

Описание устройства BaroLog

Краткое описание

Устройство BaroLog создано для длительного автономного мониторинга давления и температуры. Предполагаемое время работы устройства от 3х АА-батареек – не менее 1 года. Работа возможна при температурах от -10 °С до 40 °С (диапазон в первую очередь ограничен используемым элементом питания).

Предполагается использовать для записи годовых циклов давления/температуры в пещерах. Устройство может быть сконфигурировано для различных интервалов записи показаний (от 8 секунд до нескольких часов). Следует учитывать, что размера памяти для коротких интервалов записи не хватит на целый год (к примеру, при записи каждые 8 секунд, размер хранимого лога всего 9 суток).

Благодаря встроенным часам, точная запись момента старта может не производиться, а по окончании работы самописца есть возможность оценить уход его внутренних часов и провести простейшие коррекции.

Официальная страница проекта: <http://igorkov.org/barolog>. На ней доступны актуальные версии утилит и прошивок.

Описание аппаратной начинки

В основе устройства лежит микроконтроллер Atmel ATmega8A или ATmega88PA. Для измерения давления используется датчик Bosch BMP085, в нем же имеется термометр. Так же предусмотрен акселерометр Freescale MMA7455 для определения двигательной активности и датчик HOPERF HSF1000 (барометр с пределом измерений 10атм).

Реализация барометра HFS1000 не закончена, предполагалось использовать его в качестве второго датчика давления с низкой точностью, но большим диапазоном, позволяющим фиксировать давление под водой. Для связи с внешним миром используется Bluetooth модуль HC-05/06.

Часы реального времени реализуются средствами микроконтроллера. Для этого к контроллеру подключен кварцевый резонатор на 32768Гц. Он тактирует внутренний таймер (Timer2), прерывания от таймера идут с максимально доступным интервалом: 8 секунд. Метка текущего времени представлена в UNIX-формате (32-битное число секунд от определенной даты).

Сохранение данных происходит на микросхему Flash-памяти Atmel AT45DBxxxD, объемом от 128кБ до 4МБ (AT45DB642D объемом 8МБ не поддерживается).

