

Controller uploading without IDE

Загрузка контроллеров без использования консоли Arduino IDE

Цель работы: Знакомство со структурой команд загрузки контроллеров.

Задача работы: Составление команд для загрузки контроллеров Arduino без использования консоли Arduino IDE.

Приборы и принадлежности: Персональный компьютер, консоль Arduino IDE, загрузки плата расширения Arduino на контроллере Atmega328 или Atmega32u4 или контроллер Teensy.

ВВЕДЕНИЕ

Перенастройка систем на базе контроллеров включает загрузку рабочих программ (бинарных файлов) в контроллеры. Применение консоли Arduino IDE (интегрированной программной среды) для перезагрузки связано с необходимостью настраивать IDE на соответствующие типы контроллеров и номера COM портов, эту работу должны выполнять пользователи знакомые с IDE. Альтернативными вариантами загрузки являются make файлы или команды утилиты Command Prompt или Cmd.

В этой работе рассматриваются варианты загрузки контроллеров (Arduino на Atmega328 и Atmega32u4 и совместимого контроллера Teensy) отдельными командами или через командный файл, без использования среды IDE.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Организация USB COM связи плат Arduino

По организации канала последовательной связи платы Arduino можно разделить на платы с преобразователем USB - UART и платы с микроконтроллерами, которые поддерживают USB связь без внешних преобразователей. К первым относятся платы Arduino UNO, Arduino NANO, Arduino Mini, Arduino UNO Ethernet, Arduino UNO WiFi на базе микроконтроллеров **Atmega328**. Ко вторым – платы Arduino Leonardo, Arduino Micro, Arduino Yun Mini, Arduino Industrial 101, Arduino Leonardo Ethernet с контроллерами **Atmega32u4** [1].

Загрузка контроллера Arduino (Atmega328) программой avrdude.exe

Загрузку hex файла в контроллер Arduino можно выполнить программой **avrdude.exe**. Эта программа входит в состав пакета консоли IDE, например, версии Arduino 1.8.5. Загрузчик **avrdude.exe** запускается утилитой **cmd** или **Command Prompt**, которые запускаются как показано на Рисунок 1.

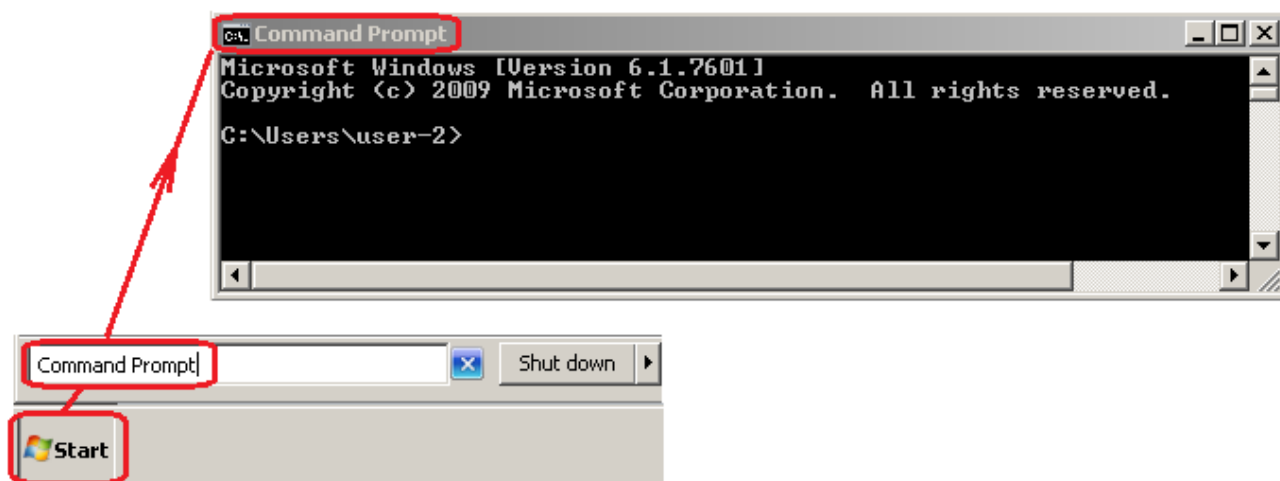


Рисунок 1. Пример запуска утилиты Command Prompt.

