**Установка среды разработки в Windows 10 для БАГЕТ-ПЛК1-01**

Мощевикин А.П., Голяков М.А., 24.03.2025

Одноплатный микрокомпьютер БАГЕТ-ПЛК1-01 построен на микроконтроллере Комдив-МК (К5500ВК018), разработанном в НИИСИ РАН.

В микроконтроллере Комдив-МК есть 16кБ встроенного ПЗУ и 512 кБ встроенного ОЗУ. Кроме этого, на плате БАГЕТ-ПЛК1-01 установлены микросхемы внешнего ОЗУ на 512 МБ, «системного» ПЗУ (flash-память) на 4 МБ (содержит загрузчик barebox или ПО пользователя), пользовательского ПЗУ на 4 МБ (flash-память), пользовательского ПЗУ на 4 кБ (память EEPROM) и SD-карта 32GB для хранения образа ОС Debian.

Возможность использования той или иной аппаратной конфигурации определяется перемычками SA4, SA9 на плате. Режимы работы платы БАГЕТ-ПЛК1-01 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Режимы работы платы БАГЕТ-ПЛК1-01.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Режимиспользования | Комдив-МК | БАГЕТ-ПЛК1-01 |
| встроен.ПЗУ16 кБ | встроен.ОЗУ512 кБ | внеш. ОЗУ DDR3512 МБ | внеш. систем. флеш-ПЗУD30, W25Q32, QSPI4 МБ | внеш. польз. флеш-ПЗУD31, W25Q32, SPI04 МБ | внеш. польз. ПЗУ EEPROMD8, M24C32, I2C04 кБ | SD-карта32 ГБ |
| Debian | - | - | + SA4 (1-2) | +загрузчик barebox | + | - SA9 OFF | + SA9 OFF |
| baremetal | - | + SA4 (2-3) | - | +ПО пользователя | + | +SA9 ON | - |

Устройство может работать в одном из двух режимов.

* Режим 1 – со встроенной операционной системой Debian, загружаемой с SD-карты и исполняемой с использованием внешних ПЗУ и ОЗУ, размещенных на плате БАГЕТ-ПЛК1-01.
* Режим 2 (baremetal) – без операционной системы, с исполнением кода из внешнего системного ПЗУ без использования внешнего ОЗУ (используется только оперативная память 512 кБ, встроенная в микроконтроллер).

В режиме 1 взаимодействие с внешними устройствами и другой периферией на плате БАГЕТ-ПЛК1-01 осуществляется посредством драйверов операционной системы и прикладных программ, созданных, например, на языке Python. В этом режиме можно использовать достаточно большое количество скриптов и утилит, свободно распространяемых для платформы Raspberry.

Для создания встроенного программного обеспечения для режима 2 используют два альтернативных подхода: разработка программ в стиле Arduino на Си-подобном языке с компоновкой программы в блоках setup() и loop() и разработка программ на стандартизованном языке Си.

**Проверка работоспособности платы БАГЕТ-ПЛК1-01 со встроенной ОС Debian**

Плата БАГЕТ-ПЛК1-01 поставляется с предустановленной ОС Debian на SD-карте.

Перемычки SA4-SA7 на плате должны быть установлены, как показано на рисунке 1 (все перемычки в левое положение). Установку и снятие перемычек требуется выполнять в обесточенном состоянии.



Рисунок 1 – Положение перемычек SA4-SA7 для работы со встроенной ОС Debian (Ethernet, EXT ROM, EXT RAM, LITTLE ENDIAN).

Перед проведением всех работ рекомендуется создать образ SD-карты, поставляемой с платой, поскольку в ходе экспериментов у пользователей иногда возникают ситуации непреднамеренной порчи содержимого SD-карты.

Плату БАГЕТ-ПЛК1-01 необходимо подключить к USB-порту компьютера, а также подать электропитание 7-18 Вольт через коаксиальный разъем X7. При запитывании платы только через USB-порт возможна ее нестабильная работа.

Если при подключении платы БАГЕТ-ПЛК1-01 к компьютеру с ОС Windows в Диспетчере устройств (вызов Win+x с клавиатуры) возникает неизвестное устройство (см. рисунок 2), необходимо установить драйвер микросхемы FTDI FT2232HL (VCP driver – драйвер виртуального com-порта).



Рисунок 2 – Неизвестное USB-устройство.

Драйвер можно скачать с сайта производителя чипа.

