

Контроллеры ARMatura

© Dmitry Ponyatov <dponyatov@gmail.com>, SSAU ASCL

2 марта 2013 г.

Оглавление

Оглавление	1
I Введение	6
II Железо	8
1 STM32VLDISCOVERY /STM32F100RBT6/	9
2 STM32F4DISCOVERY /SRM32F407VGT6/	11
3 ARMatura /STM32F407IGT/	13
4 PION /STM32F103C8/	14
III Первые шаги	15
5 Установка пакета ПО STlink	16
6 Установка Keil MDK-ARM	22
7 Первый проект: blink	29
7.1 Настройки проекта в Keil	30
7.2 Структура файлов	43
7.3 blink.c	44
8 Hell Of World	45

IV Средства разработки	46
9 Keil MDK-ARM	47
10 Компиляторы	48
10.1 GCC	48
10.2 KeilCC	48
10.3 IAR	48
11 IDE	49
11.1 Eclipse	49
11.2 Code::Blocks	50
11.3 gVim	50
11.4 Keil uVision	50
11.5 IAR	50
12 Программаторы	51
12.1 STlink	51
12.2 Serial Boot	51
13 Отладка	52
13.1 STM32 SWD	52
13.2 GDB	52
13.3 JTAG	52
V Основы языка C⁺	53
14 Синтаксис	54
15 Типы данных	55
16 Стандартная библиотека libc	56
VICMSIS	57
VI Ядро Cortex-Mx	59
17 Режимы ARM и Thumb	60
18 DMA	61
19 DSP /Cortex-M3/	62
20 FPU /Cortex-M4F/	63
VII Интерфейсы	64
21 USB	65

22 UART	66
23 SPI	67
24 I2C	68
25 CAN	69
IX Операционные системы ОСРВ	70
26 Keil RTX	71
27 FreeRTOS	72
28 eCos	73
29 Linux	74
X Стек TCP/IP	75
30 Ethernet	76
31 PPP	77
XI Типовые применения	78
32 GPS	79
32.1 Протокол NMEA 0183	79
32.2 \$GPRMC — рекомендуемый минимум навигационных данных	80
32.3 Системы координат (датум)	81
32.4 Методы преобразования систем координат	82
32.5 Геоид и эллипсоиды	83
32.6 Tistar15	84
32.7 WISMO228	84
33 GSM	85
33.1 WISMO228	85
34 шина Dallas 1Wire	86
34.1 RTC	86
34.2 Датчики температуры DS18x20	86

XI Встраиваемый Linux	87
XII ПДА	88
XIII Приложения	90
35 Сводная таблица процессоров	91

Listings

7.1 blink.c 44

Часть I

Введение

Эта книга – набор методичек по разработке ПО для встраиваемых систем, написанных для Института космического приборостроения СГАУ.

Для применения в реальных проектах научной аппаратуры была разработана линейка унифицированных модулей:

1. ARMatura — модуль на мощном микропроцессоре STM32F417IGT: 1M Flash, 192K SRAM, TQFP176, DSP, FPU,.. [35](#)

предназначен для использования в качестве центрального процессора цифровой системы: обработка данных, сложные алгоритмы управления, ЦОС, вычисления, реализация протоколов передачи данных по интерфейсам USB, Ethernet, RS232/UART, SPI, I2C, CAN,..

2. PION [4](#) — модуль на самом простом и дешевом STM32F100C4T6B: 128K Flash, 8K SRAM, UART, SPI [35](#)

периферийный модуль для стыковки с аналоговыми датчиками и исполнительными устройствами, предварительная ЦОС обработка, передача данных на ARMatura-модули для дальнейшей обработки данных.

также модуль применим в качестве самостоятельного простого интерфейса при замене на чип STM32F103 с портом USB или установки внешних интерфейсных микросхем FT232RL (USB Serial), CP1202, MC1551 (CAN).

3. BACKPLANE — коммутационная плата межмодульного интерфейса

4. POWER — модуль импульсного источника питания

5. STEPPER — модуль управления двухфазным шаговым двигателем

6. WISMO — несущая плата для GPS/GSM модуля WISMO 228

7. QVGA — несущая плата для TFT touch-панели

В качестве базового микроконтроллера были выбраны чипы семейства STM32Fxxx с ядрами Cortex-M3, Cortex-M4F (ARM) как самые дешевые, и имеющие хорошую поддержку в виде отладочных плат линейки Discovery.

В общем, линейка модулей ARMatura может рассматриваться в качестве замены устаревшей линейки периферийных контроллеров Arduino на базе МК AVR8.

Проект размещен в репозитории <https://github.com/ponyatov/ARMatura.git> и предоставляется на условиях OpenHardware licence (за исключением прошивок и схем по тематике ИКП СГАУ).

Контакты разработчиков:

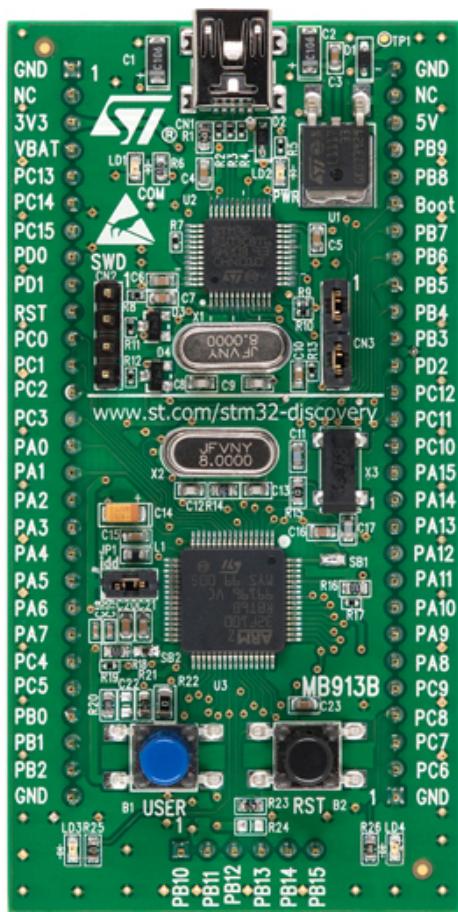
- ИКП СГАУ <semkin@ssau.ru>
- Дмитрий Понятов <dponyatov@gmail.com>

Часть II

Железо

Глава 1

STM32VLDISCOVERY /STM32F100RBT6/



- Микроконтроллер STM32F100RB [35](#), 128 KB Flash, 8 KB RAM in 64-pin LQFP
- Встроенный ST-Link с возможностью использования в режиме внешнего программатора (только с SWD коннектором)
- Разработана для питания как от USB, так и от внешнего источника 3.3 или 5 вольт
- Может обеспечить питание 3 и 5 вольт для внешних устройств
- Два пользовательских светодиода (зеленый и синий)
- Пользовательская кнопка USER

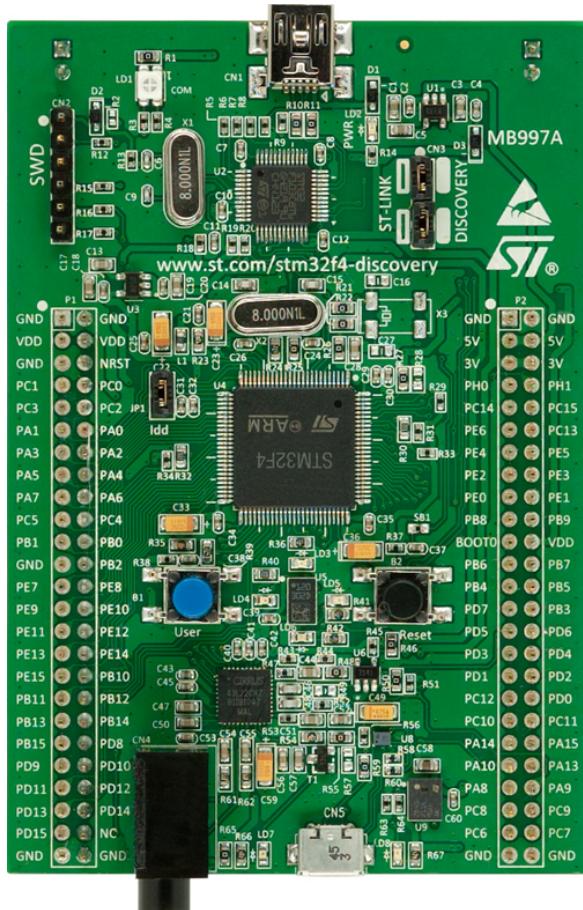
- Кнопка сброса RESET
- Контактные гребенки для всех выводов QFP64 для быстрого подключения и монтажа прототипа

Цена в розницу: 750 р.

<http://www.voltmaster.ru/cgi-bin/qwery.pl?id=127000573571&group=7000046>

Глава 2

STM32F4DISCOVERY /SRM32F407VGT6/



- микроконтроллер STM32F407VGT6 [35](#) на базе 32-битного ядра Cortex-M4F, 1 MB Flash, 192 KB RAM в корпусе LQFP100
- встроенный ST-LINK/V2 с возможностью использования в режиме внешнего программатора (только с SWD коннектором)
- Разработана для питания как от USB, так и от внешнего источника 5 вольт
- Может обеспечить питание 3 и 5 вольт для внешних устройств
- LIS302DL, ST MEMS датчик движения, 3-осевой цифровой гироскоп
- MP45DT02, ST MEMS аудиодатчик, всенаправленный цифровой микрофон

- CS43L22, аудиоЖАП со встроенным аудиоусилителем класса D
- Восемь LEDs: LD1 (red/green) for USB communicationLD2 (red) for 3.3 V power onFour user LEDs, LD3 (orange), LD4 (green), LD5 (red) and LD6 (blue)2 USB OTG LEDs LD7 (green) VBus and LD8 (red) over-current
- Пользовательская кнопка USER
- Кнопка сброса RESET
- USB OTG FS with micro-AB connector
- Контактные гребенки для всех выводов LQFP100 ля быстрого подключения и мон-тажа прототипа

Цена в розницу: 1140 р.

<http://www.voltmaster.ru/cgi-bin/qwery.pl?id=127000854271&group=7000046>

Глава 3

ARMatura /STM32F407IGT/

Глава 4

PION /STM32F103C8/

Модуль PION предназначен для мелких задач управления, первичной обработки данных,стыковки с устройствами измерения и исполнительными устройствами, т.е. для тех задач, для которых ранее использовались микроконтроллеры Atmel AVR8.

процессор	STM32F103C8	??
тактовая	72Mhz	
Flash	64K	
SRAM	20K	
шина	ARMAbus	
интерфейсы	UART	3
	USB	1
	CAN	1
	SPI	2
	АЦП	10x12b
	ЦАП	2x12b
буфер	Parallel Flash	64K

Выбор процессора определялся ценой, наличием CAN интерфейса (требование для шины ARMAbus), USB (возможность использования в виде изолированного контроллера для ПК), объемом SRAM для хранения рабочих данных, и количеством ног ввода/вывода.

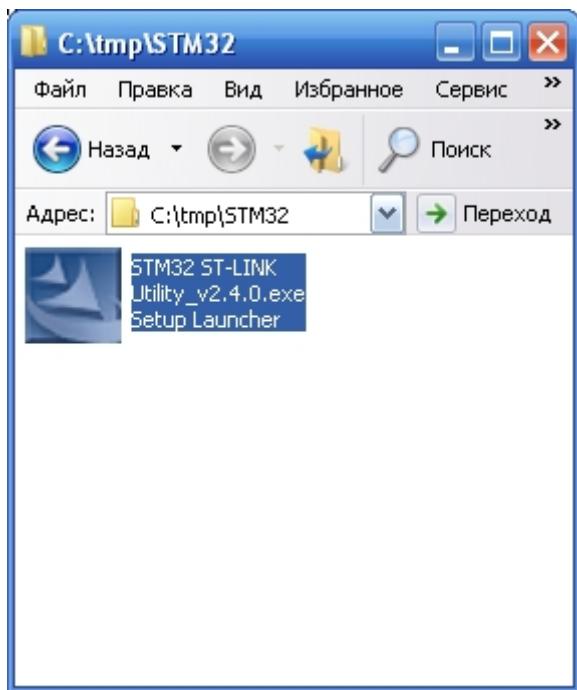
Часть III

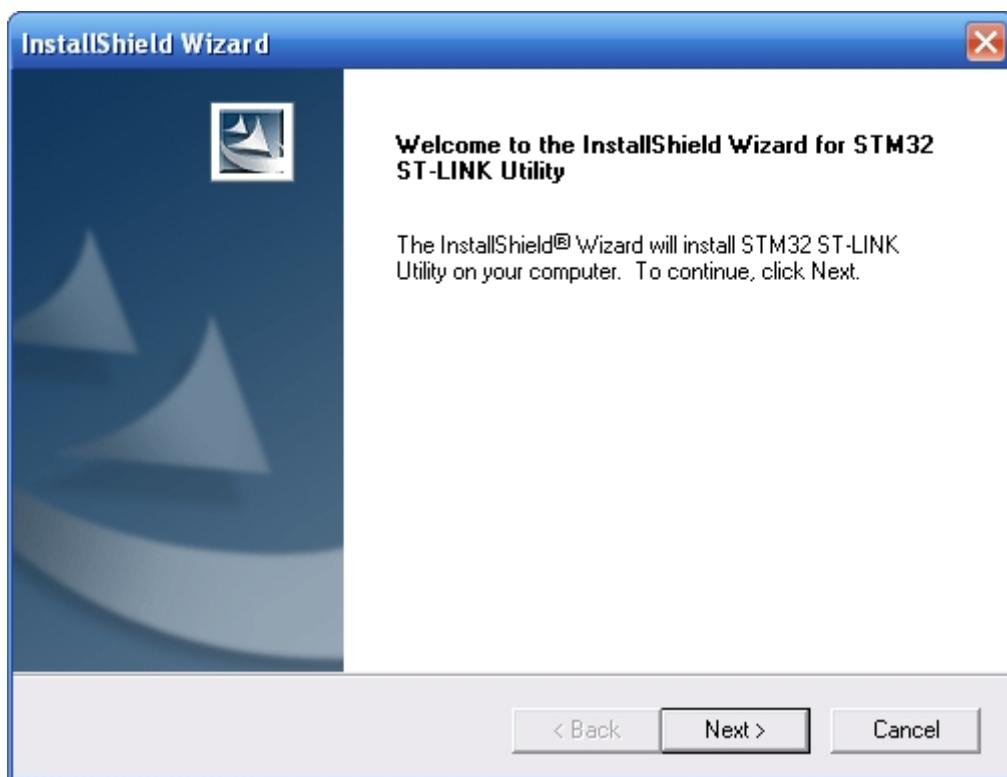
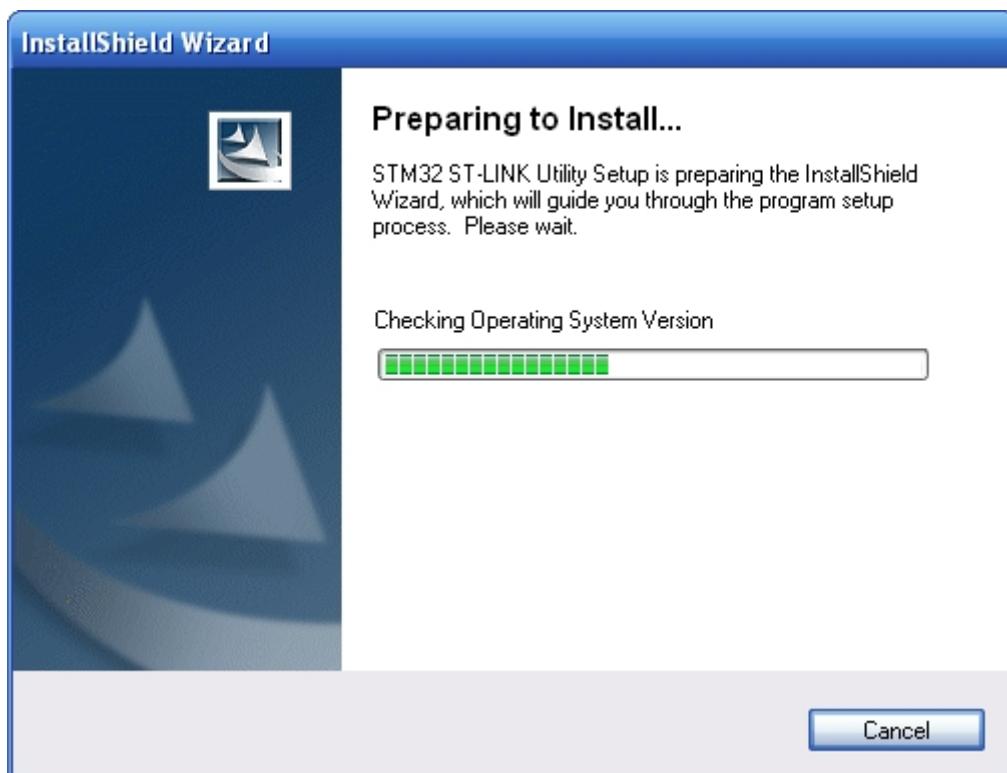
Первые шаги

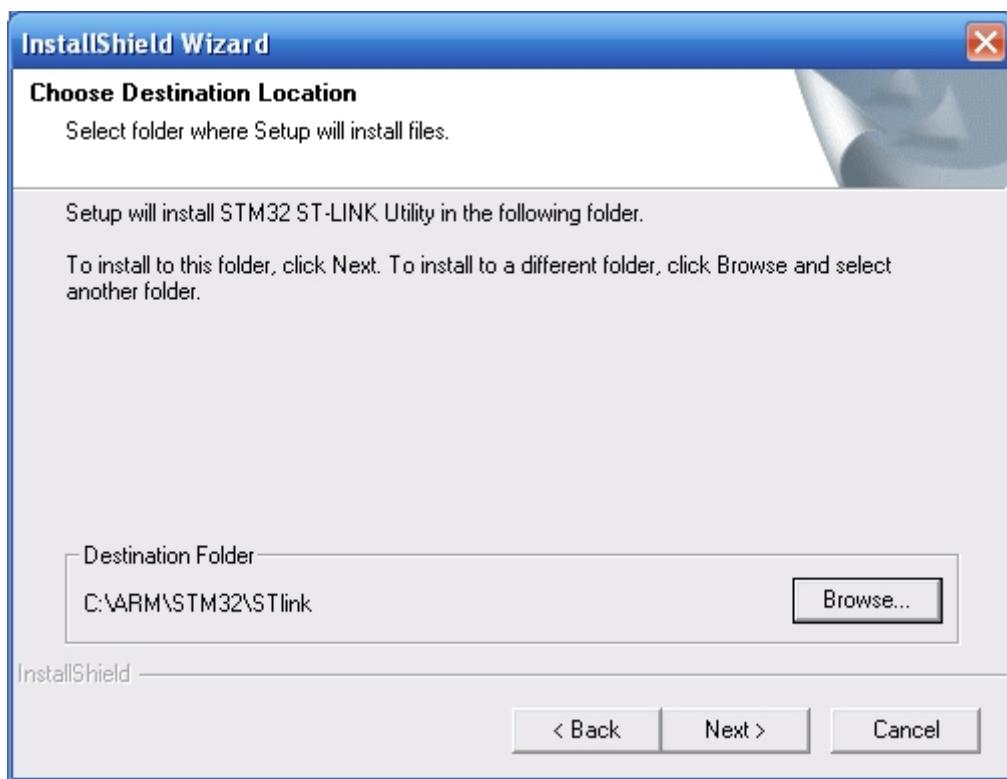
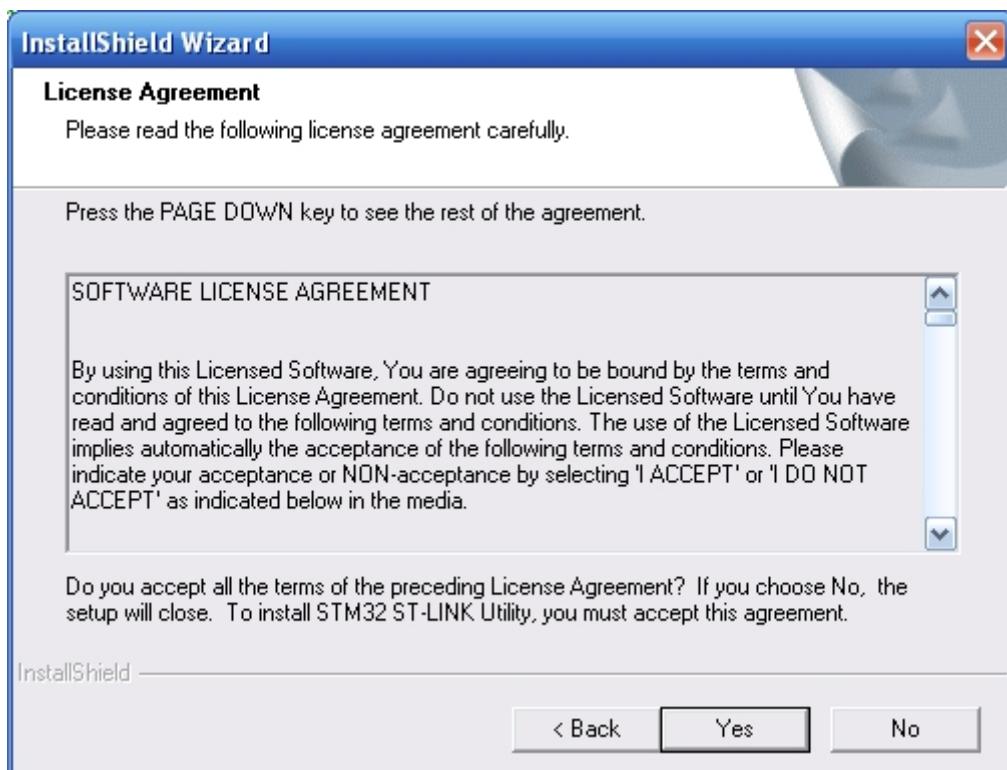
Глава 5

