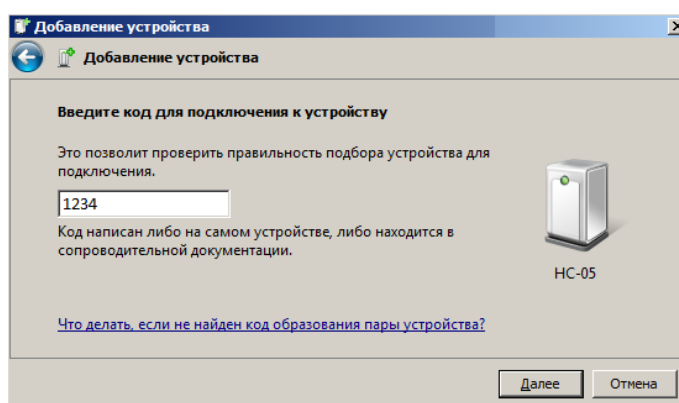


Рисунок 6. Запрос кода подключения при добавлении устройства.

Увидеть список подключенных внешних устройств Bluetooth, включая модуль HC-05, можно в окне, открываемом, например, через меню Пуск > Найти программы и файлы > [bthprops.cpl](#).

ВНИМАНИЕ. В большинстве устройств стандарты Bluetooth реализованы неудачно [2]. Зачастую Windows не может обнаружить и задействовать устройство Bluetooth, поскольку Bluetooth адаптеры используют стек компании не Microsoft а, например, Toshiba или Broadcom. Не советую устанавливать “инородный” драйвер непосредственно в приложении Диспетчер устройств, для установки необходимо использовать программу, рекомендуемую поставщиком Bluetooth адаптера. Если устройство успешно обнаружено Windows, а Windows не может его задействовать, то работу с устройством Bluetooth, во многих случаях, могут обеспечить специальные программы.

При установлении связи между Bluetooth адаптером и модулем, на компьютере создаются COM-порты. Для связи компьютера с модулем HC-05, работающем в slave режиме, требуется исходящий COM-порт адаптера, через который данные компьютера передаются модулю HC-05 а данные модуля принимаются компьютером.

ВНИМАНИЕ. Номер добавляемого COM порта не должен быть больше 20.

Пример подключения исходящего COM порта USB адаптера в Windows 7 показан на Рисунок 7.