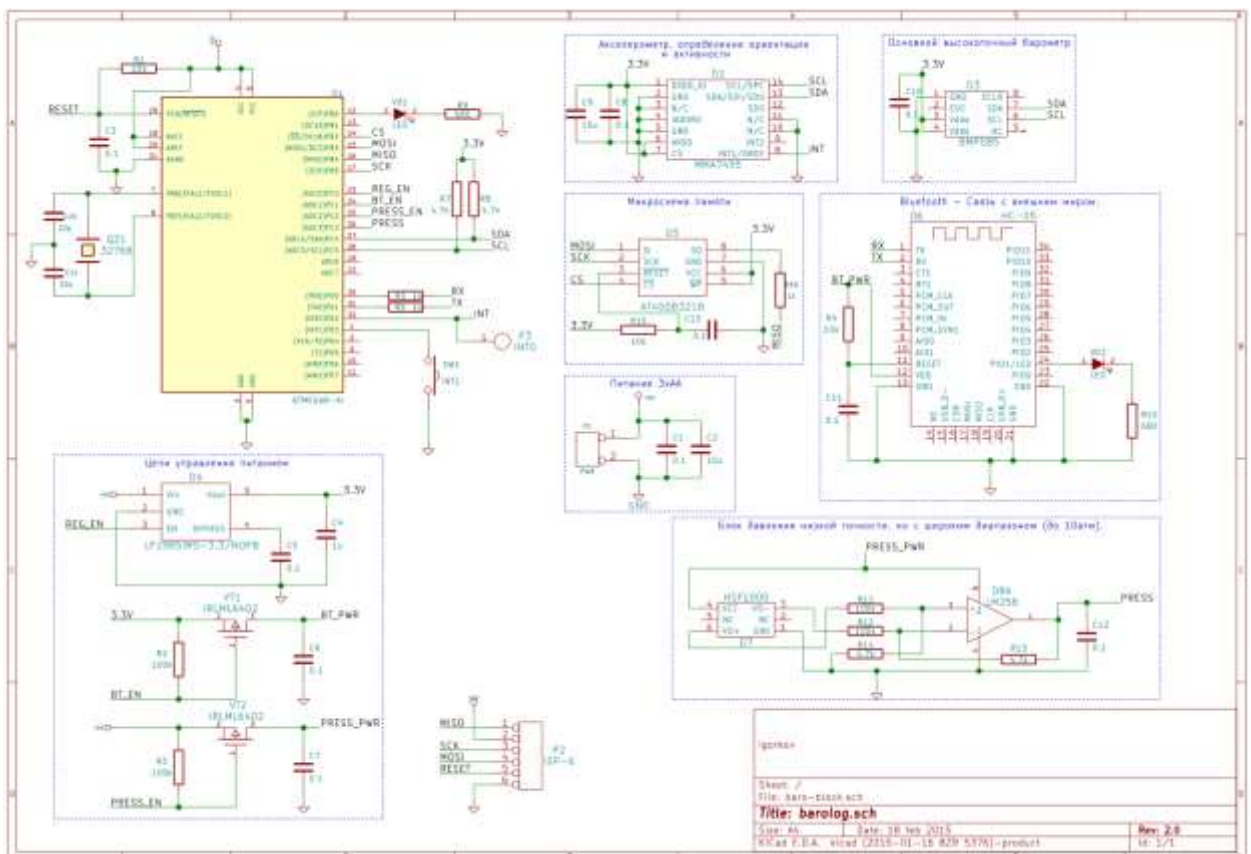


Рисунок 1 - Схема устройства

В моменты ожидания, контроллер находится в режиме Power-Save, а все не требуемые модули (как внутренние, так и внешние) отключаются. Это позволяет добиться низкого потребления энергии (порядка 10мкА), сравнимого с саморазрядом самих элементов питания.

Ток потребления схемы (представлены завышенные значения):

- Менее 15мкА в режиме бездействия (на микроконтроллере АТmega8РА потребление менее 5мкА).
- Около 5мА в моменты приращения счетчика RTC. Происходит просыпание на 0.1-0.5мс каждые 8 секунд.
- Около 50мА в режиме работы по ВТ.
- Около 20мА в режиме фиксации показаний. Происходит не чаще 1 раза в 8 секунд (интервал настраивается), длительность операции около 200мс.

В настоящий момент актуальна 2ая аппаратная версия устройства (маркировка на плате «baro-log 2.0»).