Установка пакета ПО STlink

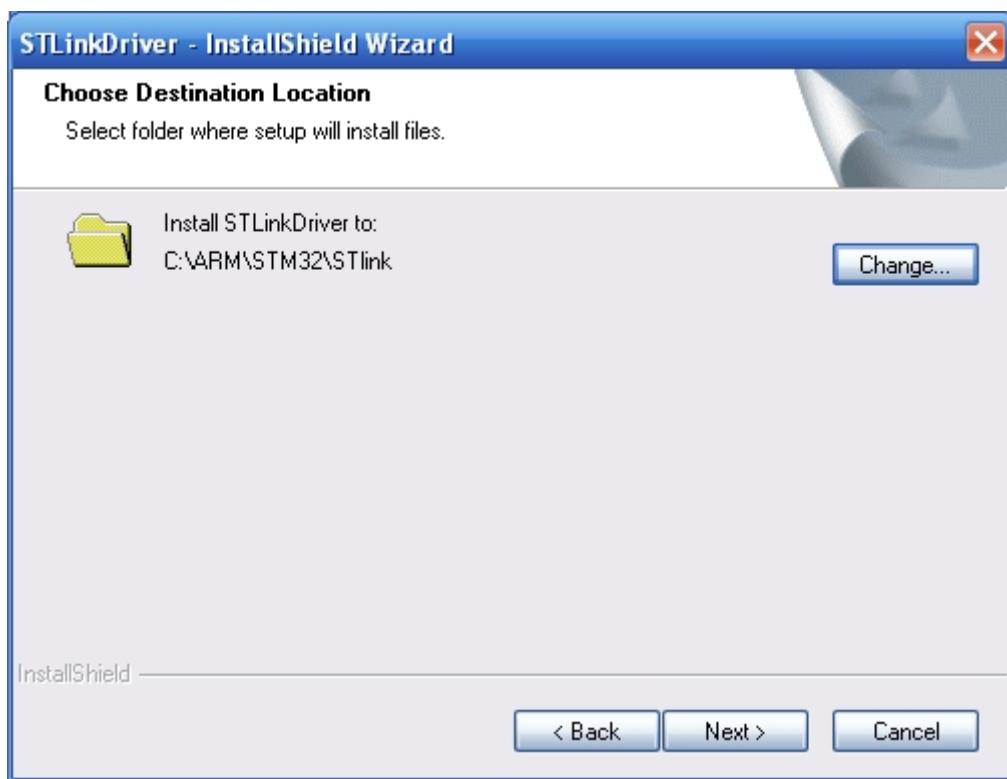
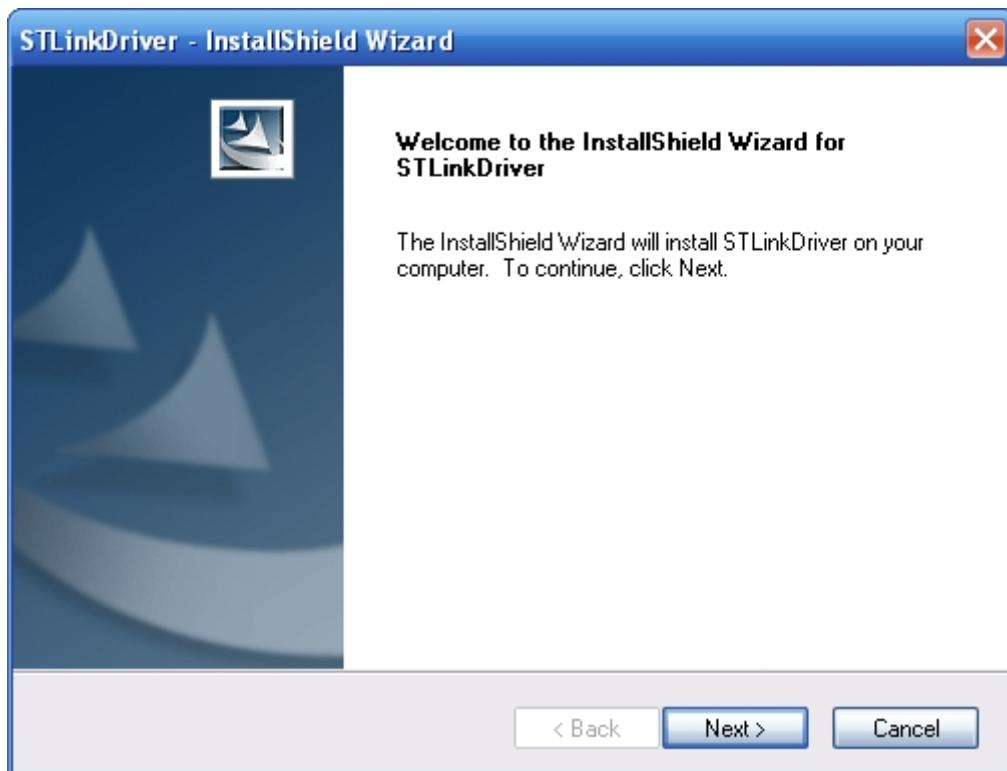
Для работы с чипами STM32 используя программаторы STlink, встроенные на демоплаты Discovery необходимо установить пакет STSW-LINK004 (STM32 ST-link Utility и драйвер), скачав его с <http://www.st.com/web/en/catalog/tools/PF258168>

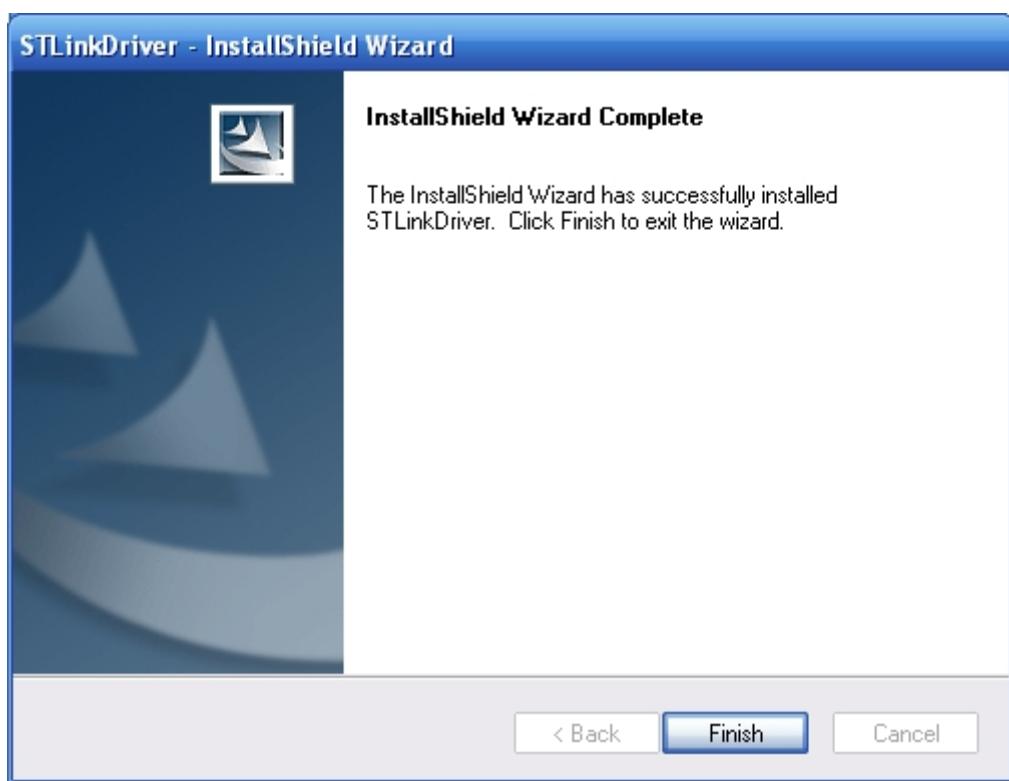
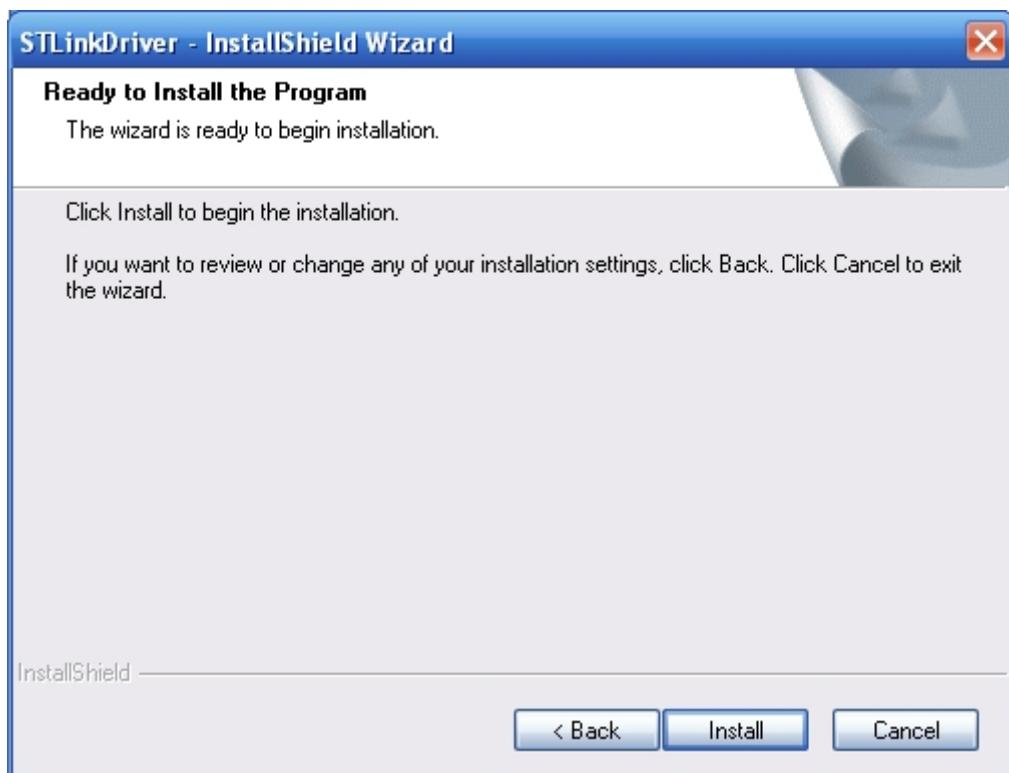


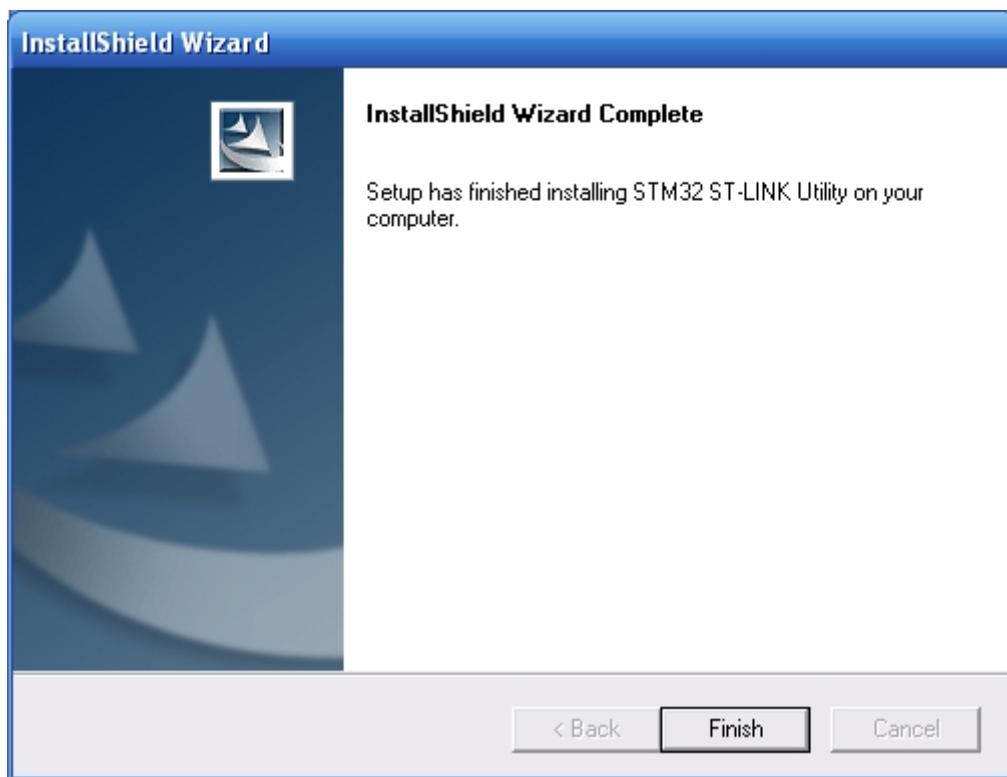




Пакет драйвера входит в пакет STSW-LINK004, и запускается автоматически







Глава 6

Установка Keil MDK-ARM

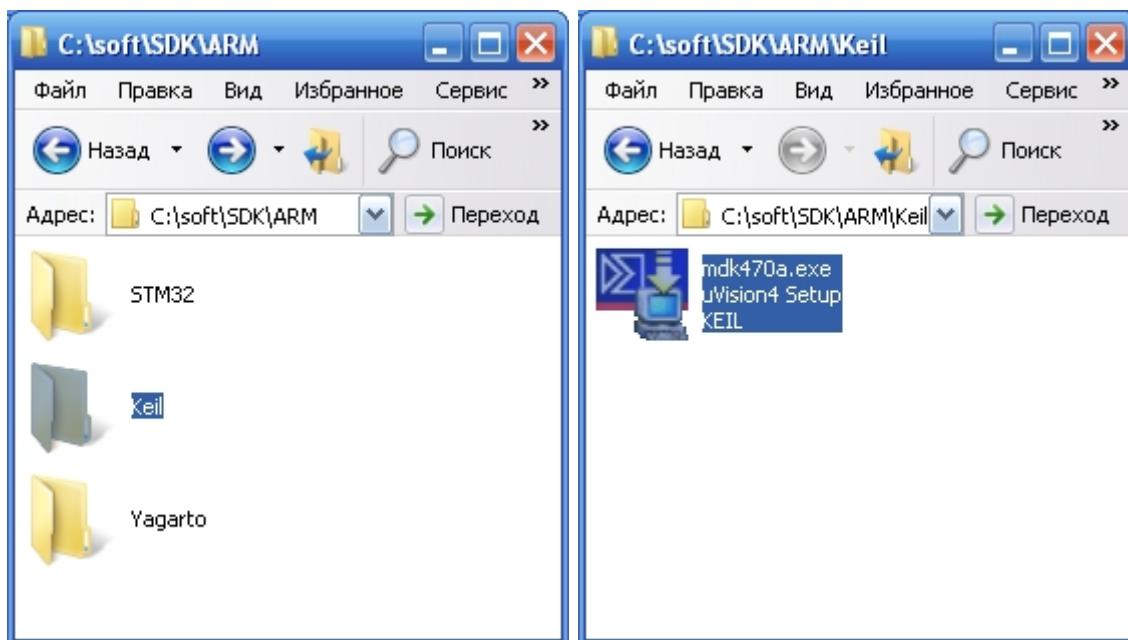


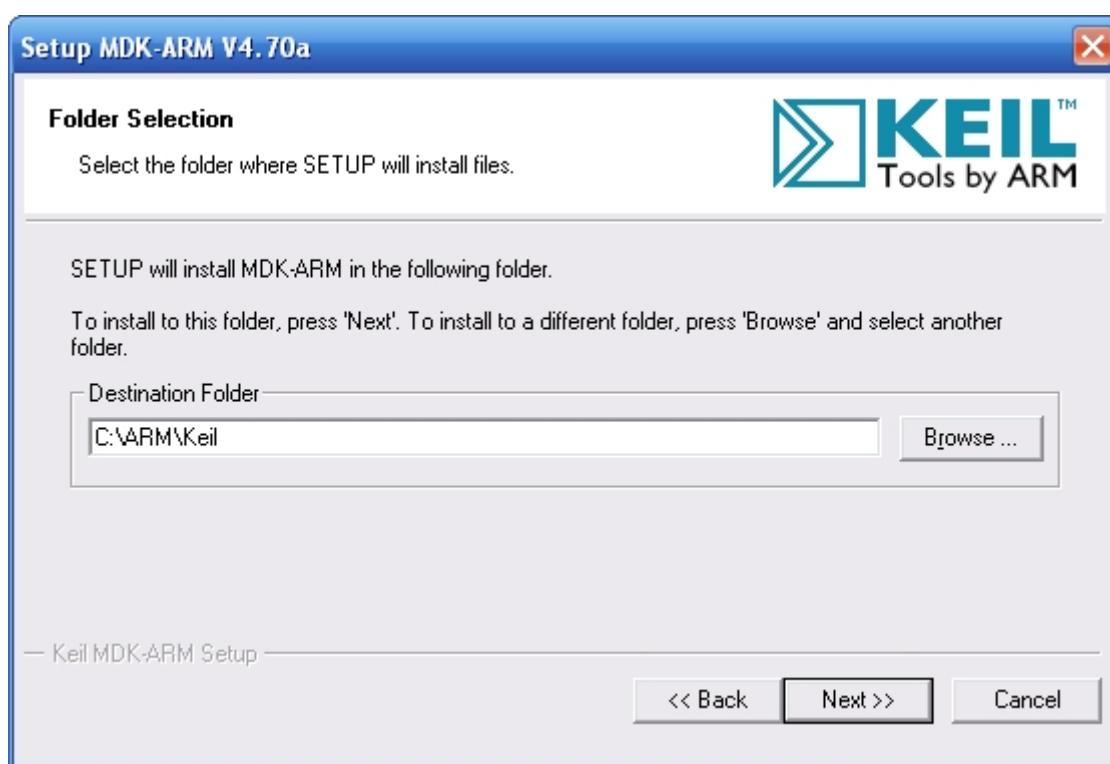
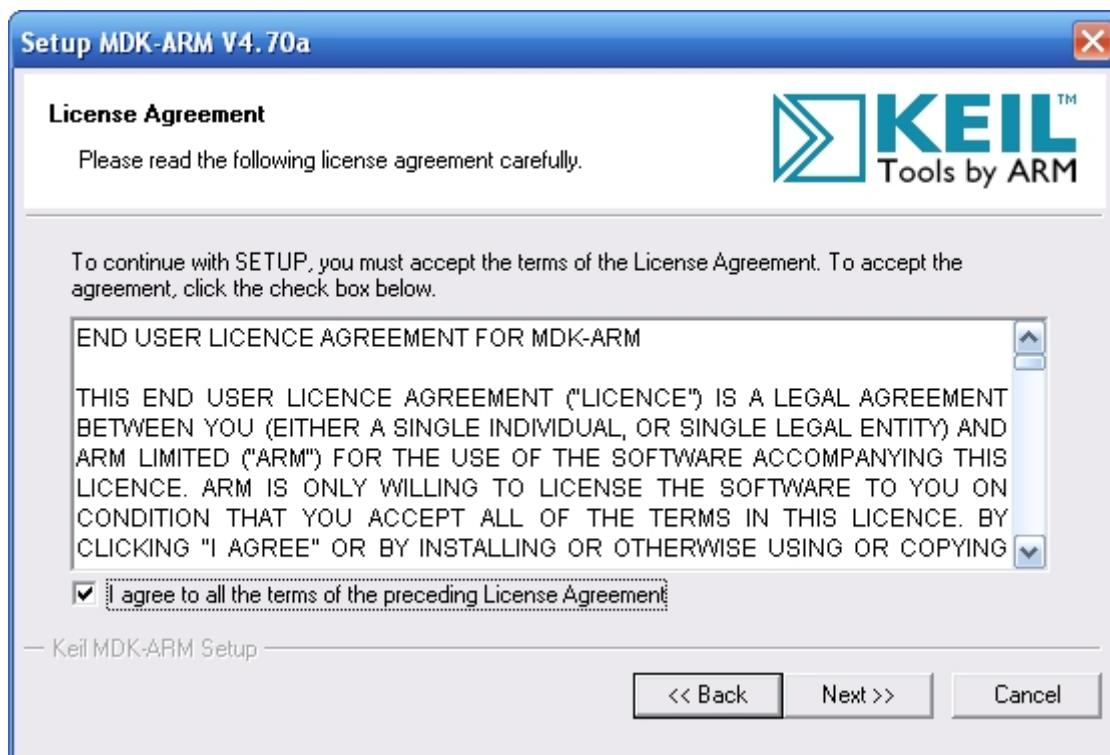
Для начала освоения программирования для ARM рекомендуем использовать бесплатный пакет от Keil: <http://www.keil.com/arm/mdk.asp> — ограничения бесплатной версии в 32К кода вполне достаточно для начального освоения программирования под процессоры семейства Cortex-Mx, а затем уже можно переползать на открытое ПО: GNU toolchain 10.1, Eclipse 11.1 и Linux XII.