<https://ftdichip.com/drivers/vcp-drivers/>

<https://ftdichip.com/wp-content/uploads/2021/11/CDM-v2.12.36.4.U-WHQL-Certified.zip> (для Windows 10)

Рекомендуется использовать качественный USB-кабель, а также подключать плату в USB-разъем, установленный на материнской плате компьютера, а не в USB-разъем на передней панели корпуса компьютера.

В результате корректной установки драйверов и подключения платы БАГЕТ-ПЛК1-01 в диспетчере устройств должны появиться два USB serial конвертера А и В, а также один или два последовательных USB-порта. Например, на рисунке 3 показаны появившиеся в системе порты 7 и 8.

В плате БАГЕТ-ПЛК1-01 USB-конвертер А (и привязанный к нему виртуальный com-порт) используется для загрузки программ и для отладки с помощью интерфейса JTAG, а USB-конвертер В – как консоль (например, для вывода диагностических сообщений в компьютер).



Рисунок 3 – Обновленный список устройств: два USB-serial конвертера А и В и два последовательных USB-порта 7 и 8.

Если в Диспетчере устройств возникают не два USB-порта, а один, то в обоих конвертерах USB Serial Converter A и USB Serial Converter B необходимо активировать виртуальный com-порт. Для этого необходимо кликнуть правой кнопкой мышки (ПКМ) на конвертере, далее в контекстном меню выбрать «Свойства», в открывшемся окне выбрать вкладку «Дополнительно» и установить галочку «Загрузить VCP», как показано на рисунке 4.



Рисунок 4 – Активация VCP в USB-конвертере А.

Если по какой-то причине не удается активировать VCP, то рекомендуется установить более новый драйвер FTDI, а затем для каждого конвертера вручную через контекстное меню по ПКМ выбрать требуемый драйвер. В редких случаях для связи с платой через консольное приложение (конвертер В), возможно, потребуется на время отключить конвертер А: нажать на клавиатуре Win+x, в Диспетчере устройств кликнуть ПКМ на USB Serial Converter A и выбрать «Отключить».

В качестве консольного Windows-приложения для связи с платой БАГЕТ-ПЛК1-01 рекомендуется установить teraterm.

https://github.com/TeraTermProject/teraterm/releases/download/v5.3/teraterm-5.3.exe

Необходимо настроить величину шрифта в меню Setup / Font и выбрать параметры com-порта в меню Setup / Serial port: указать выбранный порт и параметры 115200, 8, none, 1, none. Пример конфигурации приведен на рисунке 5.

Для связи с платой с помощью teraterm необходимо использовать USB-конвертер В.



Рисунок 5 – Конфигурация teraterm.

После нажатия кнопки RESET на плате БАГЕТ-ПЛК1-01 должен замигать светодиод RX0, а на экран компьютера в приложении teraterm поступят диагностические сообщения о процессе загрузки программного обеспечения.

После загрузки операционной системы Debian с SD-карты в окне терминала появится приглашение командной оболочки bash к авторизации. С использованием привилегий root (или с помощью sudo) пользователь может самостоятельно создавать других пользователей, ставить новые пакеты программного обеспечения, запускать утилиты, компилировать исходный код, исполнять скрипты и т.д. Таким образом, ему доступны все средства и методы работы в ОС Debian.

Необходимо отметить, что при подключении к локальной сети Ethernet кабелем в разъем X3 (RJ45) в момент загрузки плата пытается получить IP-адрес по протоколу DHCP. Полученный IP-адрес указан в одном из диагностических сообщений. MAC-адрес сетевого интерфейса по умолчанию генерируется случайным образом. Таким образом, после каждой перезагрузки выделяемый IP-адрес может быть иной.

**Подготовка среды разработки программного обеспечения в Windows 10 для платы БАГЕТ-ПЛК1-01 без встроенной ОС Debian**

***Установка WSL и Debian под Windows***

Для работы без встроенной ОС Debian (режим baremetal) перемычки SA4-SA7 на плате БАГЕТ-ПЛК1-01 должны быть установлены, как показано на рисунке 6 (перемычки SA5-7 устанавливаются в левое положение, перемычка SA4 – в правое положение INT RAM). Установку и снятие перемычек требуется выполнять в обесточенном состоянии.



Рисунок 6 – Положение перемычек SA4-SA7 для работы без встроенной ОС Debian (Ethernet, EXT ROM, INT RAM, LITTLE ENDIAN).