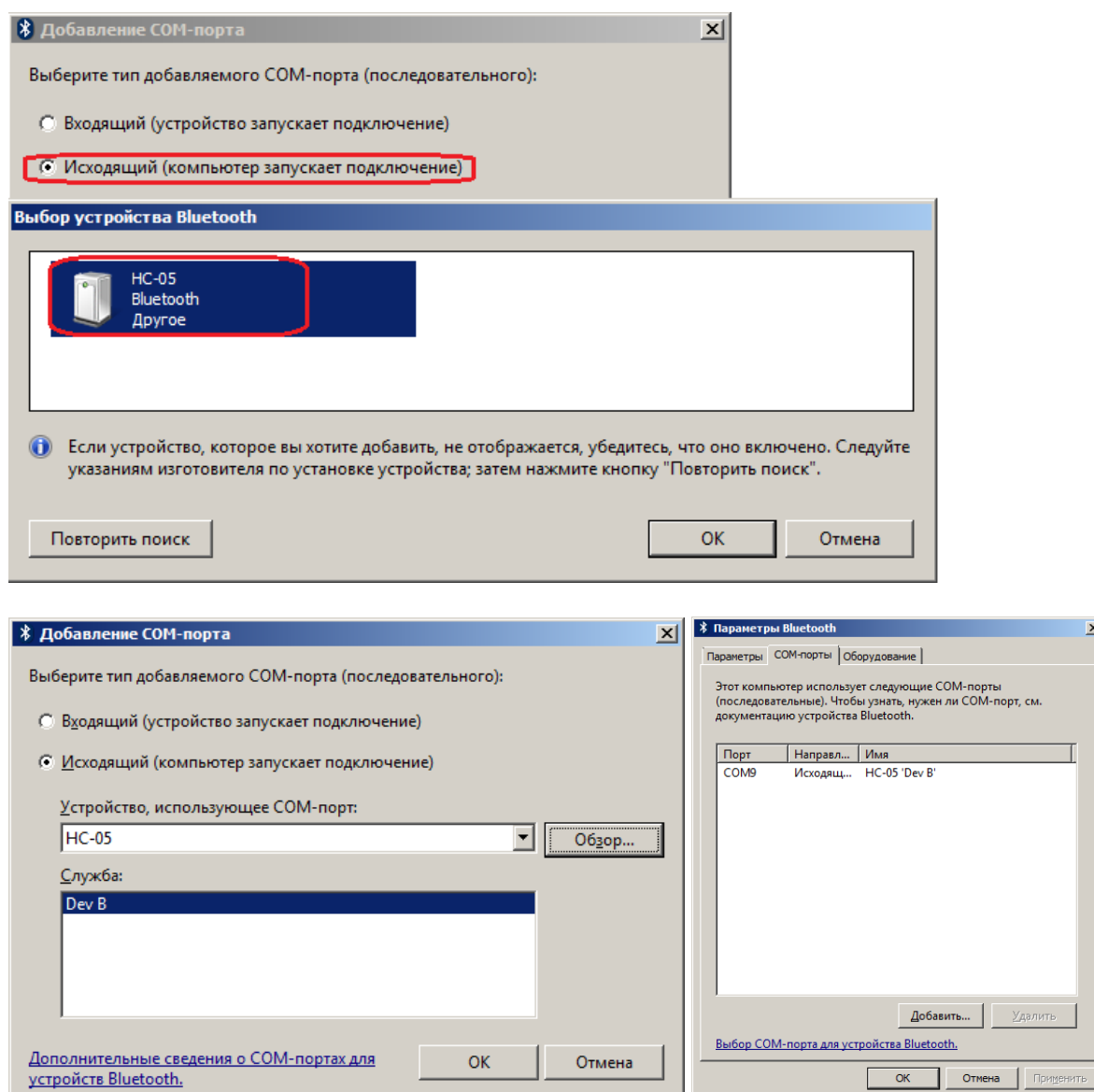


Рисунок 7. Поиск и подключение исходящего COM порта Bluetooth адаптера.

Для обмена данными, на компьютере можно использовать, например, программу-терминал Arduino IDE или утилиту COM Port Toolkit. В настройках терминала необходимо выбрать исходящий порт Bluetooth адаптера и установить скорость передачи, на которую запрограммирован Bluetooth модуль HC-05 и контроллер, взаимодействующий с HC-05 модулем через UART интерфейс.