Чтобы получить образец написания команды загрузки **hex** кода в контроллер Arduino на вашем компьютере выполните следующую последовательность.

- Подключите плату Arduino UNO к компьютеру.
- Загрузите Arduino IDE.
- Загрузите в окно редактора Arduino IDE программу контроллера.
- Выберите тип платы Arduino из меню >Tools > Board >
- Выберите COM порт платы из меню > Tools > Port >
- Установите флажок upload в закладке Preferences: меню Arduino IDE > File > Preferences > Show verbose output during > upload.
- Запустите меню >Sketch > Upload.
- После завершения загрузки, в окне вывода Arduino IDE консоли найдите команду с **avrdude**, она выглядит, например, так:

```
C:\Program Files (x86)\Arduino\hardware\tools\avr\bin\avrdude -CC:\Program Files (x86)\Arduino\hardware\tools\avr\etc\avrdude.conf -v -patmega328p -carduino -PCOM3 -b115200 -D -Uflash:w:C:\Users\user-2\AppData\Local\Temp\arduino_build_628118/Blink.ino.hex:i
```

Для выполнения команды **avrdude** утилитой **Command Prompt** в команду необходимо ввести двойные кавычки, как показано ниже.

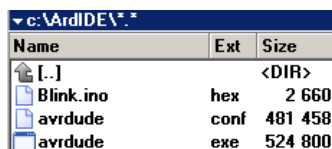
```
"C:\Program Files (x86)\Arduino\hardware\tools\avr\bin\avrdude" -"CC:\Program Files (x86)\Arduino\hardware\tools\avr\etc\avrdude.conf" -v -patmega328p -carduino -PCOM3 -b115200 -D -Uflash:w:C:\Users\user-2\AppData\Local\Temp\arduino_build_628118/Blink.ino.hex:i
```

Приведенная команда может использоваться для загрузки **hex** программ в контроллер Arduino с чипом **Atmega328** и отдельным преобразователем USB – UART. Для контроллеров с **Atmega32u4**, поддерживающим USB связь без аппаратного преобразователя, для выполнения команды нужны дополнительные действия, которые описаны ниже в соответствующем разделе.

Поскольку откомпилированная программа - hex файл хранится в папке временных файлов пока открыта консоль IDE (..\AppData\Local\Temp\..), то hex файл лучше скопировать в отдельную папку, туда же скопировать загрузчик avrdude.exe и файл avrdude.conf.

ПРИМЕЧАНИЕ. Для размещения **hex** файла в папке с *.ino с использованием консоли IDE необходимо выполнить команду меню > Sketch > Export compile Binary (Ctrl+Alt+S).

После перемещения файлов (Рисунок 2), например, в папку C:\ArdIDE команда загрузки с обновленными путями доступа к файлам принимает вид, как показано на Рисунок 3.



Name	Ext	Size
[.]		<DIR>
Blink.ino	hex	2 660
avrdude	conf	481 458
avrdude	exe	524 800

Рисунок 2. Размещение файлов загрузчика и hex файла в отдельной папке.



Рисунок 3. Запуск загрузчика avrdude утилитой Command Prompt.

Загрузка контроллера Teensy загрузчиком *teensy_post_compile.exe*

После установки программного обеспечения **Teensyduino** контроллеров **Teensy**, в списке устройств консоли Arduino IDE появляются соответствующие контроллеры (см. Рисунок 4).