В качестве среды разработки используется пакет поддержки программирования микроконтроллера Комдив-МК (ППП МК) от НИИСИ РАН и редактор Visual Studio Code (VS Code), запускаемые в среде Windows Subsystem for Linux (WSL).

НИИСИ РАН рекомендует создавать новое программное обеспечение, используя настроенную среду разработки под Debian. Для того, чтобы пользоваться этой рекомендацией на компьютерах с Windows, необходимо в ОС Windows установить WSL 2. Затем в установленной виртуальной машине установить и запустить ОС Debian, и далее организовать среду разработки на основе ППП МК.

Для того, чтобы установить и настроить это программное обеспечение, необходимо выполнить следующие действия.

1. Включить виртуализацию Intel Virtualization Technology.

Для этого при старте компьютера (по клавише Del, Esc, F1 или F2) войти в BIOS и установить параметр Virtualization в значение Enable (в секциях установки конфигурации процессора в Advanced, System Configuration, или Security; на разных компьютерах в разных секциях).

1. Установить VS Code для Windows.

https://code.visualstudio.com/download

1. Включить службы сервера виртуализации Hyper-V и подсистему Windows для Linux (WSL).

В Панели управления / Программы / Включение или отключение компонентов Windows установить галочки у Hyper-V и Подсистема Windows для Linux.

1. Установить Windows terminal.

В строке поиска в Microsoft Store найдите Terminal и установите. По умолчанию Windows Terminal открывает консоль PowerShell, но можно выбрать и другие через выпадающее меню.

1. Организовать доступ из Debian (WSL) к USB-порту компьютера.

Установить утилиту для подключения USB-устройства к дистрибутиву Linux, работающему в WSL. Для этого в окне Windows terminal выполнить:

winget install --interactive --exact dorssel.usbipd-win

Подать питание на плату БАГЕТ-ПЛК1-01 и подключить ее USB-кабелем к компьютеру.

Кликнуть правой кнопкой мышки на иконку установленного Windows terminal, выбрать «Дополнительно» / Запуск от имени администратора.

От имени администратора в окне Windows terminal посмотреть список USB-устройств:

usbipd list

Пример списка приведен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Список USB-устройств, выдаваемый по команде usbipd list

В списке найти строку с USB Serial Converter A, USB Serial Converter B, запомнить BUSID этого порта (на рисунке номер BUSID = 3-9).

Провести связывание и подключение этого устройства, выполнив команды (в обоих строчках заменить BUSID 3-9 на другой):

usbipd bind --busid 3-9

usbipd attach --wsl --busid 3-9

В результате при повторном выводе списка устройств командой usbipd list у требуемого устройства появится статус Shared, как показано на рисунке 8.



Рисунок 8 – Обновленный список USB-устройств

Необходимо отметить, что статус Shared не изменяется после перезагрузки компьютера, поэтому команду usbipd bind необходимо выполнить однократно. Однако, команду подключения интерфейса usbipd attach необходимо выполнять каждый раз после перезагрузки.

1. Установить ядро WSL 2.

Процедура и нюансы установки WSL 2 описаны в https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows/wsl/install

В консоли PowerShell в Windows terminal с правами администратора выполнить (предварительно, скорее всего, потребуется перезагрузить компьютер):

wsl.exe --update

wsl --set-default-version 2

1. Установить Debian в Windows с помощью WSL.

В консоли PowerShell в Windows terminal выполнить:

wsl --install --distribution Debian

В ходе установки Debian после установки VirtualMachinePlatform необходимо перезагрузить компьютер.

После установки в PowerShell необходимо выполнить команду запуска Debian:

wsl –d Debian

Создать пользователя и придумать пароль, войти в систему. Например, pcuser/pcuser.

Установить обновления ОС Debian.

sudo apt update

sudo apt upgrade

Консоль с правами администратора можно закрыть.

В новой консоли Windows terminal в выпадающем меню появилась консоль Debian, как показано на рисунке 9.



Рисунок 9 – Консоль Debian в Windows terminal.

Кроме этого, в проводнике Windows появилось новое устройство Linux.

***Установка утилиты flashrom и резервирование образа ПЗУ***

ПЗУ платы БАГЕТ-ПЛК1-01 объемом 4 МБ (микросхема D31 на принципиальной схеме) содержит загрузчик barebox, отвечающий за загрузку ОС Debian c SD-карты. При использовании платы в режиме 2 (baremetal, без операционной системы) в ПЗУ помещается код исполняемой программы.