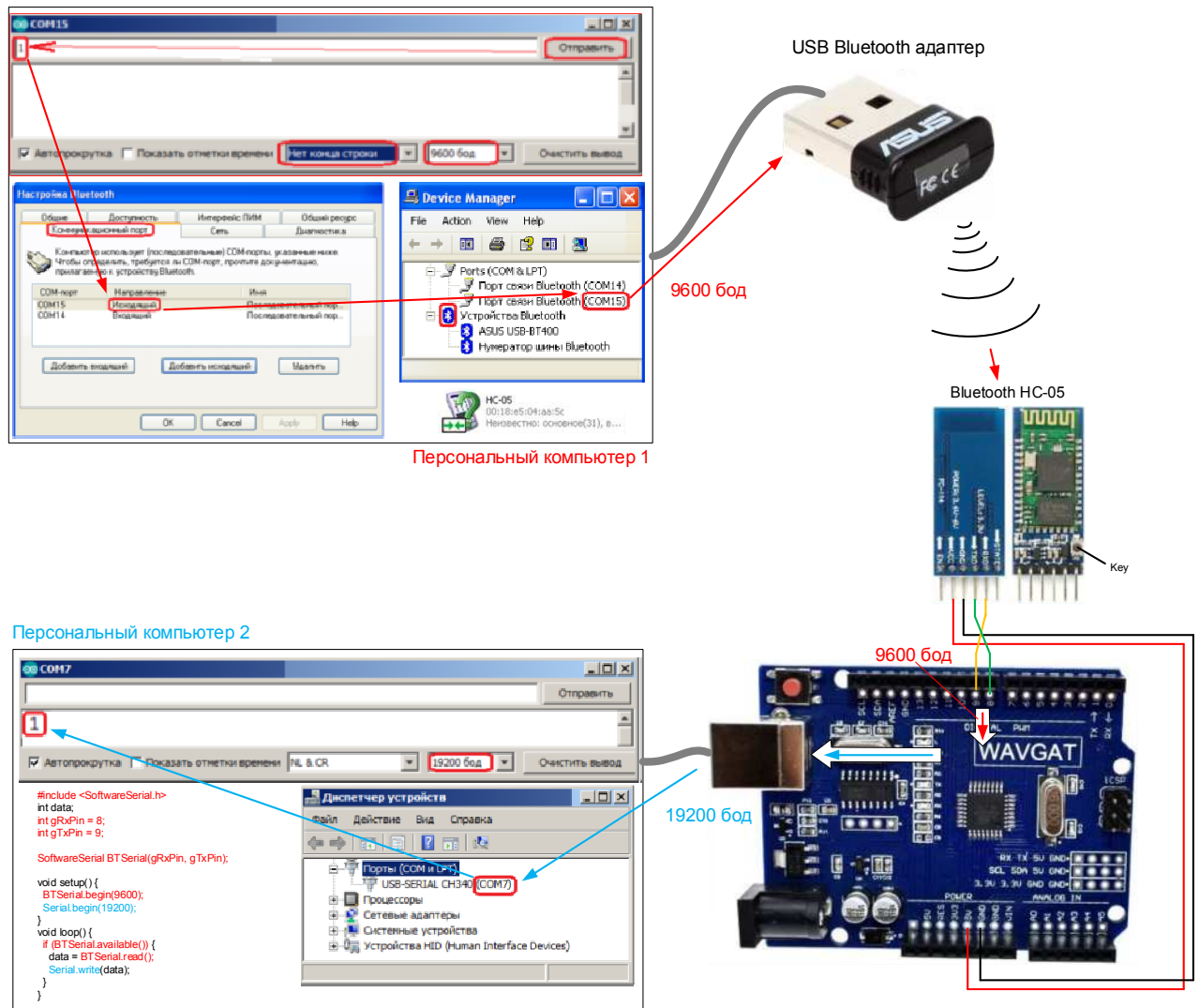


Рисунок 8. Передача данных от компьютера N1 через терминал Arduino IDE и Bluetooth адаптер на терминал Arduino IDE компьютера N2 через Bluetooth модуль HC-05 и клон WAVGAT контроллера Arduino UNO (Тестовая структура).