Процесс установки и первоначальной настройки описан в 6. В этом разделе будут подробно описаны возможности и настройки среды.

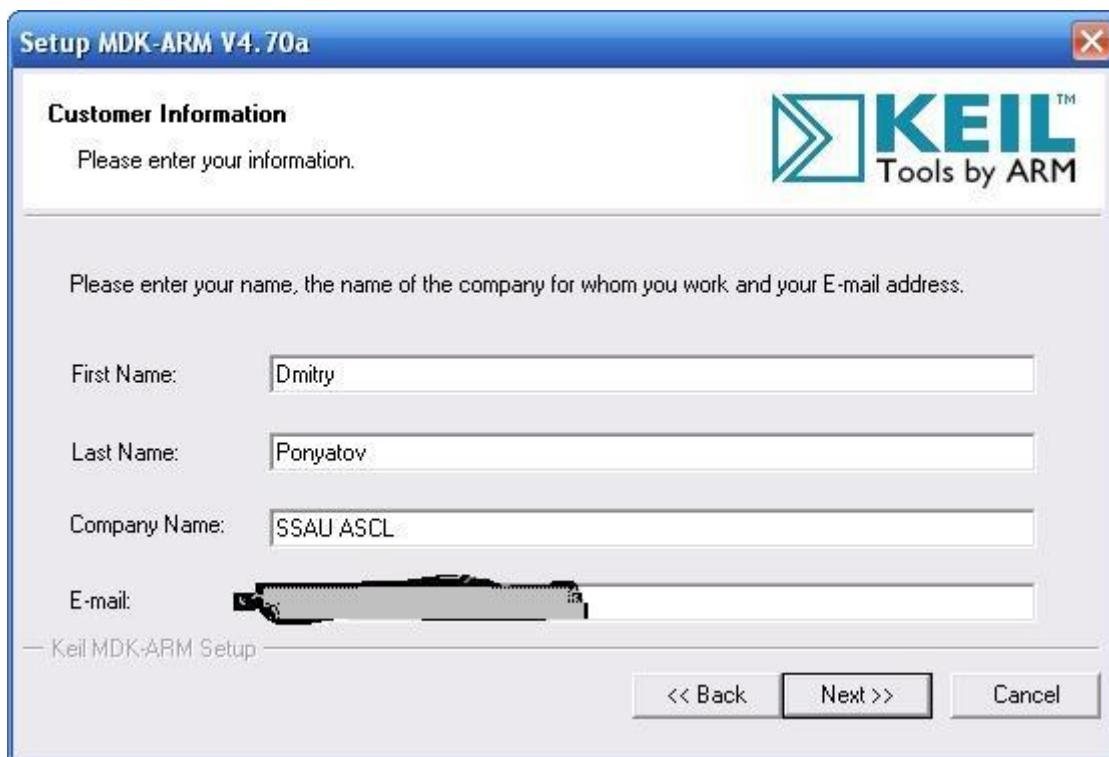
В этом разделе будет рассмотрен только процесс установки и начальной настройки, подробно о пакете Keil MDK-ARM см.

Качаем пакет с официального сайта, заполнив анкету: <https://www.keil.com/demo/eval/arm.htm>.

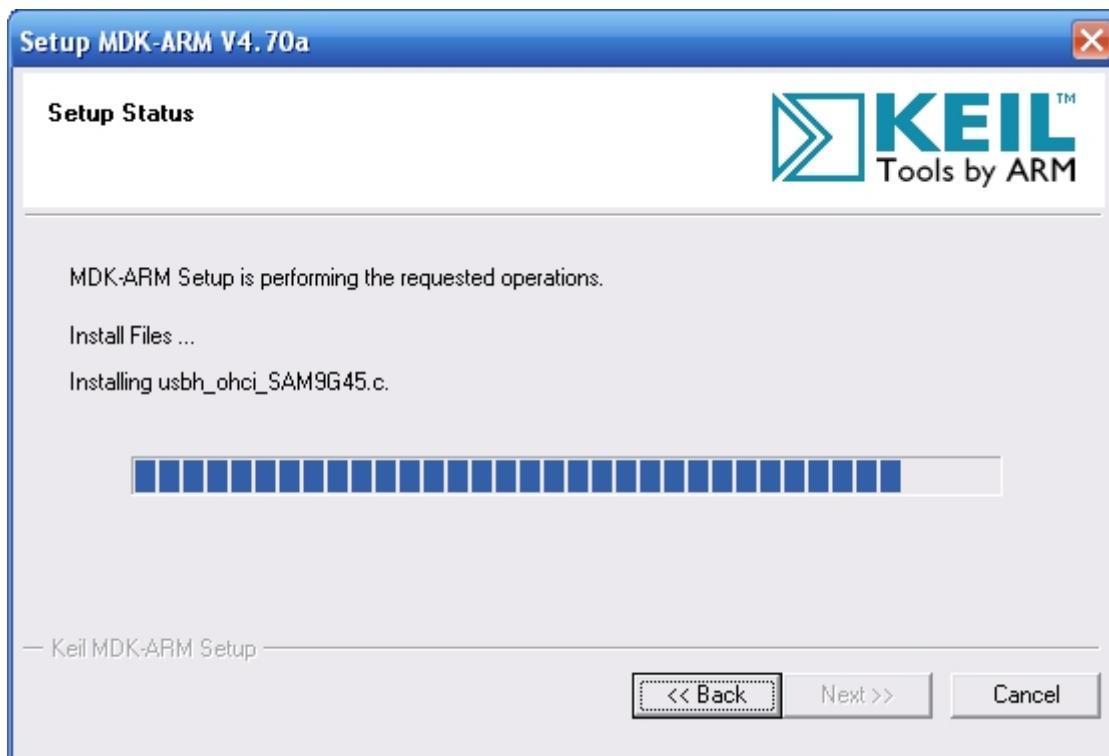


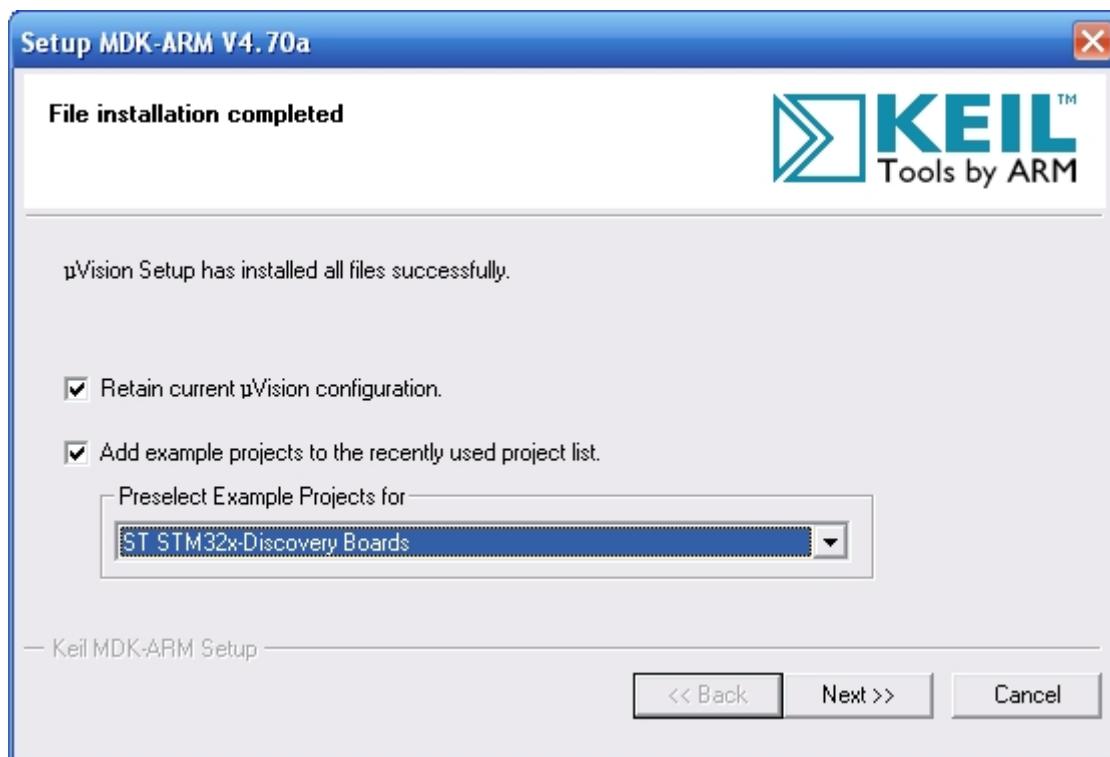


Путь установки пакета

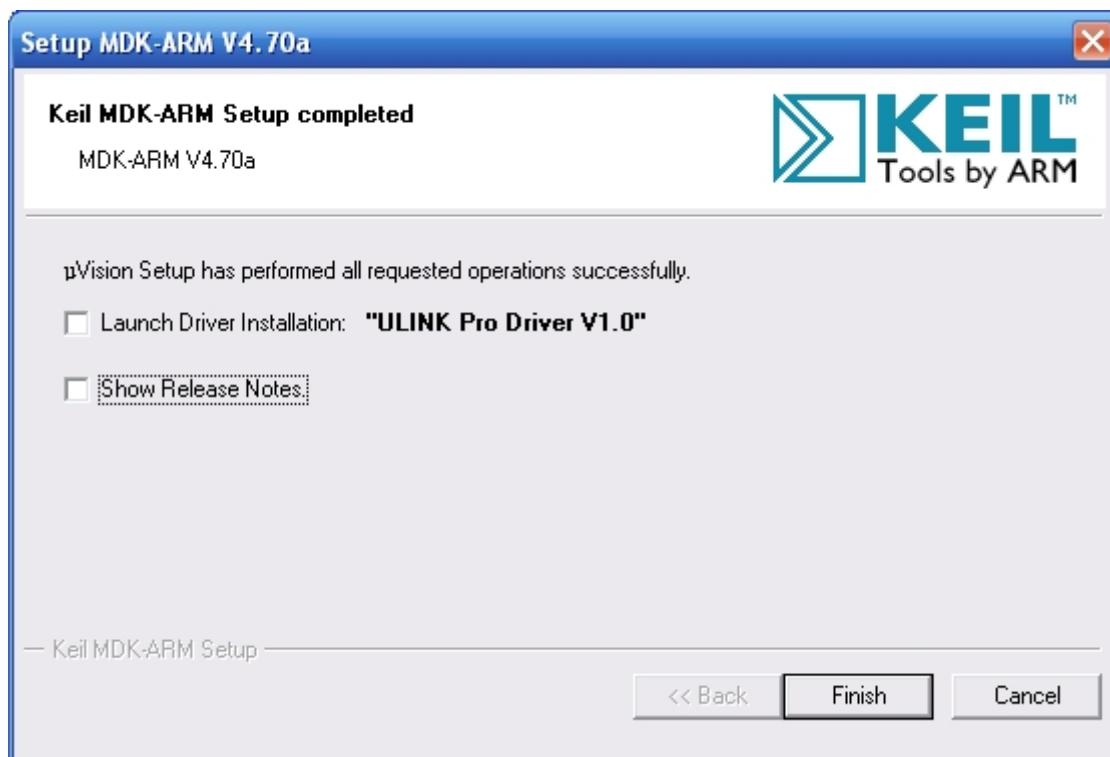


Личные данные: имя, название компании или hobbit, адрес электронной почты.





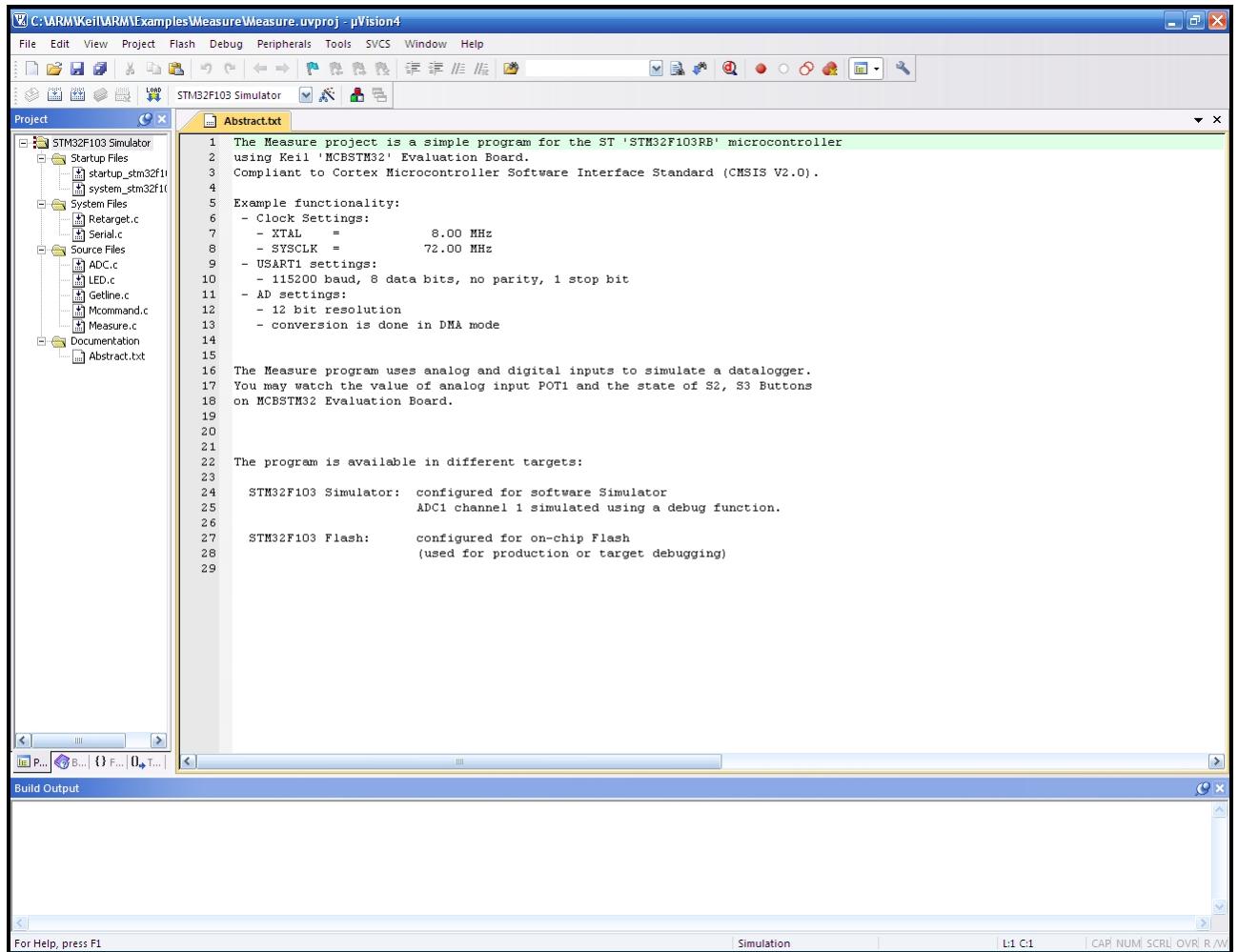
Укажите какие примеры кода добавить в список recently used project list: для работы с другими типами микропроцессоров выберете соответствующий раздел, или оставьте Simulation Hardware по умолчанию.



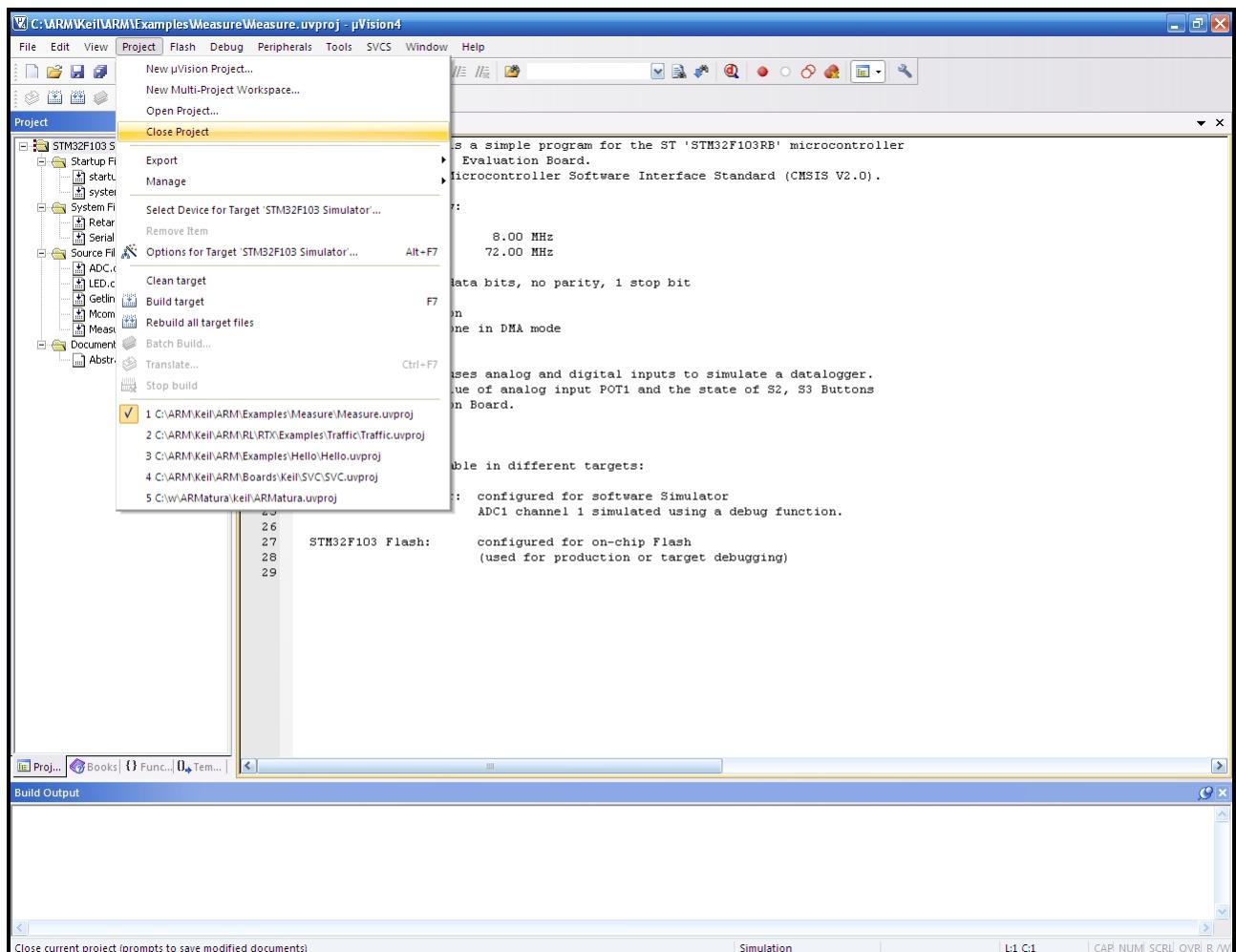
Снять установку драйвера программатора ULINK (если у вас его нет) и вывод текстового файла с последними изменениями Keil.