С составе пакета поддержки программирования микроконтроллера НИИСИ РАН поставляет исходный код kmk\_flashrom – программатора ПЗУ.

Все действия в командной строке по установке kmk\_flashrom выполняются в установленной консоли Debian (Windows terminal).

С помощью проводника Windows скопировать файл kmk\_flashrom.tar в домашний каталог пользователя pcuser (\\wsl.localhost\Debian\home\pcuser) и разархивировать:

tar -xf kmk\_flashrom.tar

Установить необходимые библиотеки, компиляторы и средства разработки:

sudo apt install libpci-dev libgusb-dev libftdi1-dev

sudo apt install make gcc g++ vim mc screen

Перейти в каталог ~/flashrom и собрать утилиту.

cd flashrom

make

sudo make install

В результате на компьютере под операционной системой Windows в каталогах подсистемы Linux появился исполняемый файл ~/flashrom/flashrom

Перед работой с платой рекомендуется сохранить образ ПЗУ с загрузчиком barebox в файл.

Подать питание на плату БАГЕТ-ПЛК1-01 и подключить ее USB-кабелем к компьютеру.

Выполнить проброс USB-порта между Debian и Windows (в командной строке заменить BUSID 3-9 на другой), набрать в консоли PowerShell (внимание, до этого использовалась консоль Debian):

usbipd attach --wsl --busid 3-9

Если в этот момент в PowerShell выполнить команду dmesg –w, то можно заметить, что оба USB-конвертера A и B связаны с портами ttyUSB. Пример вывода dmesg приведен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Вывод dmesg после подключения USB-порта в WSL.

Следующая команда в консоли Debian сохраняет образ ПЗУ в файл barebox\_299.bin:

sudo flashrom -p ft2232\_spi:type=kmk -c W25Q32BV/W25Q32CV/W25Q32DV -r ~/barebox\_299.bin

Для загрузки образа в ПЗУ используется команда:

sudo flashrom -p ft2232\_spi:type=kmk -c W25Q32BV/W25Q32CV/W25Q32DV -w ~/barebox\_299.bin

***Компиляция программы из примера***

В составе пакета поддержки программирования микроконтроллера поставляется исходный код программ, созданных в стиле Arduino на Cи-подобном языке.

Для демонстрации процесса создания приложений необходимо проделать следующее.

С помощью проводника Windows скопировать файл 20250226\_pppmk.tar.bz2 в домашний каталог пользователя pcuser (\\wsl.localhost\Debian\home\pcuser) и разархивировать:

tar -xf 20250226\_pppmk.tar.bz2

В результате появятся каталоги ~/arduino/ (с проектами Arduino) и ~/psp\_mc/ (с проектами на стандартизованном языке Си).

В консоли Debian установить кросс-компиляторы gcc и g++.

sudo apt install gcc-mips-linux-gnu g++-mips-linux-gnu

Перейти в папку ~/arduino/ и запустить редактор VS Code:

cd arduino/

code .

VS Code будет запрашивать разрешения на инсталляцию дополнительных пакетов, а также разрешение на переоткрытие проекта в WSL. На все запросы следует отвечать Yes.

Если в VS Code окно терминала автоматически не открылось, то выбрать в меню View / Terminal.

Для демонстрации процесса создания программ и загрузки бинарного кода в ПЗУ платы можно использовать один из примеров в каталоге ~/arduino/apps/. Программа i2c\_scanner выполняет поиск устройств на шине i2c и выводит их список на экран.

В окне терминала перейти в каталог одного из примеров и скомпилировать подготовленный исходный код проекта.

cd apps/i2c\_scanner

make

В результате в каталоге ~/arduino/apps/i2c\_scanner появятся файлы ram.bin, ram.dis и ram.elf.

Размер бинарного файла ram.bin меньше 4 МБ. Для того, чтобы запрограммировать ПЗУ, необходимо создать образ ПЗУ, совпадающий по размеру с объемом ПЗУ и включающий ram.bin. Это можно сделать с помощью командного файла kmk.sh, который необходимо создать в каталоге ~/arduino/apps/i2c\_scanner , например, с помощью проводника Windows. Файл kmk.sh должен содержать следующий текст.