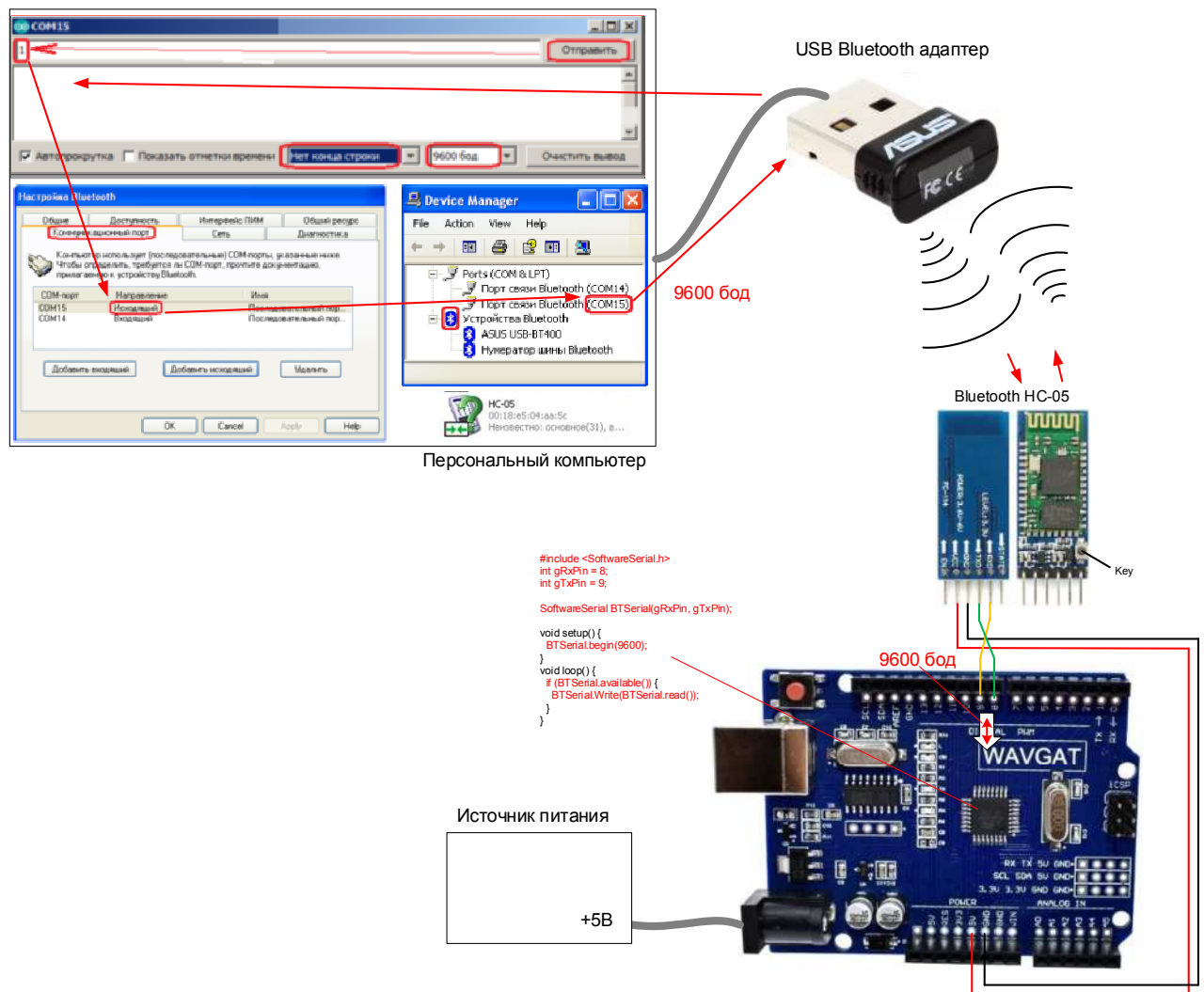


Рисунок 9. Передача данных терминала Arduino IDE в режиме “Эхо” через Bluetooth адаптер компьютера, Bluetooth модуль HC-05 и клон WAVGAT контроллера Arduino UNO (Тестовая структура).

Программа “Эхо” контроллера Arduino UNO (Рисунок 9):

```

#include <SoftwareSerial.h>
int gRxPin = 8;
int gTxPin = 9;

```

```

SoftwareSerial BTSerial(gRxPin, gTxPin);

```

```

void setup() {
  BTSerial.begin(9600);
}

void loop() {
  if (BTSerial.available()) {
    BTSerial.write(BTSerial.read());
  }
}

```

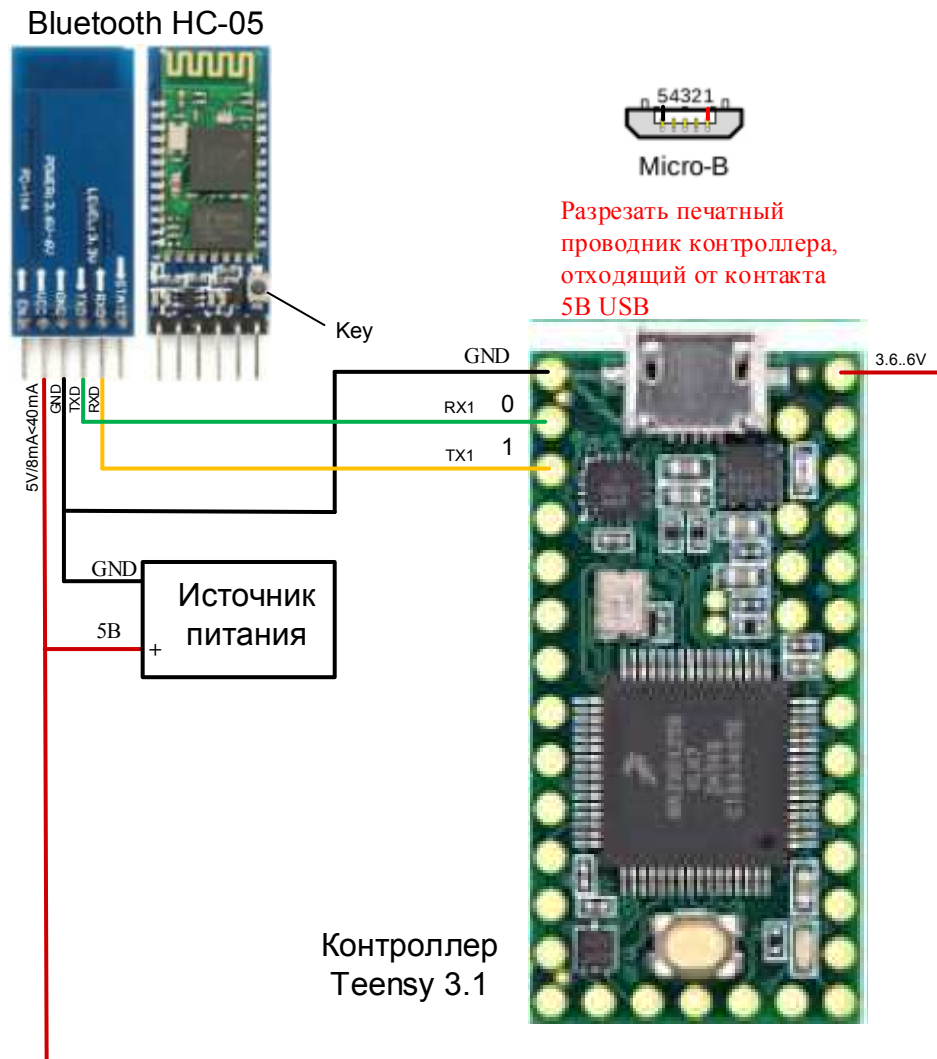
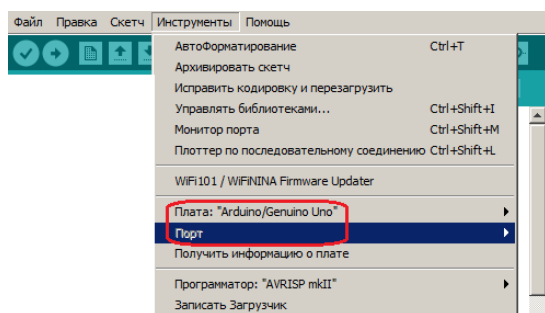