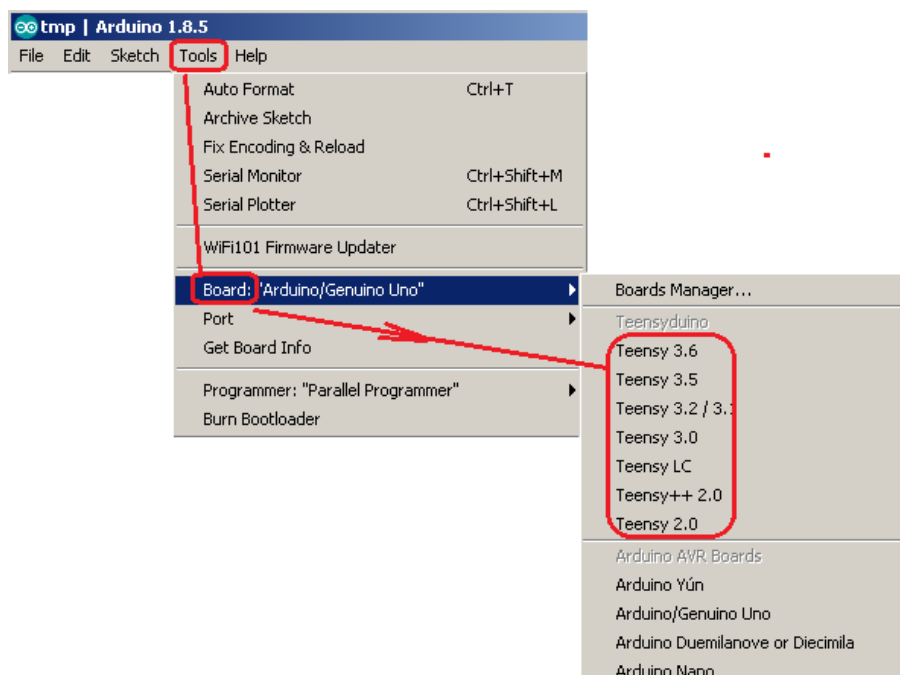
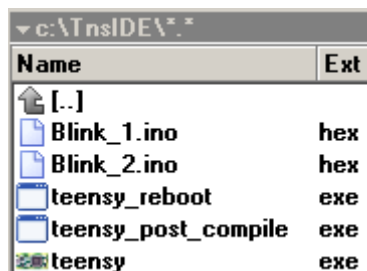


Рисунок 4. Список контроллеров Teensy в консоли Arduino IDE.

Образец написания команды загрузки **hex** кода в контроллер **Teensy** можно получить, выполнив последовательность, показанную выше для контроллеров **Arduino**. В окне вывода необходимо найти образец загрузчика - команду **teensy_post_compile**. Для автономной загрузки нужные файлы можно скопировать в отдельную папку, например, как показано ниже. Файлы **teensy_post_compile**, **teensy_post_compile.exe** и **teensy.exe** можно взять из пакета Arduino дополненного приложением Teensy.



Name	Ext
[..]	
Blink_1.ino	hex
Blink_2.ino	hex
teensy_reboot	exe
teensy_post_compile	exe
teensy	exe

Ниже показаны примеры команд загрузки hex файлов Blink_1.ino и Blink_2.ino в два контроллера Teensy, подключенных к компьютеру через USB хаб.

```
"C:\TnsIDE\teensy_post_compile" -file=Blink_2.ino "-path=C:\TnsIDE" "-tools=C:\TnsIDE" -board=TEENSY31 -reboot -port=usb:0/1A0000/0/1/1/1 -portlabel=COM19 (Teensy 3.2) Serial -portprotocol=Teensy
```

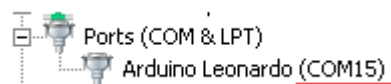
```
"C:\TnsIDE\teensy_post_compile" -file=Blink_1.ino "-path=C:\TnsIDE" "-tools=C:\TnsIDE" -board=TEENSY31 -reboot -port=usb:0/1A0000/0/1/1/2 -portlabel=COM23 (Teensy 3.2) Serial -portprotocol=Teensy
```

В этих записях порты хаба обозначены как usb:0/1A0000/0/1/1/1 и usb:0/1A0000/0/1/1/2.

Загрузка контроллера Arduino (Atmega32U4) программой avrdude.exe

Платы Arduino UNO, Leonardo, Micro и др. построены на базе микроконтроллера ATmega32U4. Этот микроконтроллер имеет встроенный USB-канал (full speed USB 2.0), поэтому загрузка программ в него отличается от рассмотренной загрузки в микроконтроллеры ATmega328 через дополнительный USB - UART преобразователь.