Сборочный чертеж

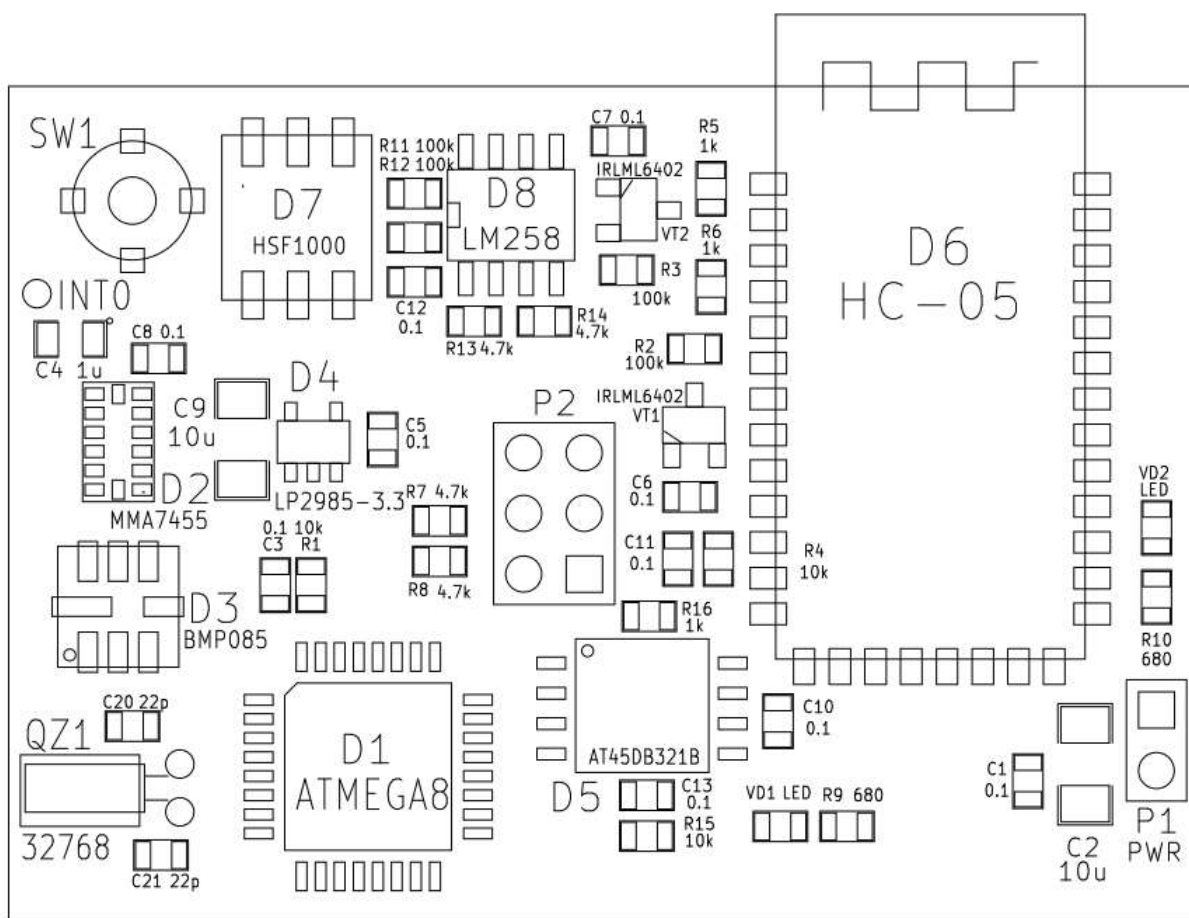


Рисунок 2 - Сборочный чертеж

Список компонентов

Основные компоненты (отмечены красным):

	Элемент	Значение	Корпус
1	C1	0.1	SMD0603
2	C2	10u	SMD1206
3	C3	0.1	SMD0603
4	C4	1u	SMD0805
5	C5	0.1	SMD0603
6	C6	0.1	SMD0603
10	C10	0.1	SMD0603
11	C11	0.1	SMD0603

13	C13	0.1	SMD0603
14	C20	22p	SMD0603
15	C21	22p	SMD0603
16	D1	ATMEGA8-AI	TQFP-32
18	D3	BMP085	LGA-8
19	D4	LP2985IM5-3.3/NOPB	SOT-23-5
20	D5	AT45DB321B	SO-8W
21	D6	HC-05	Микросборка
24	P1	PWR	IDC-2
25	P2	ISP-6	IDC-6
26	QZ1	32768 Гц	
27	R1	10k	SMD0603
28	R2	100k	SMD0603
30	R4	10k	SMD0603
31	R5	1k	SMD0603
32	R6	1k	SMD0603
33	R7	4.7k	SMD0603
34	R8	4.7k	SMD0603
35	R9	680	SMD0603
36	R10	680	SMD0603
41	R15	10k	SMD0603
42	R16	1k	SMD0603
43	SW1	INT1 BUTTON	
44	VD1	LED RED	SMD0603
45	VD2	LED GREEN (BLUE)	SMD0603
46	VT1	IRLML6402	SOT-23

Серым цветом выделены необязательные компоненты.