Рисунок 10. Подключение модуля Bluetooth HC-05 к UART интерфейсу контроллера Teensy 3.1. В состав контроллера входят три порта UART последовательной передачи данных. Линия RX1 приемника контроллера должна быть подключена к линии передатчика TXD модуля HC-05, а линия TX1 передатчика контроллера должна быть подключена к линии приемника RXD модуля HC-05. Изначально, контроллер получает питание от USB линии. Для обеспечения питания контроллера как от автономного источника питания 5В так и от линии USB необходимо на обратной стороне платы контроллера разрезать печатный проводник, отходящий от контактной площадки 5В разъема USB. **ВНИМАНИЕ.** Площадка 5В как и площадка GND разъема микроUSB контроллера отличаются максимальными размерами.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Задание 1. Чтение и изменение параметров модуля Bluetooth HC-05.

1. Подключите модуль HC-05 к контроллеру Arduino UNO (или к совместимого с ним контроллеру, например, WAVGAT), как показано на Рисунок 2.
2. Для перевода модуля HC-05 в режим AT-команд
 - отключите модуль от питания (можно вместе с контроллером);
 - Нажмите и удерживайте кнопку на модуле HC-05, которая привязана к контакту Key (см. Рисунок 2);
 - Подключите питание - подключите контроллер к USB порту персонального компьютера;
 - Отпустите кнопку (красный светодиод модуля начинает мигать с частотой примерно 0,5 Гц, раз в две секунды).
3. В диспетчере устройств найдите номер COM порта, который операционная система присвоила каналу связи с контроллером (Рисунок 2).
4. Загрузите консоль Arduino IDE для связи с контроллерами Arduino. Если используется контроллер WAVGAT, то для связи с контроллером через консоль Arduino IDE необходимо подключить библиотеки контроллера, скопировать их в раздел `c:\Users\...\Documents\Arduino\`
5. Настройте консоль (выберите из списка) на плату контроллера и COM порт контроллера.



6. Откройте  **Монитор порта** консоли.
7. Проверьте связь с Bluetooth модулем – введите команду AT.

Примечание. Каждая, передаваемая модулю команда, должна завершаться “возвратом каретки” и “переводом строки”, для выполнения этого требования убедитесь, что в окне монитора порта выбран режим .

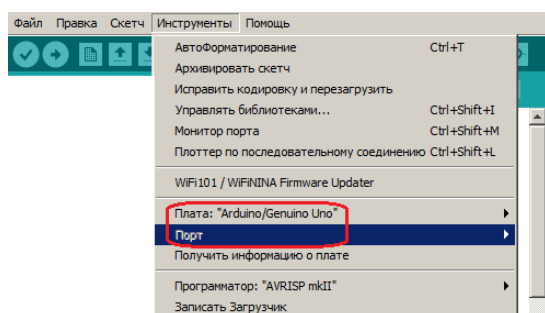
8. Сравните реакцию модуля с вариантами ответа, приведенными в Таблица 2.
9. Вводом других команд, перечисленных в Таблица 2, считайте, например, код прошивки модуля и адрес модуля.
10. Для вывода модуля HC-05 из режима AT-команд введите команду AT+RESET или снимите и подайте питание на модуль (отсоединением и присоединением контроллера к USB порту). Светодиод модуля начнет мигать с частотой около 4 Гц, это показывает, что Bluetooth модуль перешел в режим приема-передачи данных по беспроводной линии.