После запуска открывается проект по умолчанию, настроенный для программного симулятора STM32F103.



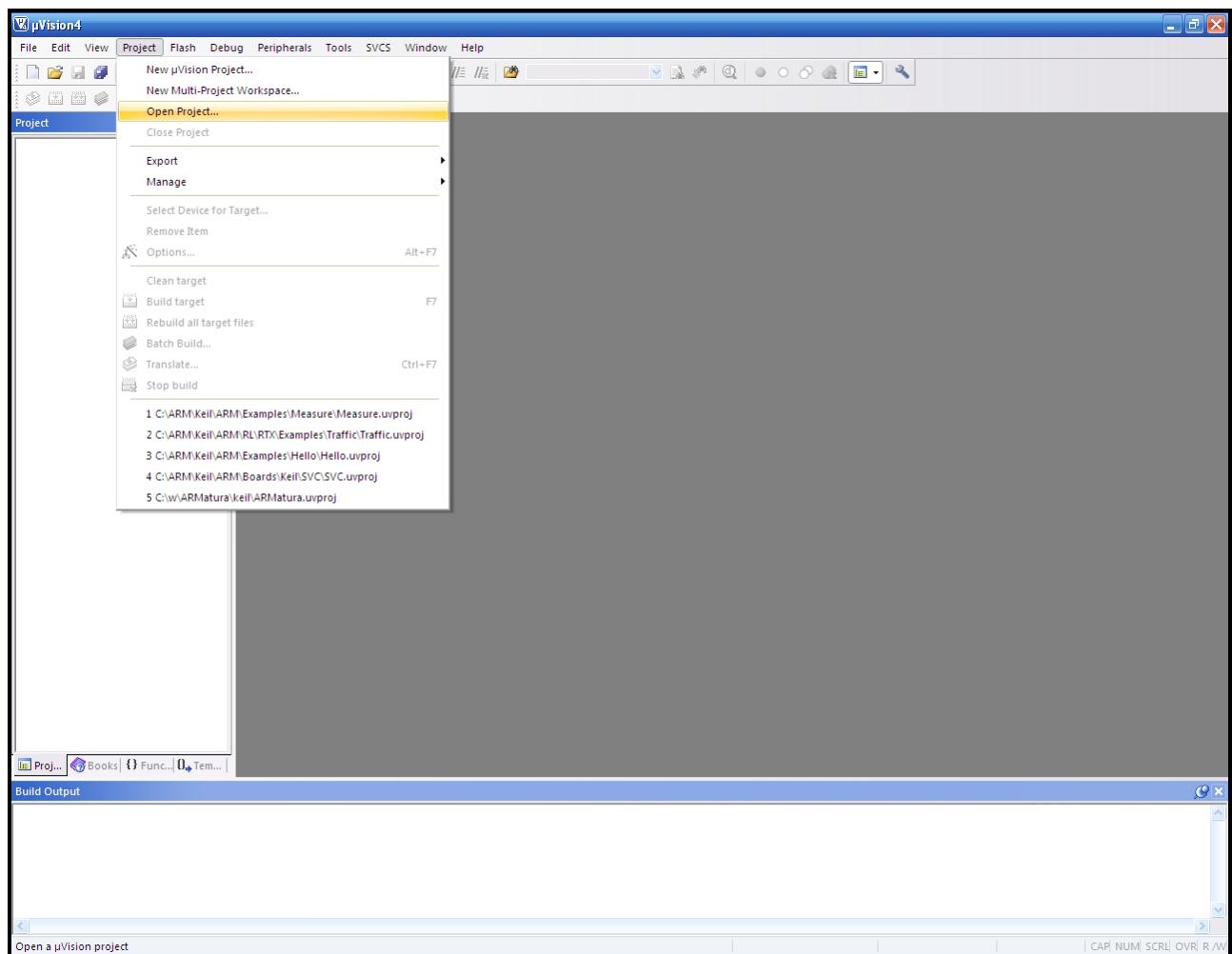
Нужно его закрыть,

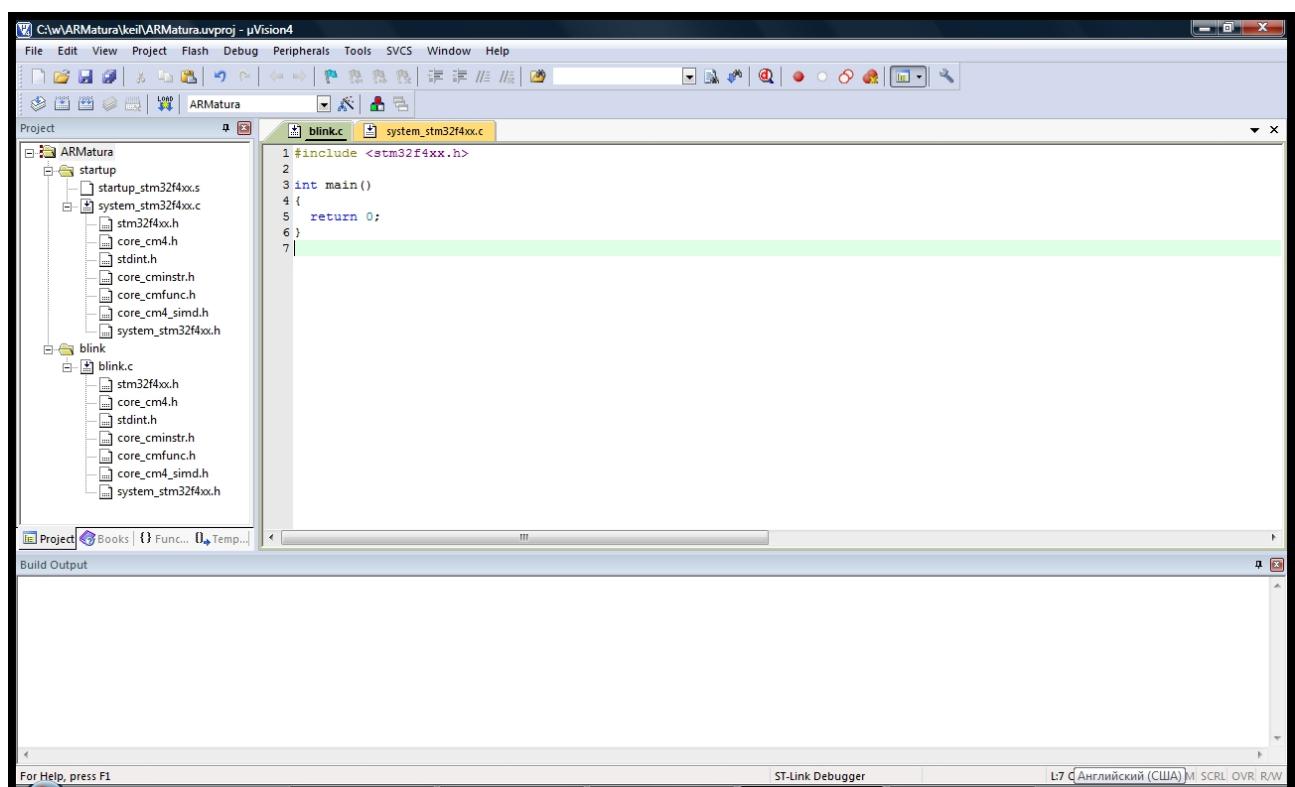
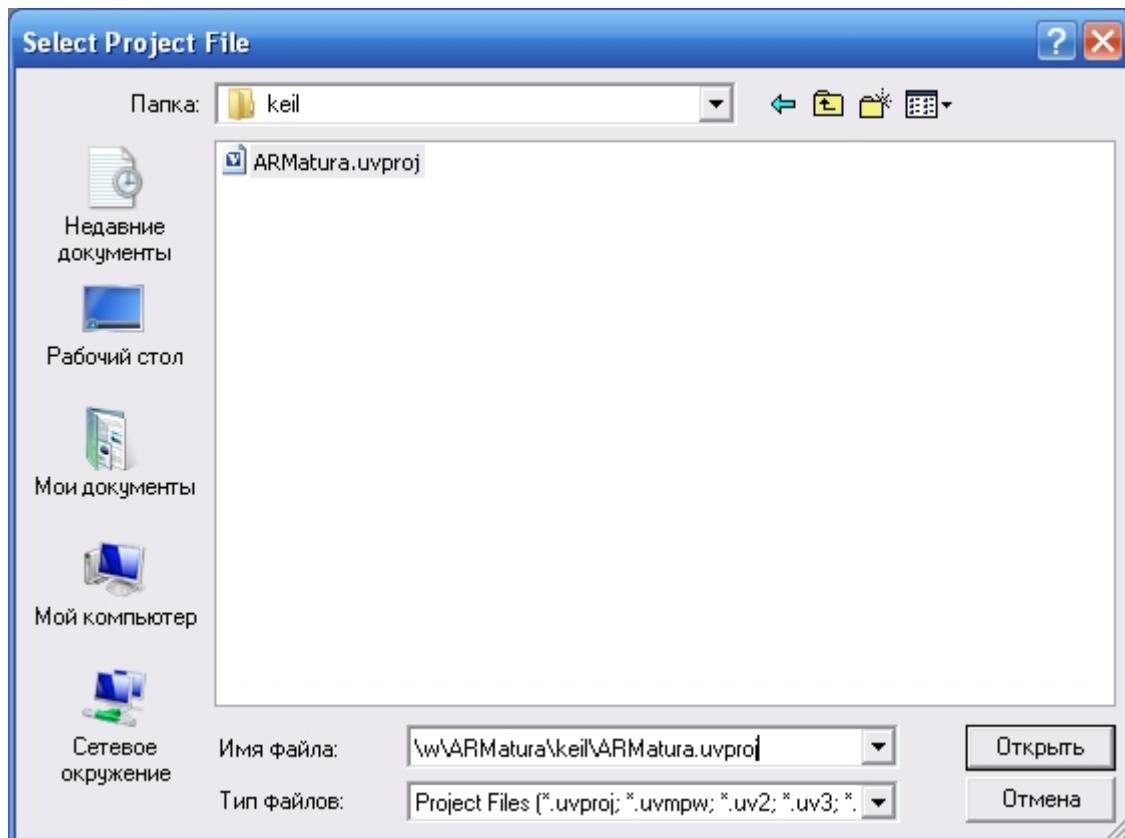


и открыть первый самый простой проект:

Глава 7

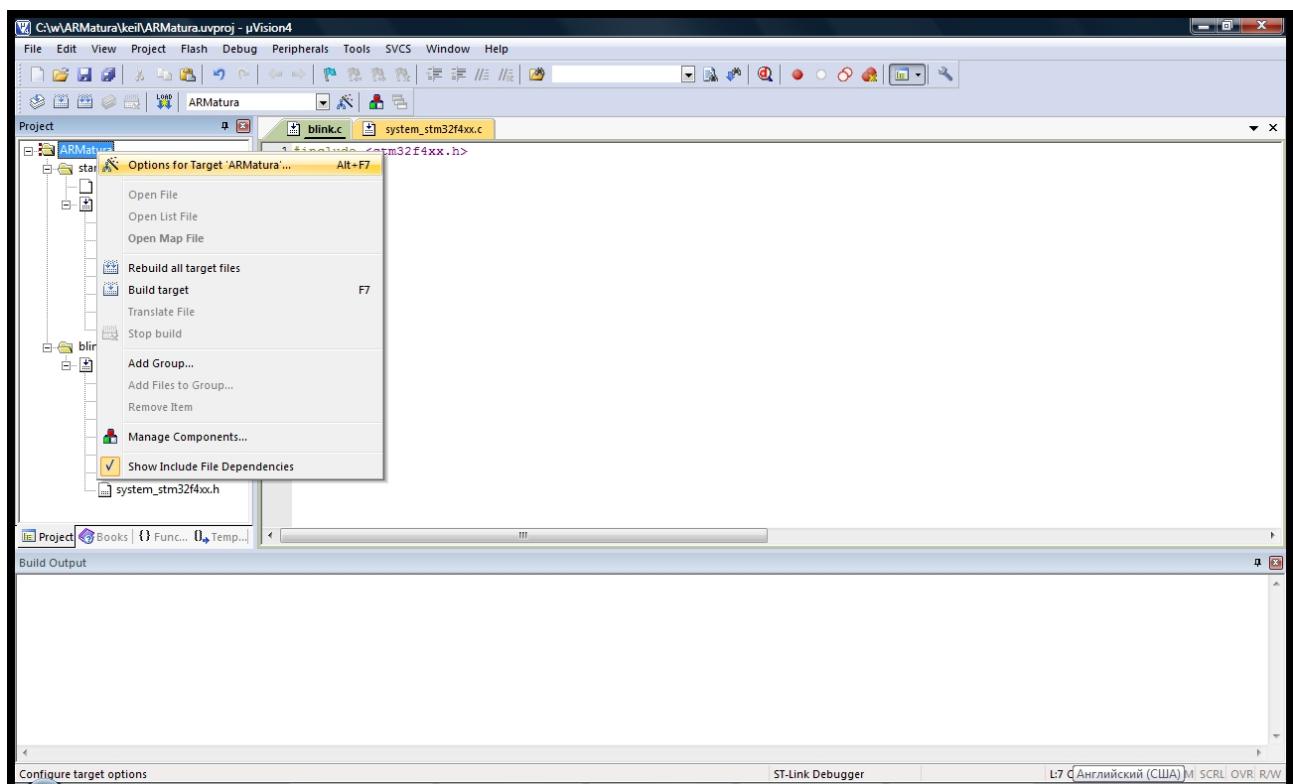
Первый проект: blink



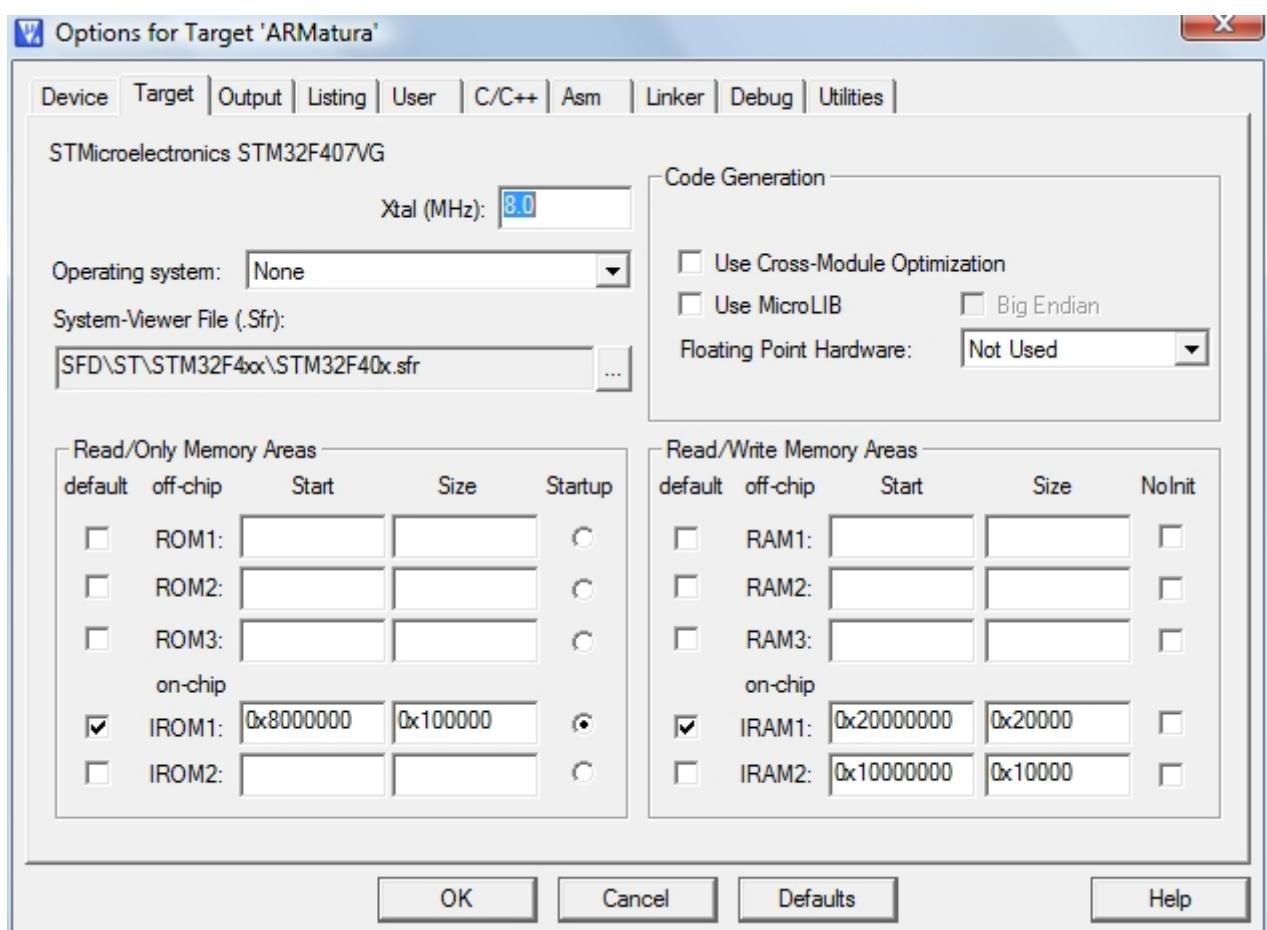


7.1 Настройки проекта в Keil

Настройки проекта вызываются из меню **Project** **> Options for Target 'ARMatura' ...**, комбинацией клавиш **Alt + F7**, или выбором аналогичной опции из контекстного меню, вызываемого щелчком правой кнопкой мыши на корне дерева проекта **ARMatura** в левом окне **Project**.