#!/bin/sh

BAREBOXIMG=$1

if [ ! -e "$BAREBOXIMG" ]; then

 echo "usage:"

 echo " $0 <barebox-image>"

 exit 1

fi

cat > /tmp/layout <<EOF

00000000:0007ffff barebox

EOF

dd if=/dev/zero ibs=1M count=4 | tr "\000" "\377" > /tmp/padded.img

dd if=$BAREBOXIMG of=/tmp/padded.img conv=notrunc

flashrom -p ft2232\_spi:type=kmk -c W25Q32BV/W25Q32CV/W25Q32DV -w /tmp/padded.img

В этом командном файле сначала создается 4 МБ образ padded.img в каталоге /tmp/, а затем в этот образ встраивается скомпилированный файл ram.bin. Последняя строка в файле запускает утилиту программирования ПЗУ.

Для того, чтобы файл kmk.sh был исполняемым, необходимо выполнить:

chmod +x kmk.sh

Собрать и загрузить образ в ПЗУ одной командой (из папки проекта apps/i2c\_scanner):

make && sudo ./kmk.sh ram.bin

Если возникает ошибка доступа к каталогу /tmp/, необходимо выполнить:

sudo chown root:root /tmp/\*

Для того, чтобы увидеть вывод программы i2c\_scanner, исполняемой в плате БАГЕТ-ПЛК1-01, необходимо отключить USB-порт компьютера от виртуальной машины с Debian и передать его обратно «во владение» операционной системе Windows (в командной строке заменить BUSID 3-9 на другой):

usbipd detach --busid 3-9

Далее необходимо запустить Windows-терминал (например, teraterm), выбрать требуемый com-порт и наблюдать вывод. Пример ожидаемого вывода приведен на рисунке 11.



Рисунок 11 – Вывод программы i2c\_scanner.

Вывод программы i2c\_scanner можно наблюдать и в ОС Debian с помощью утилиты minicom. В этом случае выполнять команду usbipd detach --busid 3-9 не надо, т.е. USB-порт должен быть виден из Debian.

Убедиться в этом можно, выполнив:

ls /dev/tt\*

В списке устройств должны быть /dev/ttyUSB0 и /dev/ttyUSB1, как показано в примере на рисунке 12 (см. правый столбик).



Рисунок 12 – Пример списка устройств в Debian, содержащий /dev/ttyUSB0 и /dev/ttyUSB1.

Установить утилиту minicom из командной строки в Debian:

sudo apt install minicom

Запустить терминал из командной строки Debian:

sudo minicom -D /dev/ttyUSB1

Если параметры порта не соответствуют 115200 8N1, в утилите minicom нажать Ctrl-A + O, выбрать «Serial port setup» и установить необходимое.

Выход из терминала minicom – по нажатию Ctrl-A + Q.

Пример вывода программы i2c\_scanner в терминал minicom приведен на рисунке 13.



Рисунок 13 – Вывод программы i2c\_scanner в терминал minicom.

***Заключение***

Резюмировать проделанное можно с использованием блок-схемы, представленной на рисунке 14.



Рисунок 14 – Блок-схема комплекса программирования платы БАГЕТ-ПЛК1-01.

Для программирования платы БАГЕТ-ПЛК1-01 в режиме baremetal в Windows устанавливается виртуальная машина, в которой запускается ОС Debian. Файл образа прошивки микроконтроллера Комдив-МК создается с помощью пакета поддержки программирования и редактора VS Code, запускаемых в Debian-среде. Для того, чтобы загрузить файл образа прошивки в ПЗУ на плате БАГЕТ-ПЛК1-01 используется Debian-утилита flashrom. Исходный код свободно распространяемой утилиты flashrom немного изменен (для стыковки с платой БАГЕТ-ПЛК1-01), поэтому предварительно ее необходимо скомпилировать и собрать.

Непосредственно перед загрузкой образа требуется запустить Windows-утилиту usbipd, которая «пробрасывает» USB-порт в Debian и делает возможной связь из Debian c платой БАГЕТ-ПЛК1-01.

Результат работы программы, исполняемой в микроконтроллере Комдив-МК, можно наблюдать на компьютере, подключившись терминалом к USB-порту, связанном с USB-конвертером В. Для этого используется либо Windows-terminal (teraterm), либо терминал в Debian (minicom). Во втором случае USB-порт должен быть «проброшен» внутрь виртуальной машины.