Номер COM порта контроллера Arduino указан в списке диспетчера устройств, например.



При открытии виртуального COM порта контроллера Arduino pro **Micro** (с любой частотой передачи 1200, ..., 9600, ... 115200 бод) происходит сброс контроллера и запуск программы пользователя. В среде МАТЛАБ программа создания виртуального порта выглядит следующим образом.

```
% create port.
s=serial('COM15','Baudrate',9600); % 115200
fopen(s);
```

После закрытия виртуального COM порта с частотой не равной 1200 бод, например, как показано ниже

```
fclose(s);
delete(s);
clear s
```

происходит выполнение пользовательской программы контроллера.

Сброс контроллера и запуск загрузчика контроллера выполняется после открытия и закрытия COM порта с частотой 12000 бод внешней средой, например, МАТЛАБ, как показано ниже.

```
% create port.
s=serial('COM15','Baudrate',1200); % 115200
fopen(s);
pause(1.5);
fclose(s);
delete(s);
clear s
```

Эту же операцию можно выполнить командой **mode**, как показано на Рисунок 5.

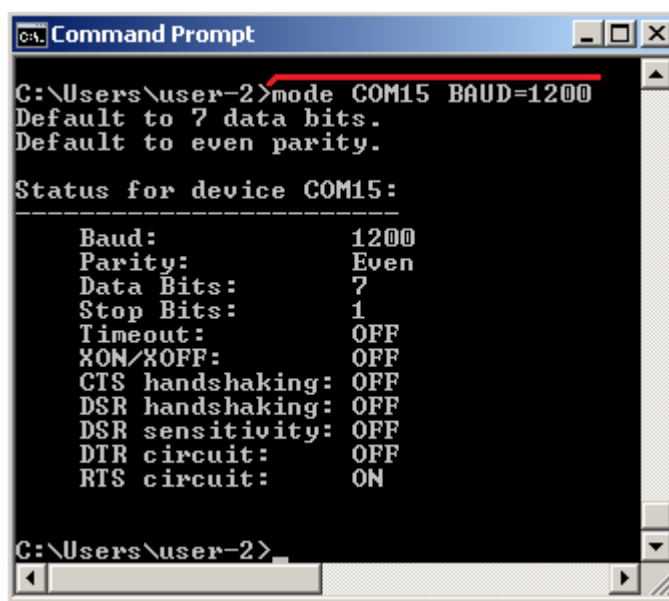
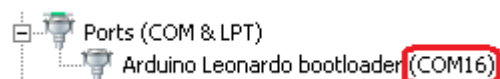
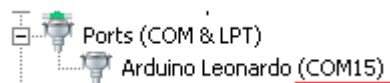


Рисунок 5. Выполнение команды mode в Command Prompt. Команда устанавливает для порта COM15 частоту передачи 1200 бод, что вызывает сброс контроллера и запуск загрузчика, а также временно изменяет номера виртуального порта контроллера в списке устройств.

После закрытия порта (команда fclose(s) МАТЛАБ) загрузчик контроллера создает свой виртуальный (CDC) порт, который отображается в списке диспетчера устройств с новым номером примерно на 8 секунд.



По прошествии времени существования нового виртуального порта (8 сек.), в список диспетчера устройств возвращается COM порт с исходным номером.




Во время существования нового COM порта, через него в контроллер можно самостоятельно загрузить программу пользователя, используя образец команды **avrdude** консоли Arduino IDE. Получение образца команды загрузчика **avrdude** в среде Arduino IDE аналогично варианту, приведенному выше для микроконтроллеров Atmega328. Созданный виртуальный порт исчезает из списка устройств после перезагрузки платы и в список возвращается COM порт с исходным номером.

Загрузчик также можно запустить, подключением контакта RST платы Arduino на землю GND.