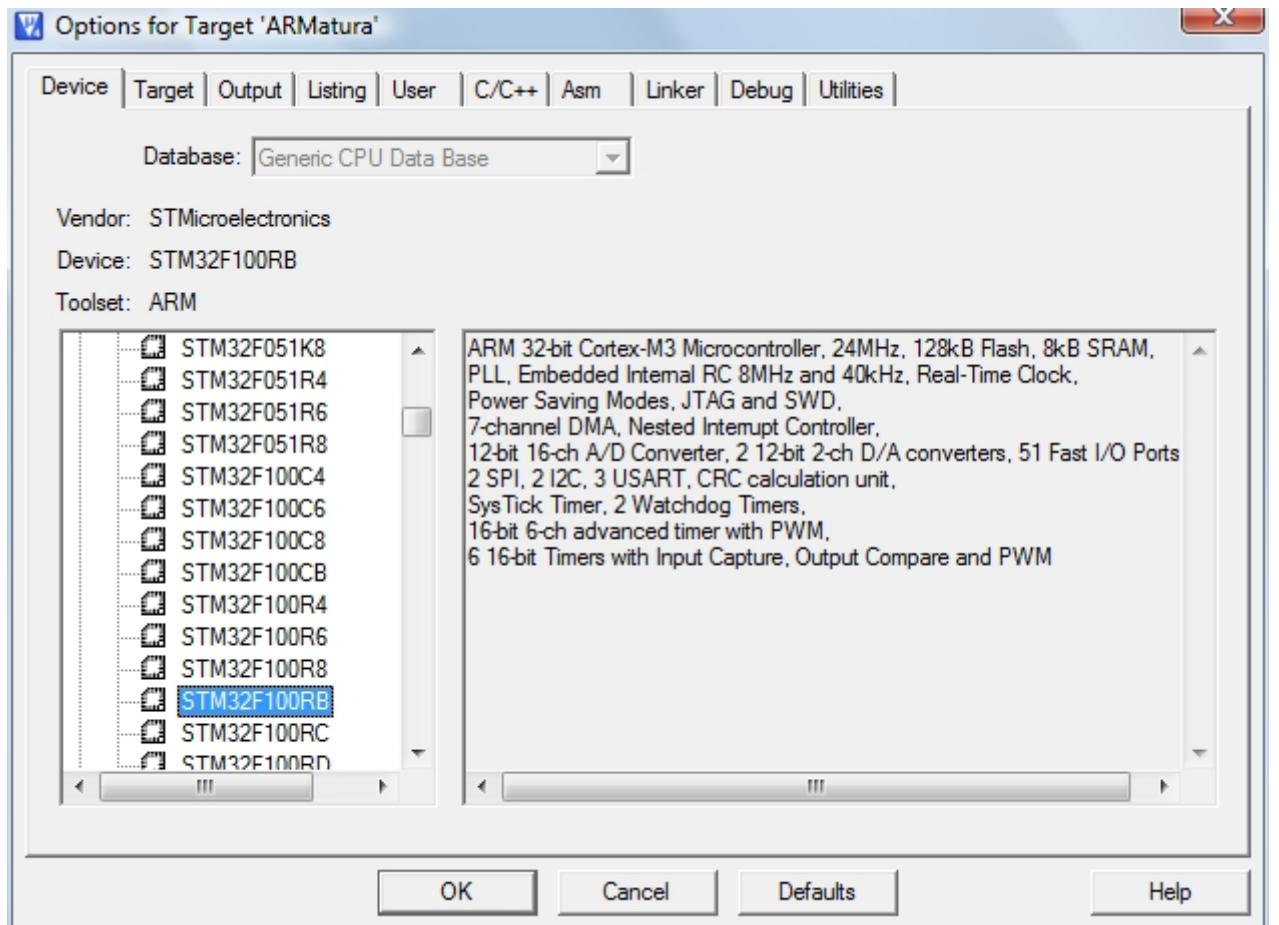
По умолчанию открывается вкладка **Target**:



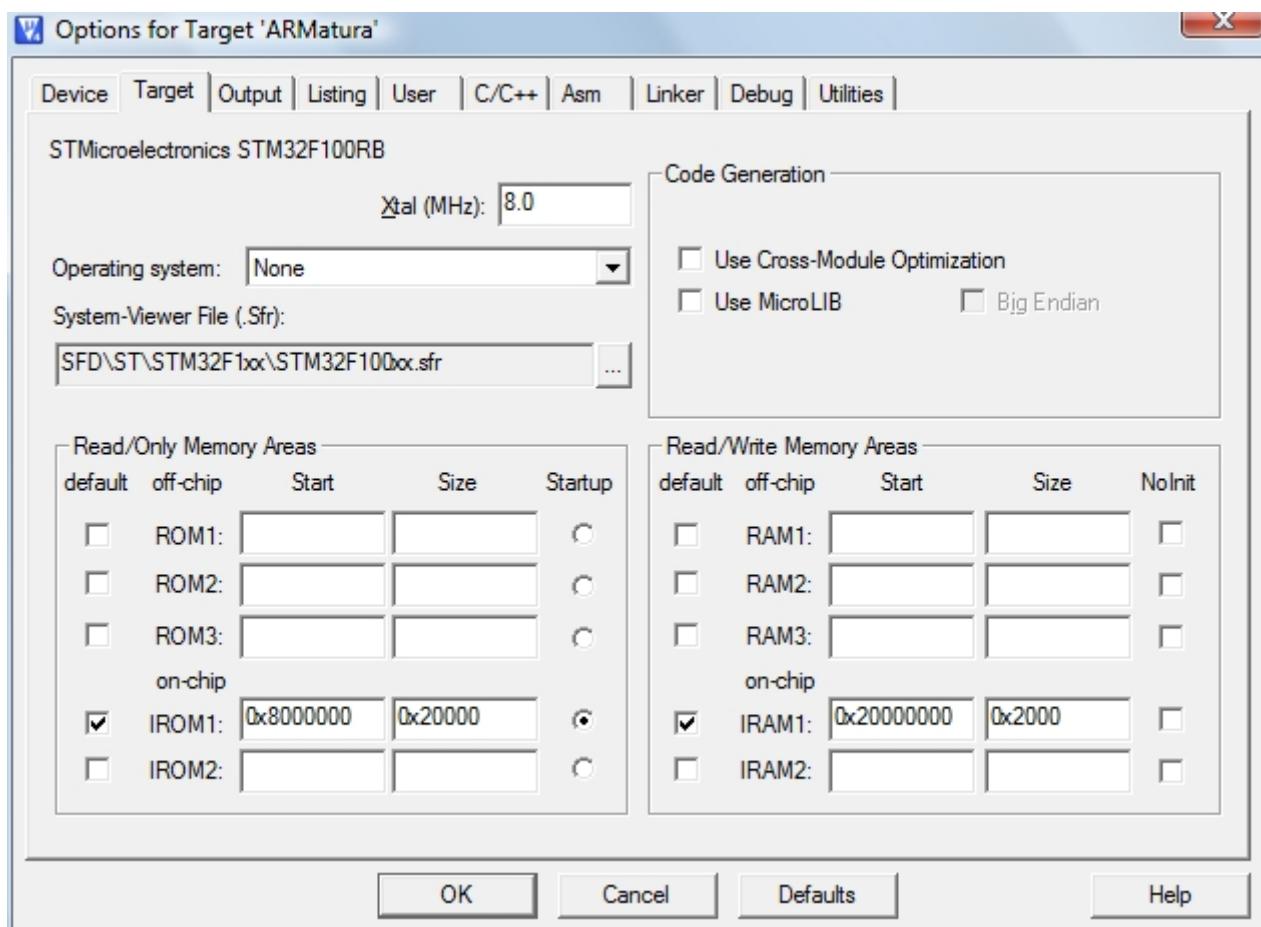
Xtal (MHz)	8.0	текущий процессор частота внешнего кварца на платах Discovery обычно стоит 8
Operating system:	None	или OCPB Keil RTX
	Use MicroLIB	использовать libc от Keil
Floating Point Hardware:	Not Used	для Cortex-M4 доступен аппаратный FPU

На этой вкладке также прописывается карта встроенной и внешней памяти Flash/SRAM.

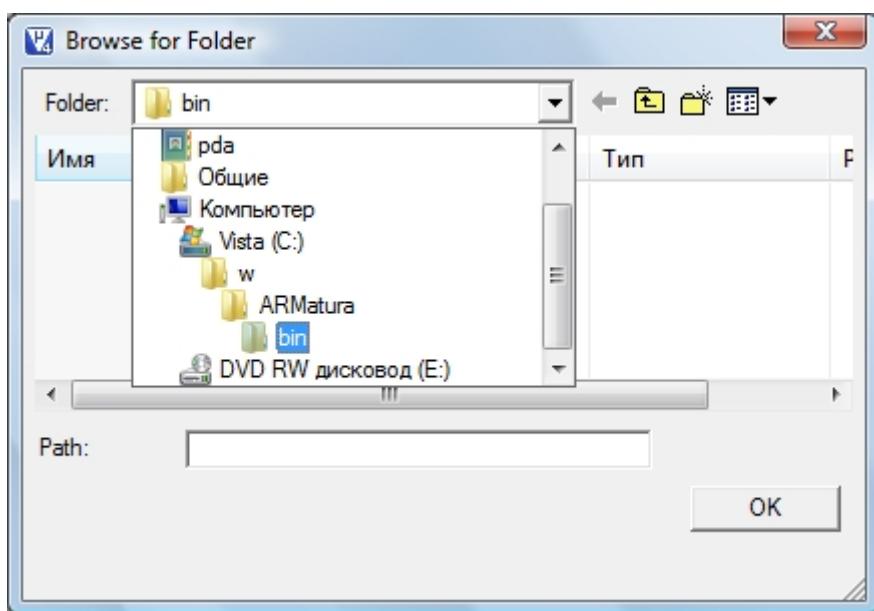
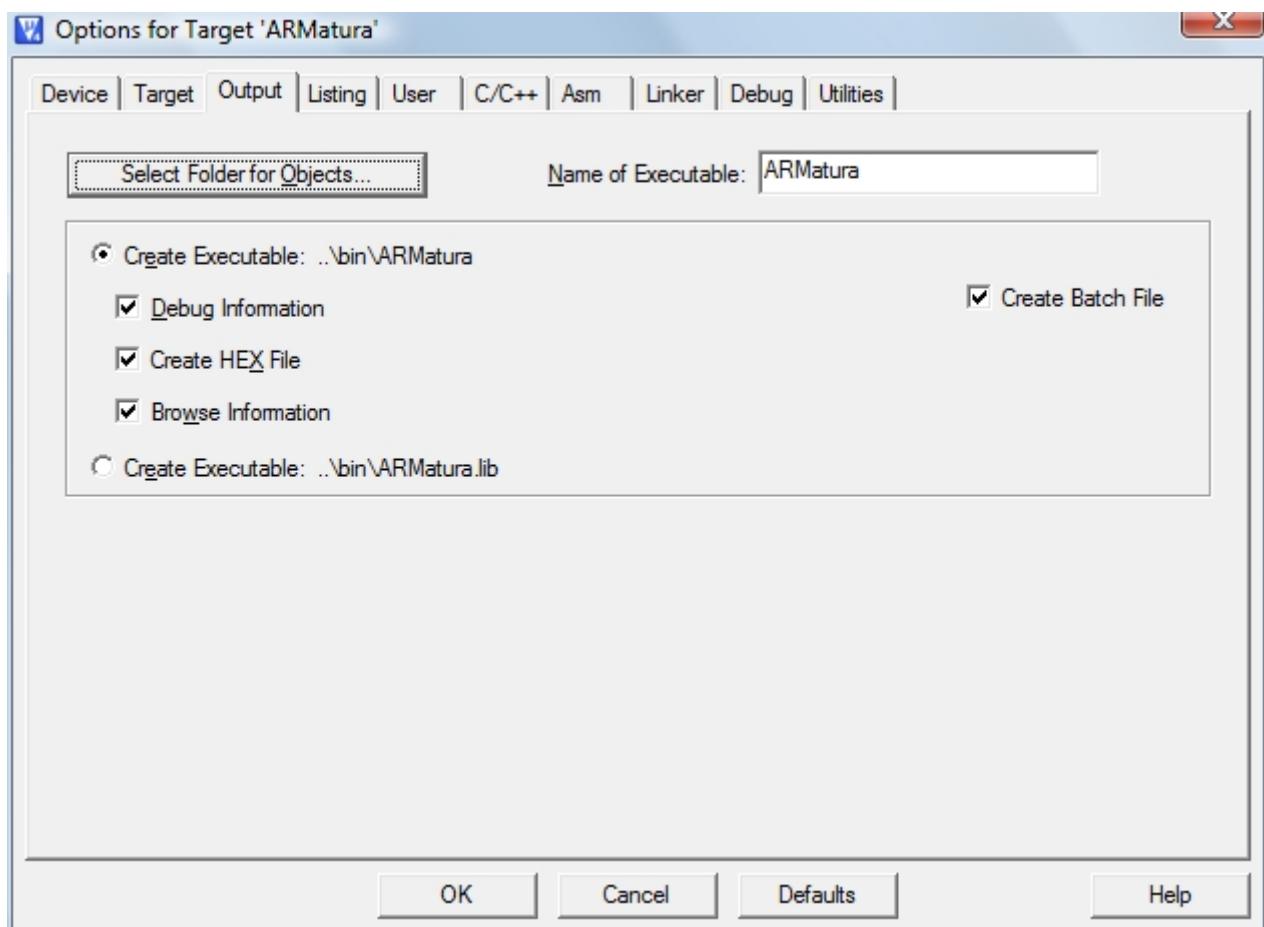
При необходимости собрать проект под другой процессор открываем вкладку **Device**, переконфигурируем проект под другую плату – STM32VLDISCOVERY 1:



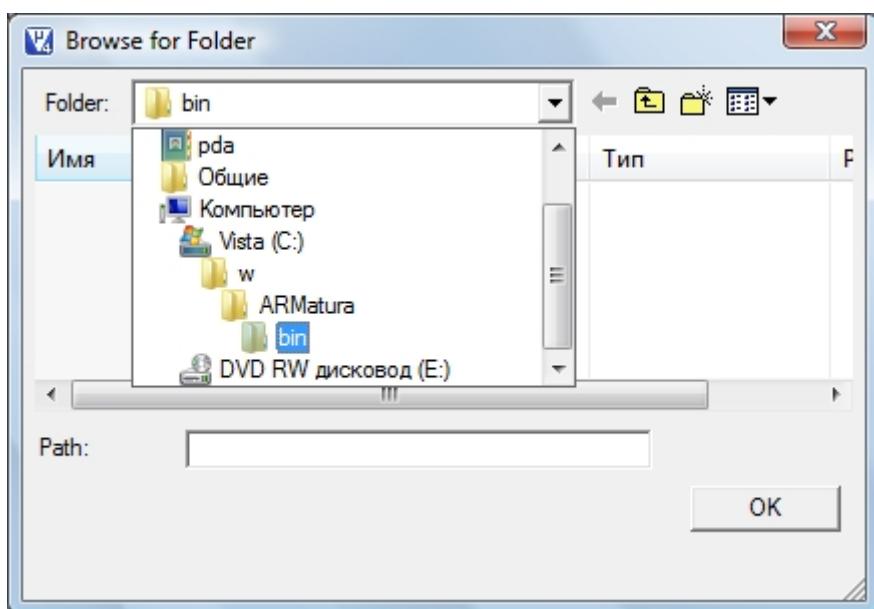
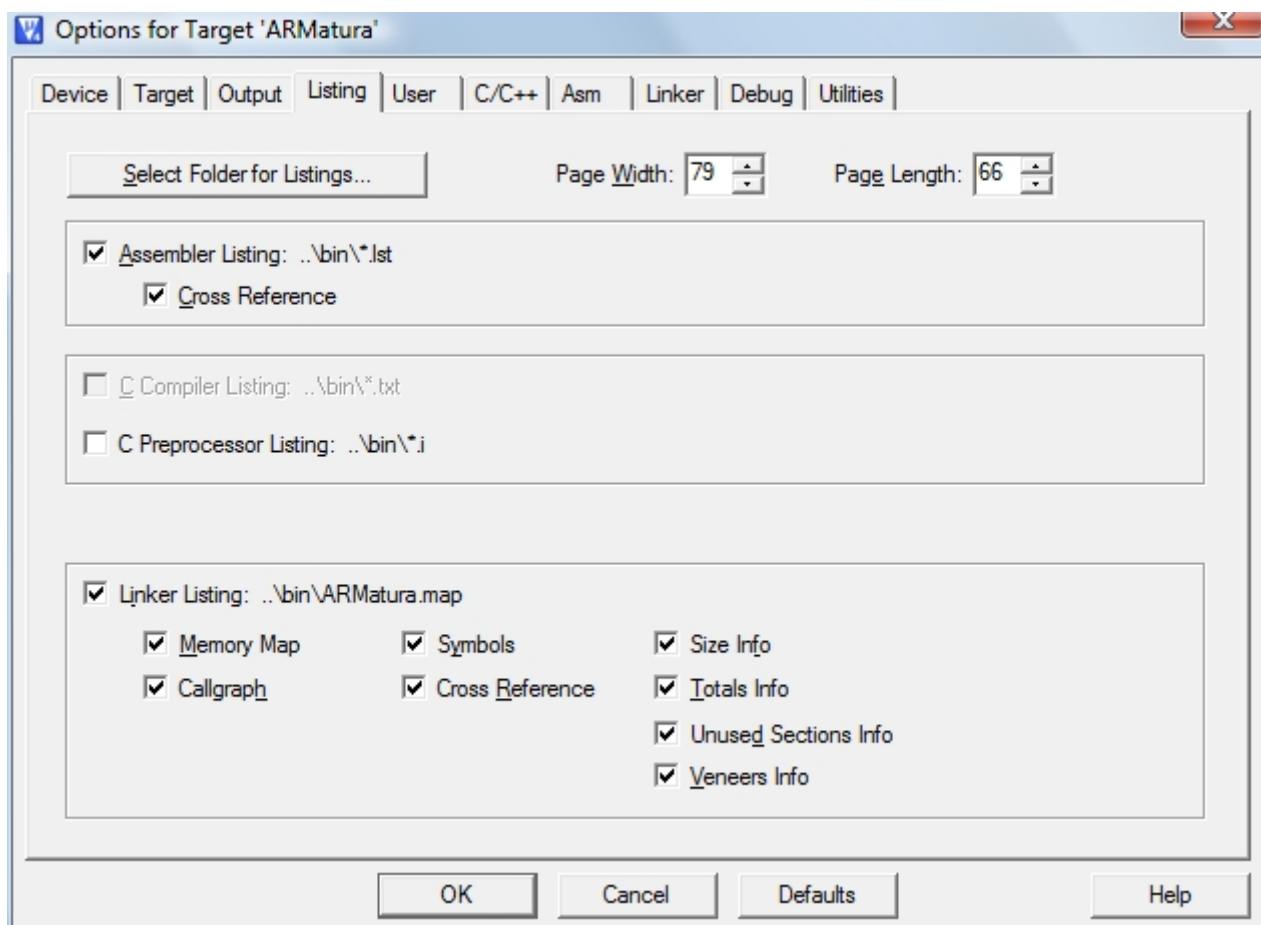
Обратите внимание что на вкладке **Target** изменился чип и настройки памяти:



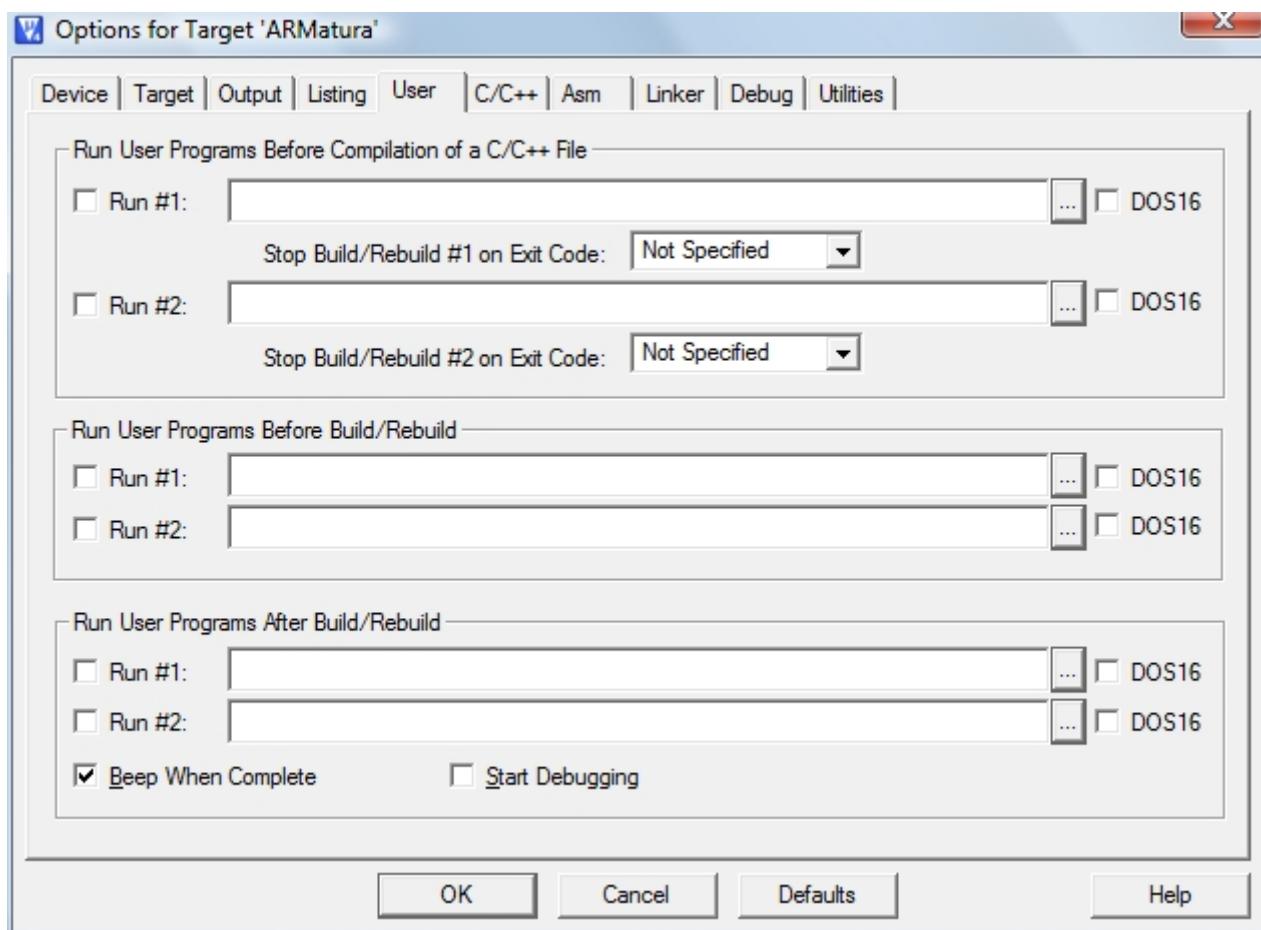
Output Настройки выходных файлов: каталог для бинарных файлов прошивки = firmware, при необходимости можно использовать .hex файл прошивки, имя файла прошивки



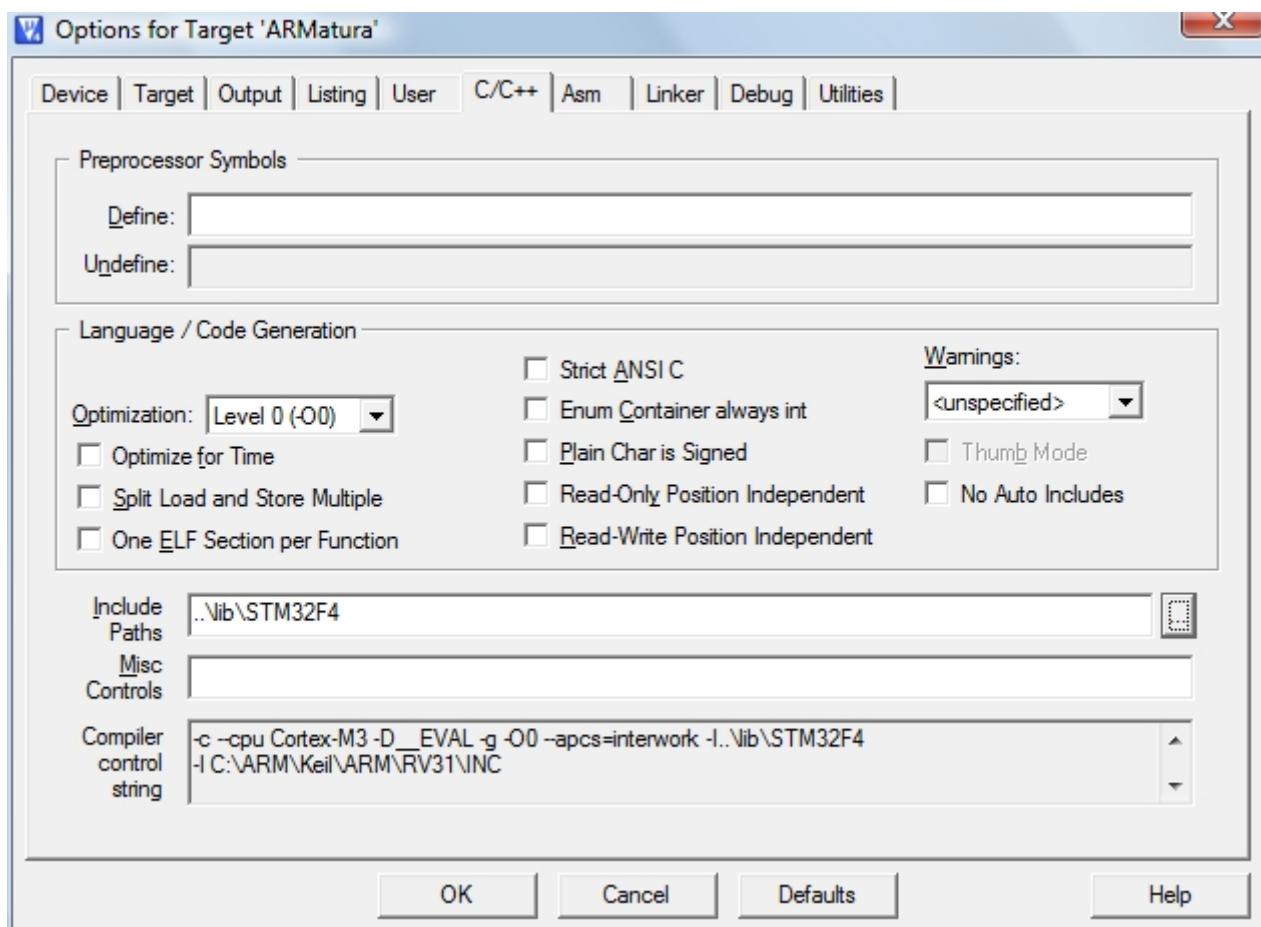
[Listing] Настройки генерации ассемблерных листингов в тот же каталог с прошивкой



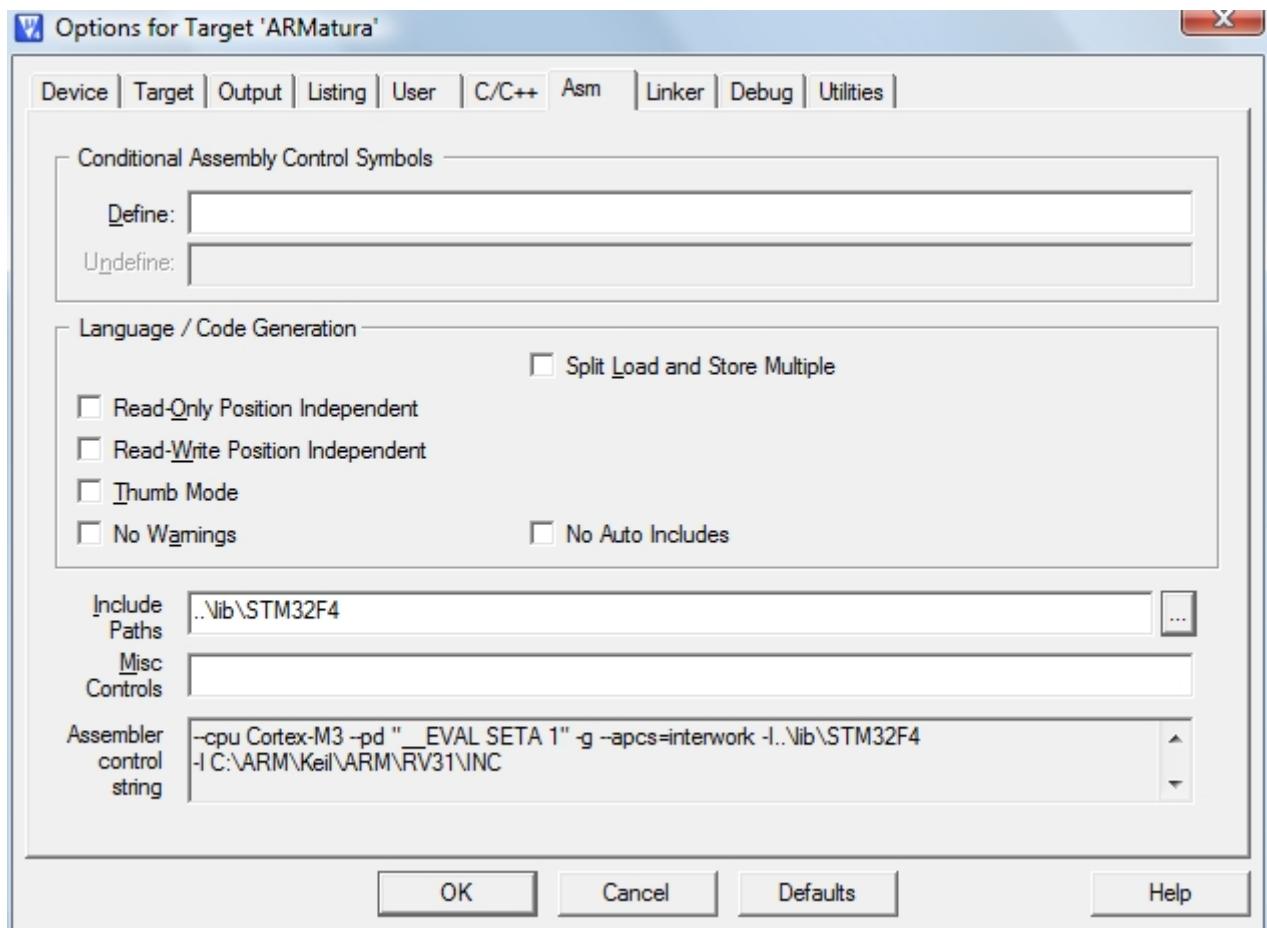
User Запуск пользовательских программ во время сборки проекта: пока не используем



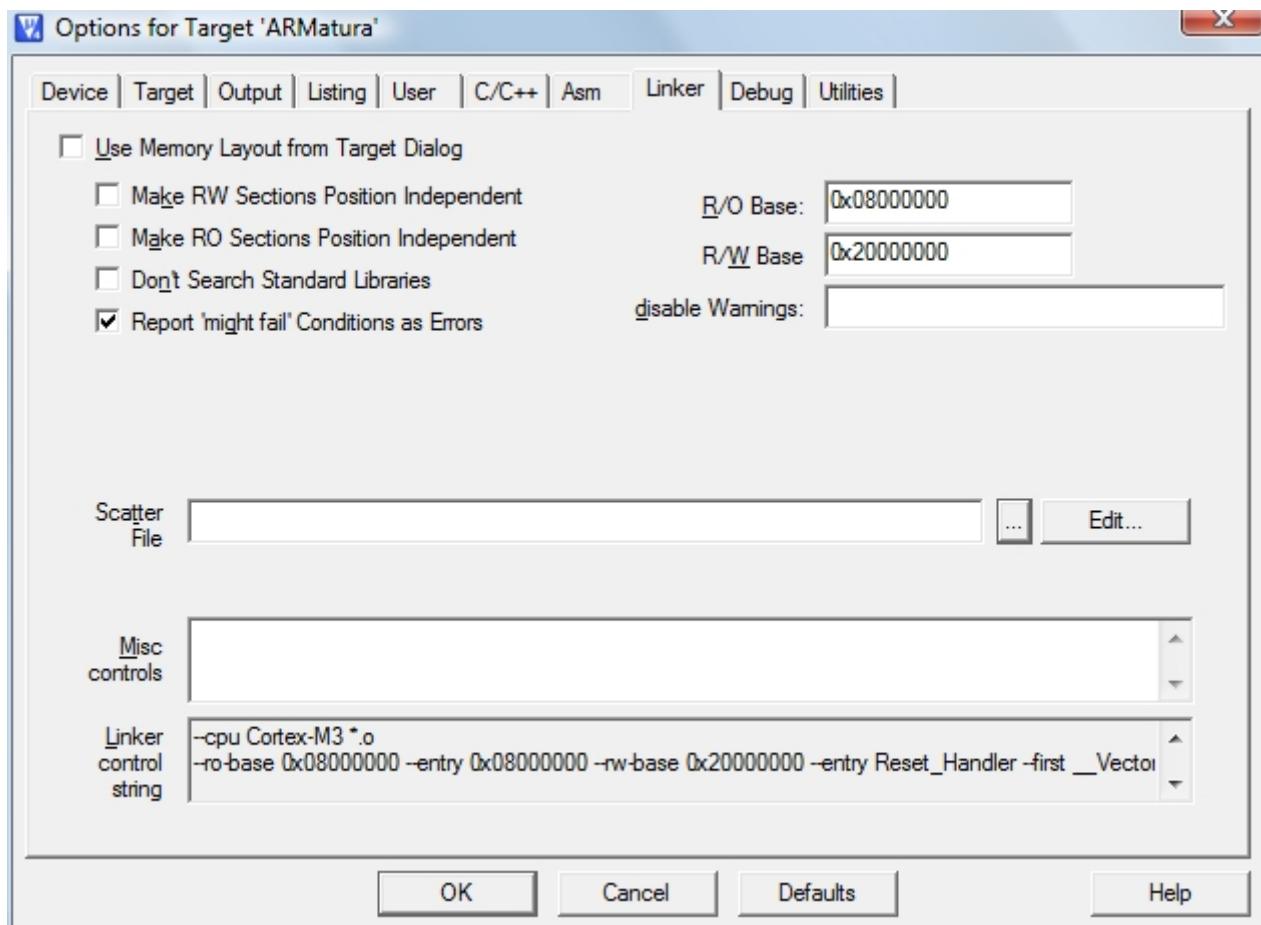
C/C++ Настройки компилятора C^{++} : опции оптимизации, каталоги библиотек и включаемых .h файлов, в нижнем поле прописывается полная командная строка вызова компилятора, которая может вам в дальнейшем понадобится, если потребуется компилировать без использования Keil IDE.



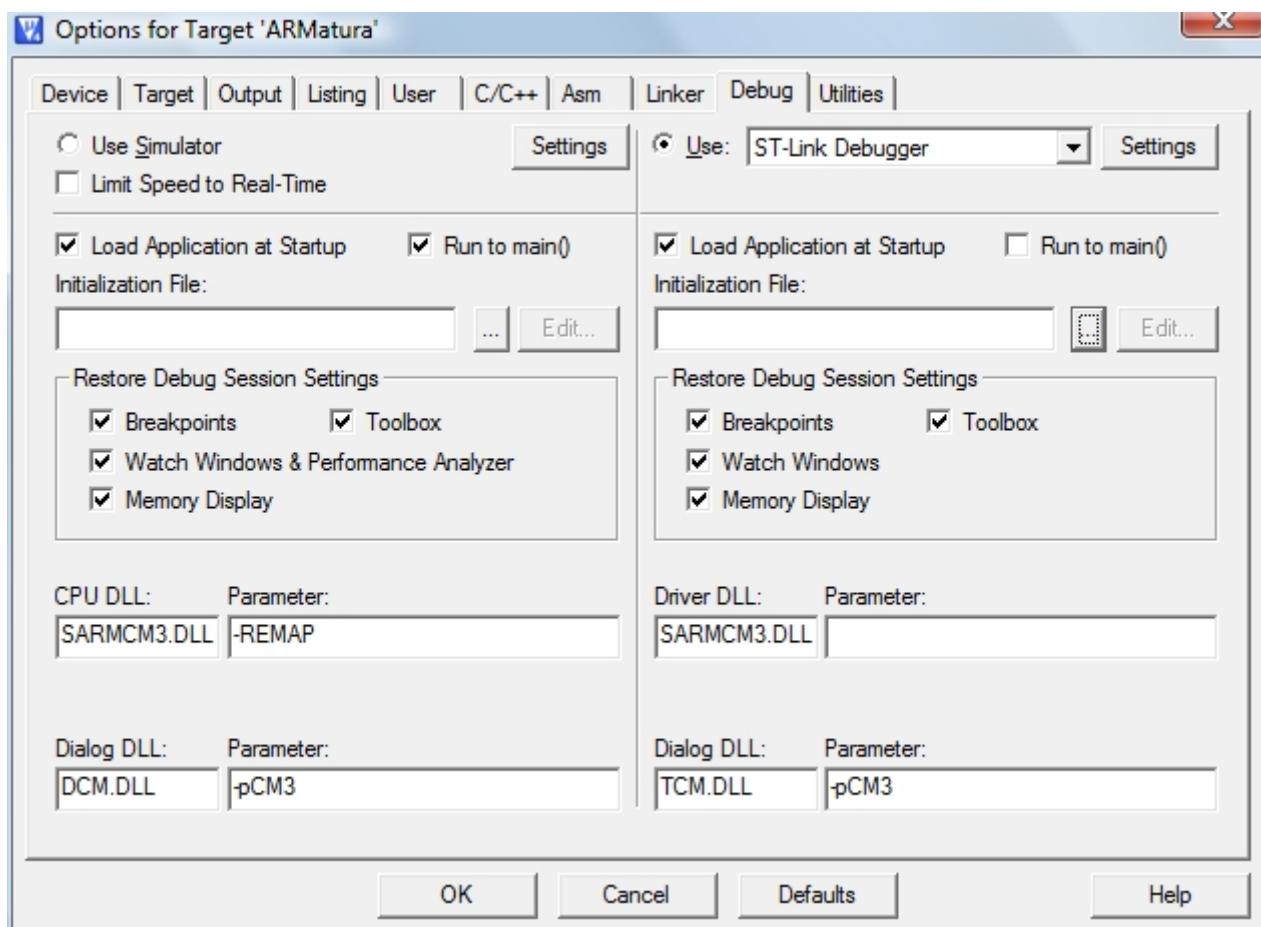
Asm Настройки ассемблера, приблизительно те же что и для C^{++}