Задание 2. Обеспечение Bluetooth связи компьютера с контроллером Arduino, работающего в Slave режиме. Для выполнения задания используйте два компьютера. Один (N1) - с USB Bluetooth адаптером, другой (N2) – с контроллером Arduino UNO, к которому подключен Bluetooth модуль HC-05. На обоих компьютерах работают консоли Arduino IDE для ввода и отображения передаваемых данных.

1. Вставьте в USB порт компьютера N1 Bluetooth адаптер, например, BU-BT21A или ASUS USB-BT400 (см. Таблица 3)
2. Убедитесь, что в списке диспетчера устройств компьютера N1 обозначено подключение адаптера.
3. Для подключения к компьютеру N1 мобильных устройств с Bluetooth приемопередатчиком в параметрах Bluetooth адаптера компьютера разрешите обнаружение, как показано на Рисунок 4.
4. При запросе компьютером N1 кода подключения Bluetooth модуля HC-05 введите его код по умолчанию: 1234 (Рисунок 6).

Увидеть список подключенных внешних устройств Bluetooth, включая модуль HC-05, можно в окне, открываемом, например, через меню Пуск > Найти программы и файлы > [bthprops.cpl](#).

5. Для связи с модулем HC-05 переведите COM порт компьютера N1 в исходящий режим (компьютер запускает подключение), как показано для ОС Windows 7 на Рисунок 7. В этом режиме компьютер управляет передачей и приемом данных. Модуль HC-05 будет работать в slave режиме. Номер добавляемого COM порта не должен быть больше 20.
6. На компьютере N1 Загрузите консоль (программу-терминал) Arduino IDE. В настройках терминала установите исходящий порт Bluetooth адаптера и скорость передачи на которую запрограммирован модуль Bluetooth HC-05 (Рисунок 8).
7. Откройте  консоли компьютера N1. Переведите монитор в режим “Нет конца строки”
8. Подключите контроллер Arduino UNO с Bluetooth модулем к компьютеру N2.
9. Загрузите консоль (программу-терминал) Arduino IDE на компьютере N2.
10. Настройте консоль (выберите из списка) на плату контроллера и COM порт контроллера.



11. Загрузите в контроллер программу (см. ниже и Рисунок 8) чтения данных UART порта (к которому подключен модуль HC-05). Программа проверяет наличие данных в буфере UART порта, считывает данные и передает их в канал последовательной передачи, который соединяет контроллер с компьютером N1. Консоль компьютера N1 отображает передаваемые контроллером данные.

```

#include <SoftwareSerial.h>
int data;
int gRxBPin = 8;
int gTxPin = 9;

SoftwareSerial BTSerial(gRxBPin, gTxPin);

void setup() {
  BTSerial.begin(9600);
  Serial.begin(19200);
}
void loop() {
  if (BTSerial.available()) {
    data = BTSerial.read();
    Serial.write(data);
  }
}

```

12. Через консоль компьютера N1 (см. Рисунок 8) вводите побайтно данные и наблюдайте их на консоли компьютера N2. Данные проходят через беспроводной канал Bluetooth, схематично показанный на Рисунок 8.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные сравнительные характеристики беспроводных линий последовательной передачи данных Wi-Fi и Bluetooth.
2. Какие устройства необходимы для подключения контроллера к компьютеру через беспроводной канал Bluetooth?
3. Покажите состав и последовательность передачи данных через беспроводные каналы, показанные на Рисунок 9 и Рисунок 10.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. HC-03/05 Embedded Bluetooth Serial Communication Module AT command set Last revised: April, 2011 http://www.linotux.ch/arduino/HC-0305_serial_module_AT_command_set_201104_revised.pdf
2. Как заставить Bluetooth работать. https://www.e-reading.club/chapter.php/1022848/232/Karp_-_Hitrosti_Windows_7._Dlya_professionalov.html
3. Dr. Bob Davidov. Компьютерные технологии управления в технических системах <http://portalnp.ru/author/bobdavidov>