Если автоматический сброс контроллера (через создание и отключение COM порта на частоте 1200 бод) не работает, загрузку устройств (Arduino Leonardo, Arduino Pro **Micro**) на базе микроконтроллера ATmega32U4 можно выполнить через консоль Arduino IDE в следующей последовательности.

1. Нажмите и удерживайте кнопку "Reset" (или замкните контакт RST на землю). Последовательное USB соединение разрывается. Из списка диспетчера устройств исчезает COM порт контроллера.
2. Нажмите кнопку  Upload (Ctrl+U) Arduino IDE. На Рисунок 6 показано начальное состояние диспетчера устройств (слева) и Arduino IDE (справа) на этом этапе

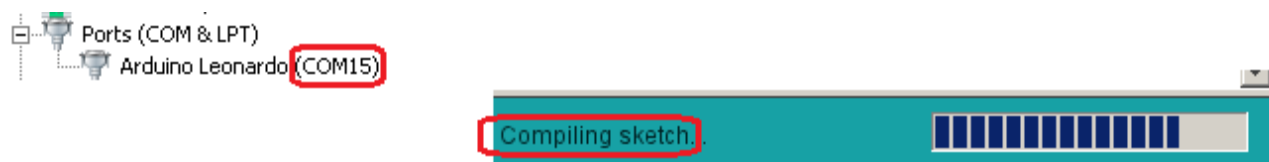


Рисунок 6. Номер COM порта в диспетчере устройств и индикация процесса компиляции программы в консоли Arduino IDE.

3. Дождитесь когда индикатор статуса закончит компиляцию "Compiling" и перейдет на загрузку "Uploading", как показано на Рисунок 7.



Рисунок 7. Номер нового временного COM порта в диспетчере устройств и индикация процесса загрузки программы в консоли Arduino IDE.

4. Отпустите кнопку "Reset" (разомкните контакт RST). USB соединение восстанавливается. Выполняется загрузка. Окончание загрузки индикатор обозначает фразой Done uploading (см. Рисунок 8)



Рисунок 8. Номер COM порта в диспетчере устройств и индикация завершения загрузки программы в консоли Arduino IDE.

Загрузка контроллеров через пакетный (командный) bat файл

Автономную загрузку (без использования консоли Arduino IDE) можно выполнить при помощи пакетного (командного) файла. Пример пакетного файла (с расширением bat) для загрузки HEX файлов в два контроллера Arduino Pro Micro (Atmega32u4), подключенных к компьютеру через первый хаб, в два контроллера Teensy, подключенных к компьютеру через второй хаб, и в контроллер Arduino UNO (Atmega328) приведен ниже. Загружаемые HEX файлы и все необходимые для этого программы были предварительно помещены в общую папку, показанную на Рисунок 9.

Name	Ext	Size
[..]	<DIR>	
mcLoad	bat	904
avrdude	conf	481 458
avrdude	exe	524 800
teensy	exe	3 646 344
teensy_post_compile	exe	25 600
teensy_reboot	exe	46 080
Blink_1_Teensy.ino	hex	26 417
Blink_2_Teensy.ino	hex	26 417
BlinkUNO.ino	hex	2 660
micro.ino	hex	11 231

Рисунок 9. Пример содержимого папки для автономной загрузки 5 контроллеров: Arduino Pro Micro (Atmega32u4), Teensy и Arduino UNO (Atmega328)