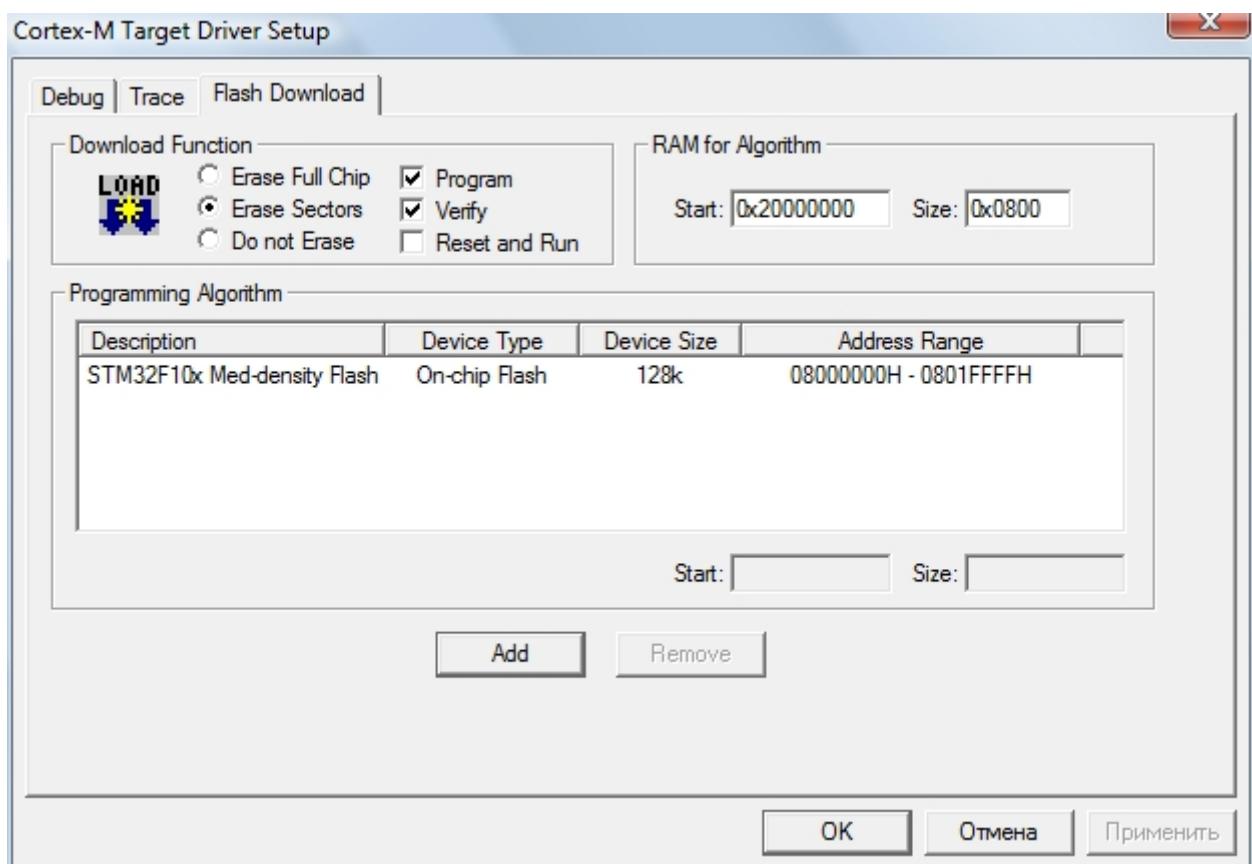
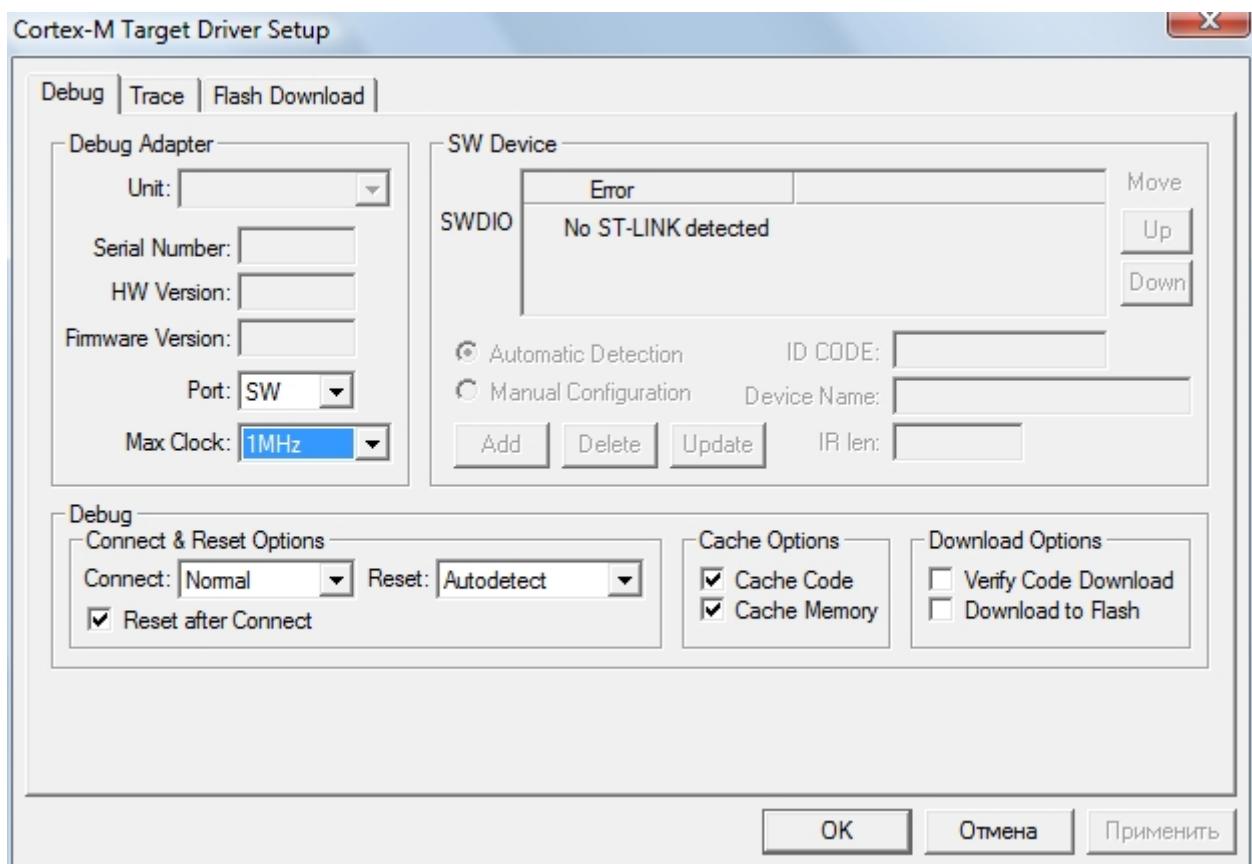
Linker Настройки линкера, который собирает объектные файлы .o, в которые компилируются каждый программный файл (модуль) по отдельности, в один готовый файл прошивки (настройки карты памяти контроллера, адреса точки входа программы и т.п.)



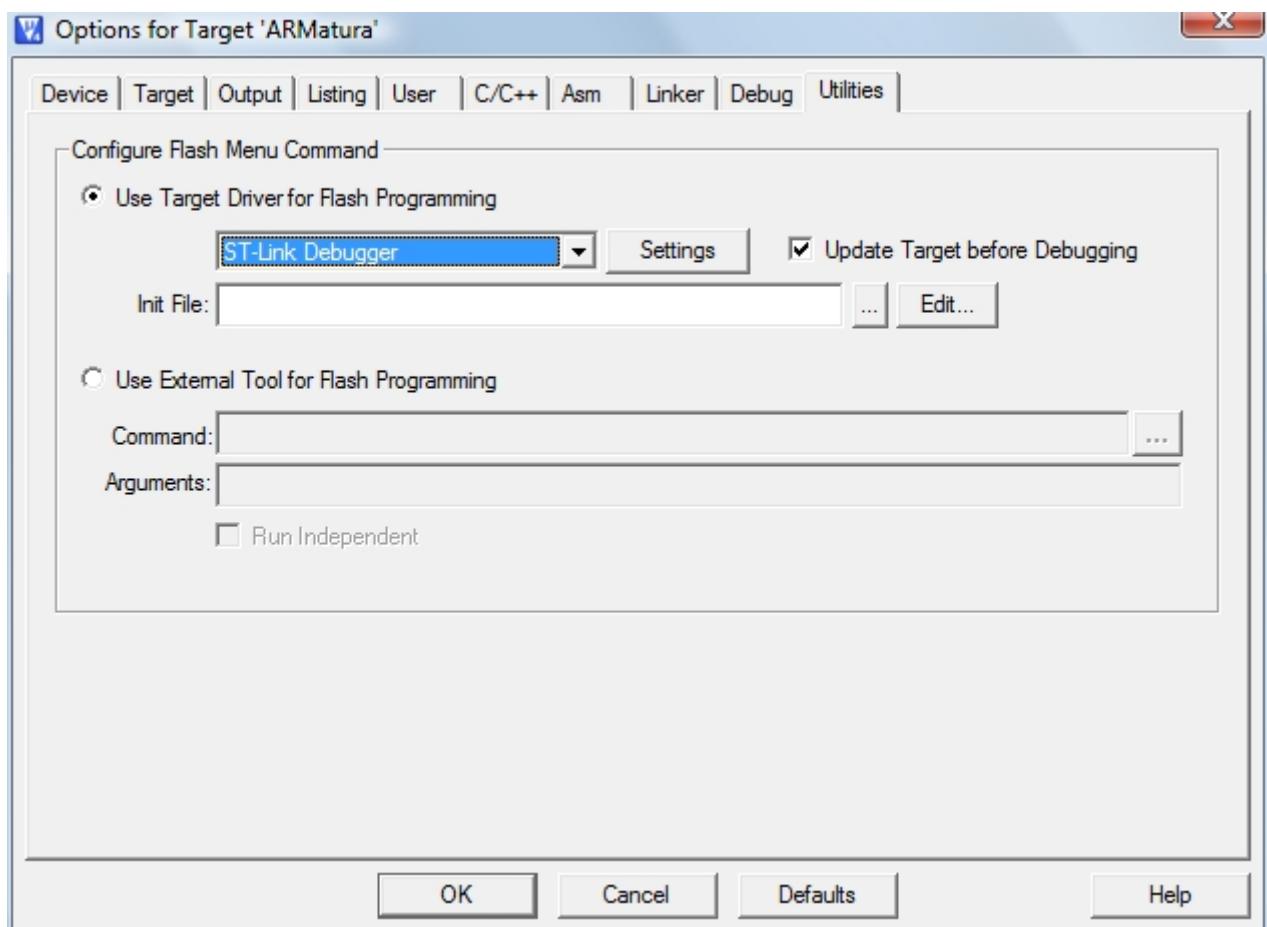
Debug Настройки отладки с помощью адаптера – STlink (внешний или встроенный в оценочную плату), JTAG.



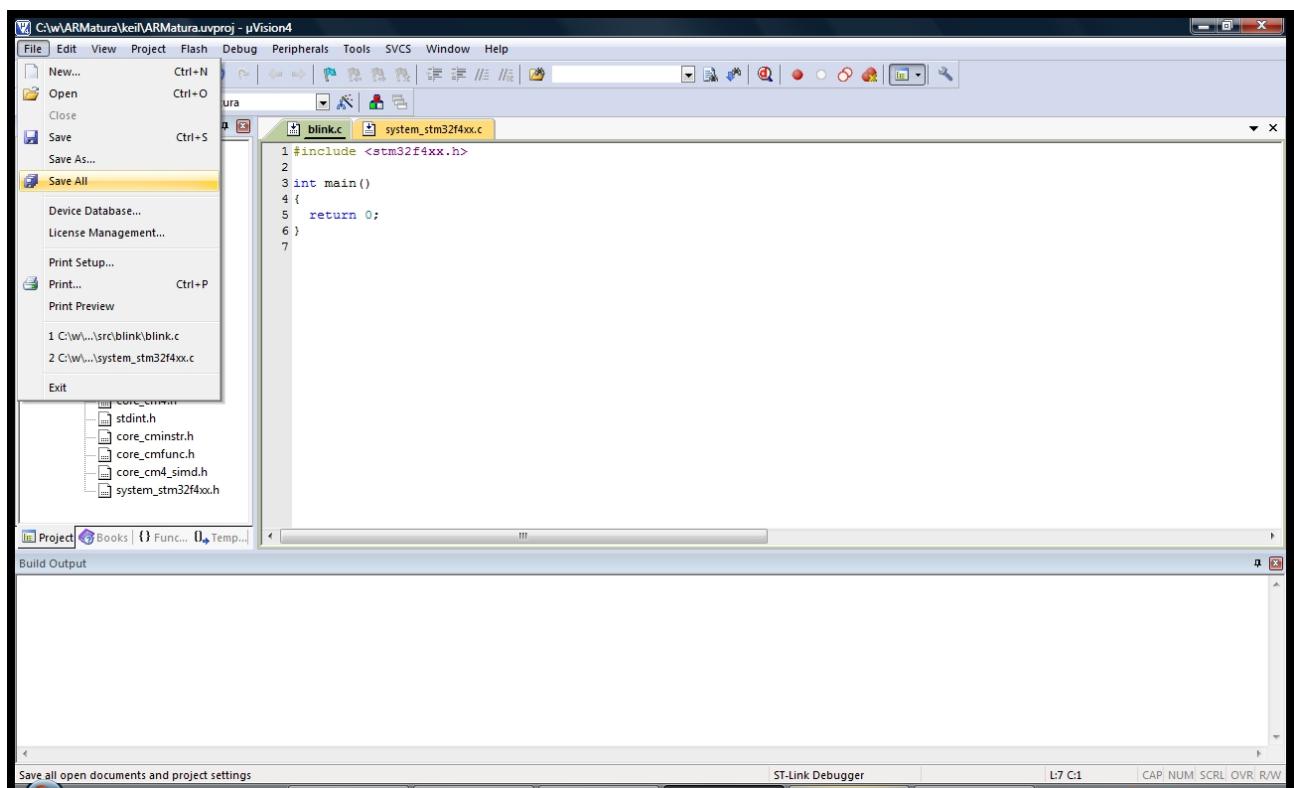
Настройки адаптера STlink – включаем режим SWD для варианта встроенного на оценочную плату, и обнаруживаем что не установили пакет поддержки STlink и драйвера.



Utilities Настраиваем в качестве программатора для прошивки тот же STlink



Сохраняем настроенный проект



7.2 Структура файлов

```

ARMatura
└── startup ..... код инициализации ядра процессора
    └── keil_startup_stm32f4xx.s ..... ассемблерный код инициализации
        └── system_stm32f4xx.c ..... синый код инициализации STM32F4
            └── system_stm32f4xx.h ..... синый код инициализации STM32F4
                └── stm32f4xx.h ..... STM32F4 CMSIS Cortex-M4 Device Peripheral
                    └── core_cm4.h ..... CMSIS библиотека поддержки ядра Cortex-M4
                        └── stdint.h ..... стандартные целые типы C+
                        └── core_cmInstr.h ..... CMSIS Core Instruction Interface
                        └── core_cmFunc.h ..... CMSIS Core Register Access Functions
                        └── core_cm4_simd.h ..... CMSIS Cortex-M4 расширение SIMD/DSP
    └── blink
        └── blink.c ..... простая программа мигания светодиодом или дрыгания ногой
            └── stm32f4xx.h

```

В отличие от кристаллов типа Atmel AVR, при программировании для архитектуры Cortex-Mx принято использовать готовую библиотеку CMSIS^{VI}, для которой проводится активная стандартизация среди производителей процессоров.

Cortex > Microcontroller > Software > Interface > Standard

<http://www.arm.com/products/processors/cortex-m/cortex-microcontroller-software-interface-standard.php>

Кроме основной части CMSIS^{VI}, общей для всех производителей МК Cortex-Mx, каждый подставщик предоставляет аппаратно-зависимую часть библиотеки:

- стартовый код инициализации ядра процессора
- библиотеку периферии например STM32F Standard Peripheral Library, включающую код обеспечивающий доступ к устройствам, встроенным в кристалл в т.ч.
- USB OTG Host & Device
- DSP / SIMD Extension (для Cortex-M4F) системо-зависимую часть расширения CMSIS^{VI} DSP

Библиотеки доступны для загрузки тут:

STSW-STM32065 STM32F4 DSP and standard peripherals library, including 82 examples for 26 different peripherals and template project for 5 different IDEs

http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/st_prod_software_internet/resource/technical/software/firmware/stm32f4_dsp_stdperiph_lib.zip

7.3 blink.c

Сначала посмотрим код основной программы:

Listing 7.1: /src/blink/blink.c

```
/*
 * ARMatura book sample
 * https://github.com/ponyatov/ARMatura
 */

#include <stm32f4xx.h> // загрузить CMSIS-библиотеку STM32Fx

int main()
{
    return 0;
    char X [] = "HelloWorld!";
}
```

Как видим — в ней нет абсолютно ничего сложного: только подключение библиотеки нашего МК и единственная функция `int main(void)`, содержащая только возврат в стартовый код CMSIS^{VI} значения по умолчанию — 0.

Файл `stm32f4xx.h` подробно рассмотрен в ?? — на текущем слое знаний не стоит в него углубляться: он слишком большой и содержит практически весь список функционала, обеспечиваемый CMSIS^{VI}.

То же самое можно сказать и о других файлах — все они относятся либо к библиотеке CMSIS^{VI}, либо к файлам поддержки производителя чипов.

Подробности будут рассмотрены далее в разделе VI, а пока важнее получить практический результат.

Глава 8

Hell Of World

Часть IV

Средства разработки

Глава 9

Keil MDK-ARM



Для начала освоения программирования для ARM рекомендуем использовать бесплатный пакет от Keil: <http://www.keil.com/arm/mdk.asp> — ограничения бесплатной версии в 32К кода вполне достаточно для начального освоения программирования под процессоры семейства Cortex-Mx, а затем уже можно переползать на открытое ПО: GNU toolchain 10.1, Eclipse 11.1 и Linux XII.

Процесс установки и первоначальной настройки описан в 6. В этом разделе будут подробно описаны возможности и настройки среды.

Глава 10

Компиляторы

10.1 GCC

10.2 KeilCC

10.3 IAR

Глава 11

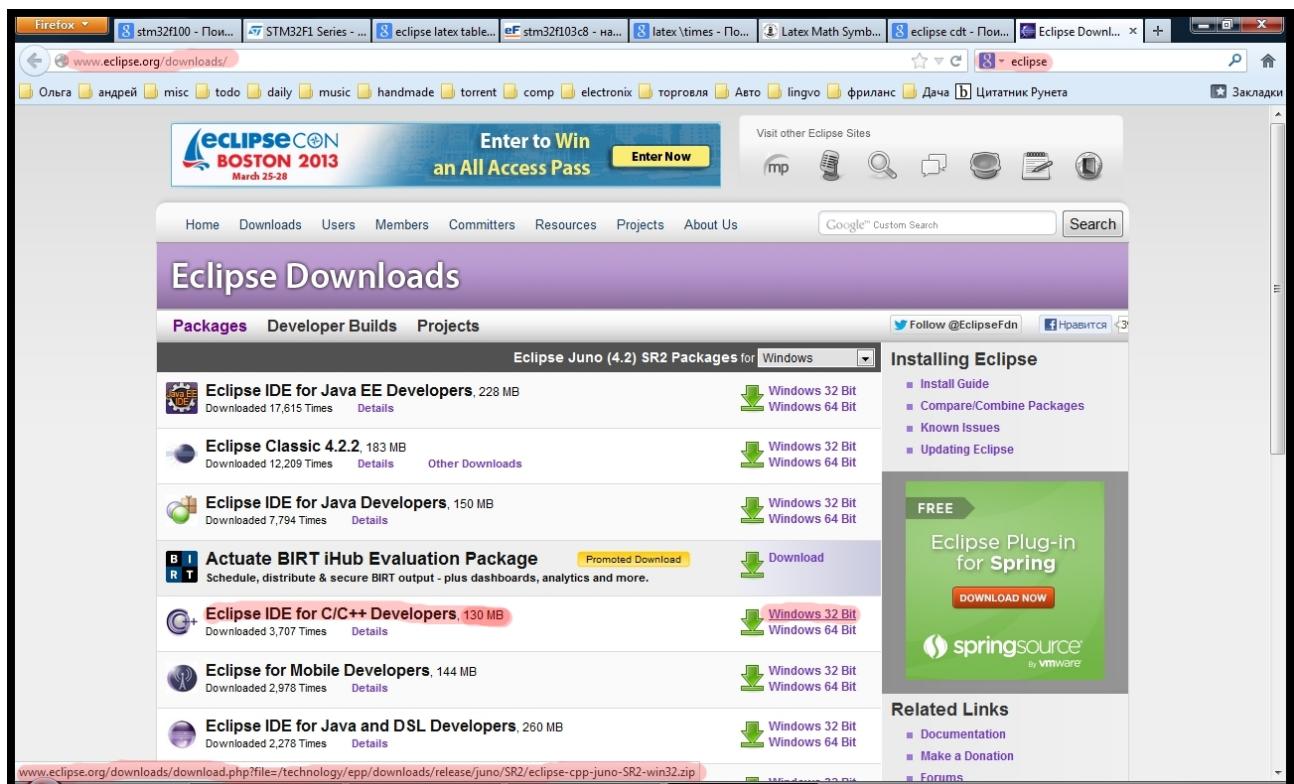
IDE

11.1 Eclipse

Установка

Для работы нам потребуется сборка Eclipse 11.1 в варианте

```
http://www.eclipse.org/downloads/  
http://www.eclipse.org/downloads/download.php?file=/technology/epp/downloads/  
release/juno/SR2/eclipse-cpp-juno-SR2-win32.zip
```