Пакетный файл mcLoad.bat для автономной загрузки пяти контроллеров показан ниже. Задержки по одной секунде (TIMEOUT /T 1 /NOBREAK) добавлены перед загрузкой контроллеров Arduino Pro Micro. Задержка 2 секунды введена перед загрузкой второго контроллера Teensy. После окончания загрузки всех контроллеров закрывается окно программы Teensy.exe.

```

echo OFF
echo UPLOAD: Arduino Pro Micro 1
mode COM42 BAUD=12000
TIMEOUT /T 1 /NOBREAK
avrduide -Cavrduide.conf -v -patmega32u4 -cavr109 -PCOM45 -b57600 -D -Uflash:w:micro.ino.hex:i

echo UPLOAD: Arduino Pro Micro 2
mode COM43 BAUD=12000
TIMEOUT /T 1 /NOBREAK
avrduide -Cavrduide.conf -v -patmega32u4 -cavr109 -PCOM44 -b57600 -D -Uflash:w:micro.ino.hex:i

echo UPLOAD: Arduino UNO
avrduide -Cavrduide.conf -v -patmega328p -carduino -PCOM3 -b115200 -D -Uflash:w: BlinkUNO.ino.hex:i

echo UPLOAD: Teensy 1
"C:\mcLOAD/teensy_post_compile" -file=Blink_1_Teensy.ino "-path=C:\mcLOAD" "-tools=C:\mcLOAD" -
board=TEENSY31 -reboot -port=usb:0/1A0000/0/1/1/2 -portlabel=COM23 (Teensy 3.2) Serial -
portprotocol=Teensy

REM Delay 2 seconds:
TIMEOUT /T 2 /NOBREAK

echo UPLOAD: Teensy 2
"C:\mcLOAD/teensy_post_compile" -file=Blink_2_Teensy.ino "-path=C:\mcLOAD" "-tools=C:\mcLOAD" -
board=TEENSY31 -reboot -port=usb:0/1A0000/0/1/1/1 -portlabel=COM19 (Teensy 3.2) Serial -
portprotocol=Teensy

REM Close Teensy.exe
taskkill /f /IM Teensy.exe

```



Отсоединение контроллера от USB линии не влияет на загрузку остальных контроллеров.

Для исключения имени Arduino из списка диспетчера устройств, например, “Arduino UNO (COMX)”, можно использовать программы, например, RegOwnershipEx, или аппаратные клоны контроллеров Arduino, например, WAVGAT, который обозначается в списке устройств как “USB-SERIAL CH340 (COMX)”.

ПРИМЕРЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОВЕРЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВАРИАНТЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

ЗАДАНИЕ 1. Непосредственная загрузка контроллера Arduino UNO (Atmega328).

Для выполнения задания ознакомьтесь с разделом настоящего документа: “Загрузка контроллера Arduino (Atmega328) программой avrdude.exe”

1. Подключите контроллер Arduino UNO к компьютеру.
2. В списке диспетчера устройств найдите номер COM порта подключенного контроллера.
3. Загрузите консоль Arduino IDE.
4. Загрузите в окно редактора пример включения-выключения светодиода контроллера, подключенного к 13 цифровому порту: меню > File > Examples > 01.Basics>Blink.
5. Выберите тип платы Arduino UNO в списке: меню >Tools > Board >
6. Выберите соответствующий COM порт платы: меню > Tools > Port >
7. Запустите компиляцию и загрузку выбранной программы в контроллер: кнопка  или меню > Sketch > Upload (Ctrl+U)
8. Убедитесь, что светодиод мигает и частота мигания соответствует параметрам установленными в тексте загруженной программы.
9. Сохраните программу в рабочей папке под новым именем, например, Blink1000.ino
10. Для размещения **hex** файла (бинарный файл откомпилированной программы) в папке с программой Blink1000.ino выполните команду: меню > Sketch > Export compile Binary (Ctrl+Alt+S).
11. Убедитесь, что в папке появились два **hex** файла, с загрузчиком (with_bootloader) и без него: Blink1000.ino.standard.hex.
12. В тексте программы увеличьте частоту мигания в два раза.
13. Сохраните программу в рабочей папке под новым именем, например, Blink500.ino
14. Установите флажок: меню Arduino IDE > File > Preferences > Show verbose output during > upload
15. Разместите **hex** файл программы Blink500.ino в папке с программой Blink500.ino командой: меню > Sketch > Export compile Binary (Ctrl+Alt+S).
16. Запустите компиляцию и загрузку контроллера: кнопка 
17. Убедитесь, что частота мигания светодиода увеличилась в два раза.
18. Найдите в окне вывода консоли Arduino IDE команду с **avrdude**, она выглядит, например, как показано ниже

```
C:\Program Files (x86)\Arduino\hardware\tools\avr\bin/avrdude -CC:\Program Files (x86)\Arduino\hardware\tools\avr\etc\avrdude.conf -v -patmega328p -carduino -PCOM12 -b115200 -D -Uflash:w:C:\Users\user-2\AppData\Local\Temp\arduino_build_296542/Blink500.ino.hex:i
```