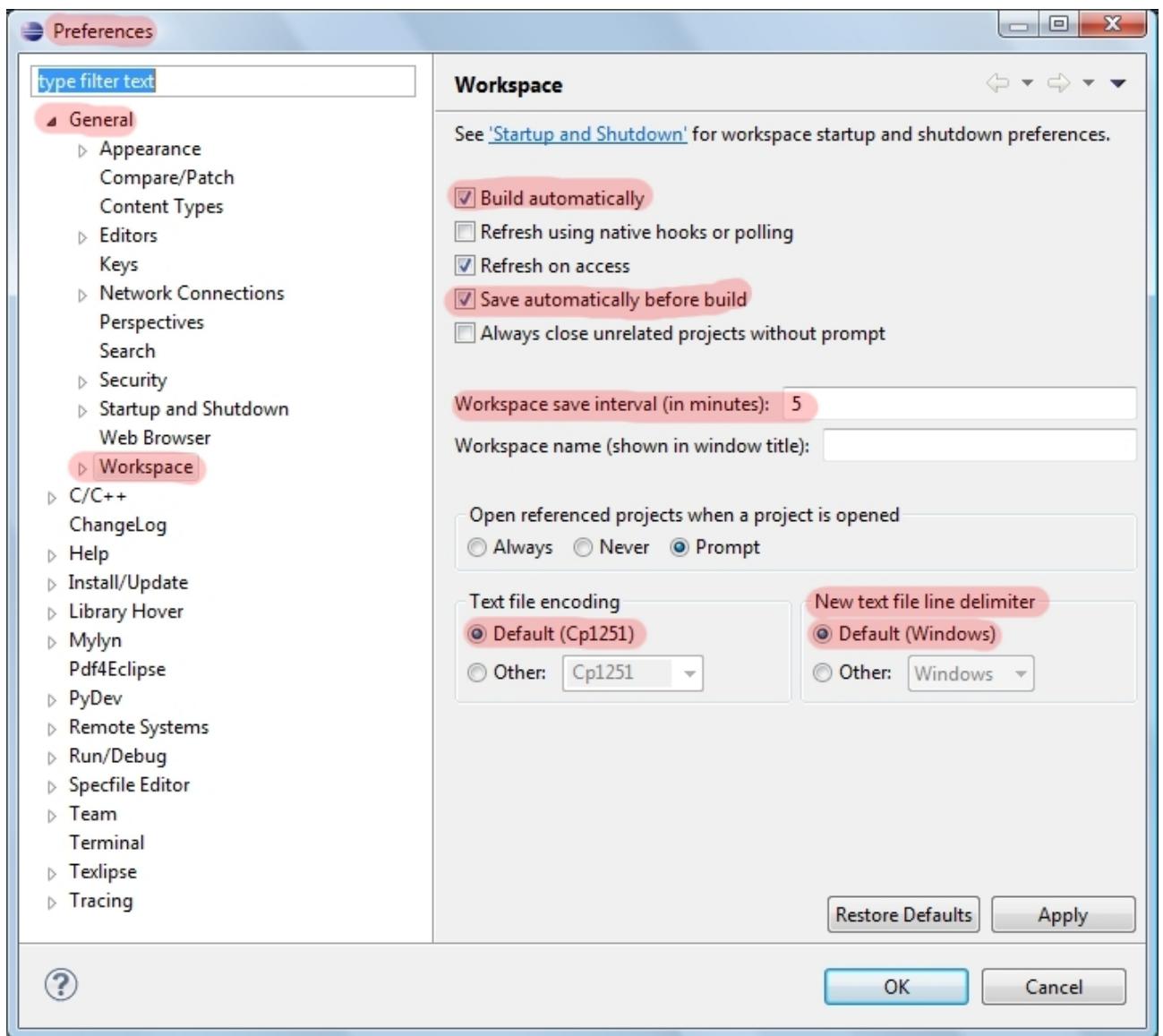
Настройка глобальных свойств

Глобальные свойства настраиваются в меню **Windows > Preferences**.

Прежде всего настроим автосохранение при запуске Build **Ctrl + B**:

- запуск сборки при сохранении файла

- автоматическое сохранение всех измененных файлов перед сборкой
- автосохранение рабочих файлов
- кодировка файлов с кириллицей (может потребоваться корректировка при импорте файлов в кодировках KOI8, UTF8)
- конец строки в стиле dos/windows: <CR><LF> (в UNIX используется только <LF>)



11.2 Code::Blocks

11.3 gVim

11.4 Keil uVision

11.5 IAR

Глава 12

Программаторы

12.1 STlink

12.2 Serial Boot

Глава 13

Отладка

13.1 STM32 SWD

13.2 GDB

STlink gdbserver

OpenOCD

13.3 JTAG

Часть V

Основы языка C^{+^+}

Глава 14

Синтаксис

Глава 15

Типы данных

Глава 16

Стандартная библиотека libc

Часть VI

CMSIS

В этом разделе будут описаны только *некоторые* части библиотеки CMSIS^{VI} для STM32F, которые используются в коде ARMatura. Объяснить это очень просто — попытавшись включить в книгу полный листинг `stm32f4xx.h` получил 205 страниц листинга 😊

Часть VII

Ядро Cortex-Mx

Глава 17

Режимы ARM и Thumb

Глава 18

DMA

Глава 19

DSP /Cortex-M3/

Глава 20

FPU /Cortex-M4F/

Часть VIII

Интерфейсы

Глава 21

USB

Глава 22

UART

Глава 23

SPI

Глава 24

I2C

Глава 25

CAN

Часть IX

Операционные системы ОСРВ

Глава 26

Keil RTX

Глава 27

FreeRTOS

Глава 28

eCos

Глава 29

Linux

подробно рассмотрен в отдельном разделе XII

Часть X

Стек TCP/IP

Глава 30

Ethernet

Глава 31

PPP

Часть XI

Типовые применения

Глава 32

GPS

32.1 Протокол NMEA 0183

NMEA 0183— текстовый протокол связи морского и навигационного оборудования.

http://www8.garmin.com/support/pdf/NMEA_0183.pdf
http://www8.garmin.com/support/pdf/NMEA_0183.pdf
http://ru.wikipedia.org/wiki/NMEA_0183
<http://www.robosoft.info/ru/technologies/knowledgebase/nmea0183>

Датум *WGS⁸⁴*

http://ru.wikipedia.org/wiki/WGS_84

Большинство GPS приемников отдают данные по NMEA 0183, но вместо режима последовательного порта 4800 8N1 прописанного в протоколе, могут использовать другие режимы, характерные для портов RS232 (9600, 115200). Координаты передаются в датуме *WGS⁸⁴*.

Формат сообщения NMEA¹:

\\$[A-Z]5(,<data>)+*[0-9A-F]2<CR><LF>

- символ \$
- 5-буквенный идентификатор сообщения. Первые две буквы — идентификатор источника сообщения, следующие три буквы — идентификатор формата сообщения
 - GPGGA — данные о последнем определении местоположения
 - GPGLL — координаты, широта/долгота
 - GPGSA — DOP (GPS) и активные спутники
 - GPGSV — наблюдаемые спутники
 - GPWPL — параметры заданной точки
 - GPBOD — азимут одной точки относительно другой
 - GPRMB — рекомендуемый минимум навигационных данных для достижения заданной точки

¹регулярные выражения http://en.wikipedia.org/wiki/Regular_expression

- GPRMC — рекомендуемый минимум навигационных данных: информацию о времени, местоположении (*WGS⁸⁴*), курсе и скорости, передаваемые навигационным GPS приёмником. Контрольная сумма обязательна для этого сообщения, интервалы передачи не должны превышать 2 секунды.
- GPRTE — маршруты
- HCHDG — данные от компаса
- блоки данных, разделённых запятыми. Пустые данные, не заданные в середине строки, оставляют запятыю. Пустые данные в конце строки могут отбрасываться вместе с запятой.
- символ *
- двузначное hex число — контрольная XOR-сумма всех байт в строке между \$ и *.
- конец строки <CR><LF> = 0x0D 0x0A = \r\n

32.2 \$GPRMC — рекомендуемый минимум навигационных данных

\$GPRMC, hhmmss.ss, [AV], GGMM.MM, [NS], gggmm.mm, [EW], v.v, b.b, ddmmyy, x.x, n, m*hh<CR><LF>

- GP – приём сигналов GPS, GN – ГЛОНАСС
- RMC – Recommended Minimum sentence C
- hhmmss.ss – время фиксации местоположения по времени UTC
- A – данные достоверны, V – данные недостоверны
- GGMM.MM – широта, 2 цифры градусов, 2 цифры целых минут, точка и дробная часть минут;
- N/S – северная/южная широта
- gggmm.mm – долгота, 3 цифры градусов, 2 цифры целых минут, точка и дробная часть минут;
- E/W – восточная/западная долгота
- v.v – горизонтальная составляющая скорости в узлах
- b.b – путевой угол (направление скорости) в градусах: 0° север, 90° восток, 180° юг, 270° запад
- ddmmyy – дата
- x.x – магнитное склонение в градусах (часто отсутствует)
- n – направление магнитного склонения: для получения магнитного курса магнитное склонение необходимо вычесть (E) или прибавить (W) к истинному курсу
- m – индикатор режима: A – автономный, D – дифференциальный, E – аппроксимация, N – недостоверные данные (часто отсутствует, данное поле включая запятую отсутствует в старых версиях NMEA)

32.3 Системы координат (датум)

<http://ne-grusti.narod.ru/Glossary/datums.html>

Системы координат (datums) можно разделить на геоцентрические и топоцентрические.

В геоцентрической системе размеры эллипсоида, ориентация и положение его центра выбираются следующим образом:

- объем эллипсоида предполагается равным объему геоида;
- большая полуось эллипсоида лежит в плоскости экватора геоида;
- малая полуось направлена по оси вращения Земли;
- среднеквадратичное отклонение поверхности эллипсоида от поверхности геоида
- минимально по всей территории земного шара.

WGS⁷² и сменившая ее *WGS⁸⁴*, а также российская *SGS⁸⁵* являются геоцентрическими системами координат на эллипсоидах *WGS72*, *GRS80* и *SGS85* соответственно. В системе GPS/NAVSTAR используется *WGS⁸⁴*, а в системе GLONASS — *SGS⁸⁵*.

Топоцентрическая (национальная) система координат появляется так: вы берете некоторый эллипсоид и располагаете его таким образом, чтобы для заданной территории среднеквадратичное отклонение поверхности эллипсоида от поверхности геоида было минимальным. При этом остальная часть мира вас не интересует: отклонения на другой стороне Земли может быть сколь угодно велико.

В России используются несколько геодезических систем координат: Пулково¹⁹⁴² Пулково 1942 г., 1963 г. и 1991 г. Система координат 1963 г. используется военными и ее параметры преобразования засекречены. Обычно мы пользуемся картами, составленными в системе Пулково¹⁹⁴². Она базируется на эллипсоиде Красовского.

Параметры преобразования для Пулково¹⁹⁴²:

Преобразование Bursa-Wolf (Position Vector Transformation)

<http://ne-grusti.narod.ru/Glossary/transformations.html#pvt>

направление	dX	dY	dZ	rX	rY	rZ	M	источник
<i>WGS84</i> → 1942	-27.0	+135.0	+84.5	0.0	0.0	0.554	-0.2263	Data +
1942 → <i>WGS84</i>	+25.0	-141.0	-78.5	0.0	0.35	0.736	0.0	Stefan A. Voser

Преобразование Молоденского

<http://ne-grusti.narod.ru/Glossary/transformations.html#molodensky>

направление	dX	dY	dZ	da	df	источник
1942 → <i>WGS84</i>	+28.0	-130.0	-95.0	-108.0	+0.00480795	Vladimir Zh. Boston-PC Forum
1942 → <i>WGS84</i>	+28.0	-130.0	-95.0	-108.0	+0.00480795	MADTRAN, Peter H. Dana
1942 → <i>WGS84</i>	+24.0	-123.0	-94.0	-108.0	+0.00480795	Stefan A. Voser

32.4 Методы преобразования систем координат

<http://ne-grusti.narod.ru/Glossary/transformations.html>

Часто требуется перейти от одной системы координат (datum) к другой. Например, вы хотите данные с GPS в системе координат WGS^{84} наложить на карту в системе координат Пулково¹⁹⁴².

Произодить преобразование проще (математически), если сначала перевести координаты из географических (широта и долгота) в прямоугольные (XYZ).

Чтобы получить точные прямоугольные координаты точки на поверхности Земли, необходимо знать не только широту и долготу, но и ее высоту над поверхностью эллипсоида. GPS показывает высоту над эллипсоидом WGS^{84} . Можно вычислить прямоугольные координаты только по широте и долготе, считая, что точка лежит на поверхности эллипса, но при этом точность понизится.

Высоту точки на другими эллипсоядами получить сложнее. Обычно мы знаем высоту в национальной системе высот. За нулевую высоту, как правило, принимается среднее значение уровня моря в определенной точке побережья по результатам многолетних наблюдений. Высоты в этой системе измеряются геодезическими методами относительно поверхности геоида. Поэтому, чтобы узнать высоту точки над эллипсоядом, нужно знать возвышение геоида над эллипсоядом в данном месте, которое трудно вычислить с хорошей точностью. Существуют различные математические модели геоида для разных территорий и для всего земного шара, которые постоянно уточняются.

На заре спутниковой геодезии, когда взаимосвязи между системами координат не были четко определены, а данные исследований были не очень точны, применяли простой сдвиг начала координат dX , dY , dZ для перехода от одной системы координат к другой. Это предполагало, что направления осей двух эллипсоядов параллельны (что во многих случаях не соответствует действительности). Для работ на небольшой территории погрешности, вносимые этим предположением, были меньше, чем точность самих данных. Однако, по мере накопления и уточнения данных и повышения точности измерений, стало очевидно, что преобразование по трем параметрам не подходит для больших территорий и глобального использования, если требуется максимальная точность и единый набор параметров преобразования.

Простейший метод — сдвиг центра координат прямоугольной системы, предполагая, что оси исходной и целевой систем координат параллельны.

$$\begin{pmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} \quad (32.1)$$

Молоденский разработал формулы для применения параметров сдвига к географическим координатам.

$$\Delta\varphi'' = \frac{206265}{\rho} (-dX \sin \varphi \cos \lambda - dY \sin \varphi \sin \lambda + dZ \cos \varphi + [a\Delta f + f\Delta a] \sin 2\varphi) \quad (32.2)$$

$$\Delta\lambda'' = \frac{206265}{\nabla \cos \varphi} (-dX \sin \lambda + dY \cos \lambda) \quad (32.3)$$

$$\Delta h = dX \cos \varphi \cos \lambda + dY \cos \varphi \sin \lambda + dZ \sin \varphi + (a\Delta f + f\Delta a) \sin^2 \varphi - \Delta a \quad (32.4)$$

здесь dX , dY , dZ — сдвиг по осям, м; a и f — большая полуось и сжатие исходного эллипса; da и df — разности между большой полуосью и сжатием исходного эллипса и целевого эллипса.

Повышенная точность достигается преобразованием Хелмерта с семью параметрами. Есть две его разновидности, различающиеся присвоением знака для параметров поворота.

1. Position Vector Transformation (Bursa-Wolf)

$$\begin{pmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{pmatrix} = M \cdot \begin{pmatrix} 1 & -Rz & +Ry \\ +Rz & 1 & -Rx \\ -Ry & +Rx & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} \quad (32.5)$$

2. Coordinate Frame Transformation

$$\begin{pmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{pmatrix} = M \cdot \begin{pmatrix} 1 & +Rz & -Ry \\ -Rz & 1 & +Rx \\ +Ry & -Rx & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} \quad (32.6)$$

Здесь M — это масштаб (scale), параметры берутся из описания системы координат.

32.5 Геоид и эллипсоиды

<http://ne-grusti.narod.ru/Glossary/ellipsoid-geoid.html>

Геоид — фигура сложной формы, образованная поверхностью уровня вод Мирового океана, продолженной под материками. Эта поверхность во всех точках перпендикулярна (нормальна) вектору силы тяжести. Отвес направлен перпендикулярно поверхности геоида, а не к центру Земли! Это связано с тем, что плотность Земли распределена неравномерно.

Эллипсоид — тело, полученное вращением эллипса вокруг его малой оси. Размеры подбирают так, чтобы среднеквадратичное отклонение от поверхности геоида было минимально либо по всей поверхности Земли, либо для заданной территории.

Параметры некоторых эллипсоидов

эллипсоид	использование	большая полуось a, м	малая полуось b, м	сжатие $f = (a - b)/a$
Красовского (1940)	Россия и др. Пулково ¹⁹⁴²	6378245	6356863	1/298.3
GRS80	международный <i>WGS⁸⁴</i>	6378137	6356752.31425	1/298.25722356
SGS85	ГЛОНАСС SGS85			
Бесселя	СССР до 1942 г.			

В таблицах эллипсоидов часто указывается не полярное сжатие f , а обратная величина $1/f$, например, для эллипсоида Красовского $1/f = 298.3$.

Отклонения эллипсоида Красовского от геоида на территории СНГ не превышают 150 м.

32.6 Tistar15



Цена: 250 руб. <http://www.voltmaster.ru/cgi-bin/qquery.pl?id=127000056703&group=700000>

32.7 WISMO228



Цена: 1070 руб. <http://www.voltmaster.ru/cgi-bin/qquery.pl?id=127000881980&group=700000>

Глава 33

GSM

33.1 WISMO228



Цена: 1070 руб. <http://www.voltmaster.ru/cgi-bin/qwery.pl?id=127000881980&group=700000>

Глава 34

шина Dallas 1Wire

34.1 RTC

34.2 Датчики температуры DS18x20

Часть XII

Встраиваемый Linux

Часть XIII

QA

Где перевод пунктов меню Если вы собираетесь заниматься разработкой embedded ПО, знание английского на уровне пользования online словарями и Google Translate обязательно. Кому это не нравится, могут и дальше ждать перевод datasheetов и programmer's manualов на снимаемые с производства компоненты — перевод как раз появляются к этому времени.

Часть XIV

Приложения

Глава 35

Сводная таблица процессоров

[STM32F] > core > crypto > model > pins > flash > package > n]

core

- 1 Cortex-M3
- 3 Cortex-M4
- 4 Cortex-M4F с расширениями FPU (плавающая точка) и SIMD
для приложений цифровой обработки сигналов

crypto

- 0 Cortex-M3 только CRC
- 1 Crypto расширение с функционалом вычислений MD5, SHA,..
- 2 Cortex-M4 CRC
- 3 Crypto

model

- 0
- 3 включена поддержка CAN, USB, SDIO
- 7

package

- T LQFP

pins

- C 48
- R 64
- V 100
- I 176

flash

- 8 64K
- B 128K
- G 1M
- I 2M

	ядро Cortex-	MHz	Flash	SRAM	корпус LQFP	GPIO	ST family
STM32F100C4T6B	M3	24	16K	4K	48		LD
STM32F100RBT	M3	24	128K	8K	100		MD
STM32F103C8T	M3	72	64K	20K	48	37	MD
STM32F103CBT	M3	72	128K	20K	48	37	MD
STM32F103RBT	M3	72	128K	20K	64	51	MD
STM32F103VBT	M3	72	128K	20K	100	80	MD
STM32F407VGT	M4F	168	1M	192K	144		
STM32F407IGT	M4F	168	1M	192K	176		
STM32F427IIT	M4F	168	2M	256K	176		
	CAN	USB	UART	I2C	SPI	ADC	DAC
STM32F100C4T6B	○	○	2		1		
STM32F100RBT	○	○	1				
STM32F103C8T	●	●	3	2	2	2x12b (10ch)	
STM32F103C8T	●	●	3	2	2	2x12b (10ch)	
STM32F103RBT	●	●	3	2	2	2x12b (16ch)	
STM32F103VBT	●	●	3	2	2	2x12b (16ch)	
STM32F407VGT	2	2	6				
STM32F407IGT	2	2	6				
STM32F427IIT	2	2	8				
	таймеры IC/OC/PWM	PWM таймер	DMA	WDT	SysTick	RTC 24b	
STM32F100C4T6B							
STM32F100RBT							
STM32F103C8T	3x16b	1x16b	7ch	2	●	●	
STM32F103C8T	3x16b	1x16b	7ch	2	●	●	
STM32F103RBT	3x16b	1x16b	7ch	2	●	●	
STM32F103VBT	3x16b	1x16b	7ch	2	●	●	
STM32F407VGT					●	●	
STM32F407IGT					●	●	
STM32F427IIT					●	●	