19. Введите в команду двойные кавычки:

```
"C:\Program Files (x86)\Arduino\hardware\tools\avr\bin/avrdude" -CC:\Program Files (x86)\Arduino\hardware\tools\avr\etc\avrdude.conf -v -patmega328p -carduino -PCOM12 -b115200 -D -Uflash:w:C:\Users\user-2\AppData\Local\Temp\arduino_build_296542/Blink500.ino.hex:i
```

20. Запустите утилиту **Command Prompt** или **Cmd**: компьютер Start(Пуск) > Search programs and files > Cmd

21. Скопируйте в командную строку утилиты команду **avrdude** (см. п 19).

22. Запустите выполнение команды: клавиша <Enter>

23. По миганию светодиодов контроллера и по сообщению утилиты “avrdude done. Thank you” убедитесь, что команда выполнила загрузку.

24. Из установочного пакета программ консоли Arduino скопируйте в папку с файлом Blink500.ino программы avrdude.exe и avrdude.conf.

25. Настройте команду **avrdude** на работу с файлами папки Blink500, например:

```
"C:\Blink500/avrdude" -CC:\Blink500\avrdude.conf -v -patmega328p -carduino -PCOM12 -b115200 -D -Uflash:w:C:\Blink500/Blink500.ino.standard.hex:i
```

26. Запустите отредактированную команду загрузки при помощи утилиты Cmd. Убедитесь в выполнении загрузки.

27. Скопируйте файл Blink1000.ino.hex в папку Blink500.

28. Отредактируйте и выполните команду для загрузки в контроллер файла Blink1000.ino.hex:

```
"C:\Blink500/avrdude" -CC:\Blink500\avrdude.conf -v -patmega328p -carduino -PCOM12 -b115200 -D -Uflash:w:C:\Blink500/Blink1000.ino.standard.hex:i
```

29. В папке Blink500 создайте два текстовых документа с расширением bat (например, Blink500.bat и Blink1000.bat) и поместите в них команды загрузки в контроллер соответствующих hex файлов.

30. Запуская поочередно в среде Windows командные (пакетные) файлы Blink500.bat и Blink1000.bat убедитесь, что перезагрузка контроллера выполняется корректно – устанавливается требуемая частота мигания.

31. Напишите командный файл с параметром для загрузки Blink500.ino.standard.hex и Blink1000.ino.standard.hex. Например, файл ***.bat 500** загружает Blink500.ino.standard.hex, а ***.bat 500** Blink1000.ino.standard.hex:

```
IF -%1 == - GOTO EXIT
IF -%1 == -1000 GOTO M1000
"C:\Blink500\avrdude" "-CC:\Blink500\avrdude.conf" -v -patmega328p -carduino -
PCOM12 -b115200 -D -Uflash:w:C:\Blink500/Blink500.ino.standard.hex:i
echo Blink500 uploaded!
GOTO EXIT
:M1000
"C:\Blink500\avrdude" "-CC:\Blink500\avrdude.conf" -v -patmega328p -carduino -
PCOM12 -b115200 -D -Uflash:w:C:\Blink500/Blink1000.ino.standard.hex:i
echo Blink1000 uploaded!
:EXIT
```

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Приведите примеры оперативного изменения программной структуры распределенной системы на базе микроконтроллеров.
2. Назовите варианты загрузки контроллеров, альтернативные загрузке через консоль IDE.
3. Как можно выполнить загрузку контроллеров из среды Matlab?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сравнение плат Arduino (таблица) <http://digitrode.ru/arduino-comparison.html>
2. Arduino Micro, <https://shop.pimoroni.com/products/arduino-micro>
3. Dr. Bob Davidov. Компьютерные технологии управления в технических системах <portalnp.ru/author/bobdavidov>.