Обвязка MMA7455 (отмечены голубым):

1	D2	MMA7455	LGA-14
2	C8	0.1	SMD0603
3	C9	10u	SMD1206

Обвязка HSF1000 (отмечены зеленым):

1	C7	0.1	SMD0603
12	C12	0.1	SMD0603
22	D7	HSF1000	Нестандартный
23	D8	LM258	SO-8
29	R3	100k	SMD0603
37	R11	100k	SMD0603
38	R12	100k	SMD0603
39	R13	4.7k	SMD0603
40	R14	4.7k	SMD0603
47	VT2	IRLML6402	SOT-23

Корпус и конструкция

Так как устройство должно работать во влажной среде (100% влажность, возможна конденсация влаги и мелкая водяная взвесь в воздухе), требуется обеспечить защиту от

влаги. Самое простое решение – использование герметичного корпуса, однако, оно малоприменимо из-за датчика давления: внутри такого корпуса он будет показывать некорректные значения.

По этой причине решено использовать не герметичный корпус, а максимально защитить плату от воздействия влаги. Решение простое: покрытие платы лаком. Батарейный блок при этом остается незащищенным. Однако, расстояния между контактами в нем большое (во всяком случае на порядок больше чем зазоры некоторых контактов на плате), поэтому в рамках 1-2 лет больших проблем из-за окисления быть не должно.

Конструкция кнопки (пластинка на плате) позволяет сделать воздушную камеру контакта герметичной. Для этого используется обычный скотч. Лак можно положить поверх скотча, он немного защитит скотч от отклеивания по краям.

Уже покрытая лаком плата сажается на термоклей, либо двусторонний скотч на батарейный отсек. Вся конструкция размещается внутри корпуса, можно использовать кусочки обычной пенки для фиксации конструкции.

Программная начинка

Микропрограмма написана на языке C в среде AVR Studio. Для сборки используется компилятор GCC.

Так же имеется утилита для работы с устройством на PC (через Bluetooth-интерфейс). Она написана для Microsoft Windows на языке C. Сборка приложения осуществляется при помощи GCC в составе пакета MinGW.

Программные доработки

Планируемые изменения:

1. Установить частоту контроллера 8МГц (в настоящий момент 1МГц).
2. Настроить макс. частоту SPI (в настоящий момент clk/4).
3. Перейти на использование контроллера ATmega88 (спящий режим с активным RTC менее 1мкА).
4. Рассмотреть возможность перехода на питание от 3х AAA батареек.
5. Увеличить скорость связи до 115200 бод (с нынешних 9600 бод), это позволит в несколько раз быстрее производить сохранение данных с устройства.

Повышение частот, позволит контроллеру просыпаться на меньшие промежутки времени, тем самым укоротив интервалы с большим потреблением энергии.

Прошивка микропрограммы

Прошивка образа HEX:

```
avrdude.exe -c usbasp -p atmega8 -U flash:w:barolog.hex
```

Прошивка Fuses (не обязательна, подходят значения «по-умолчанию»):

```
avrdude.exe -c usbasp -p m8 -U lfuse:w:0xE1:m -U hfuse:w:0xD9:m
```

Работа с устройством

Устройство имеет 2 режима работы:

- Режим Bluetooth.
- Режим записи показаний (режим самописца).

В режиме работы Bluetooth, поиском в соответствующей программе управления Bluetooth можно найти устройство «barolog XXXX» (в некоторых случаях может быть устройство с именем HC-05). Пин-код к нему 1234. После установки, устройство определяется в системе в виде виртуального COM-порта. Номер данного порта требуется узнать в свойствах устройства, его в дальнейшем потребуется задавать при работе через утилиту.

По-умолчанию устройство работает в режиме Bluetooth. Зеленый светодиод сигнализирует об активности модуля Bluetooth. Быстрое мигание – ожидание подключения. Если горит – связь установлена. Красный светодиод загорается в моменты обработки команд.

Специальной командой устройство переводится в режим записи показаний. В данном режиме устройство потребляет минимум энергии и основное время спит, просыпаясь через заданные интервалы времени для сохранения показаний.

Возврат из режима записи показаний в режим BT производится нажатием кнопки (в первой версии кнопка не была предусмотрена, поэтому предполагается смена режима замыканием контактов). Не стоит извлекать батарейки в режиме записи показаний, т.к. в данном случае может потеряться несколько десятков последних измерений.

На устройстве имеются 2 светодиода:

- Зеленый – отображает статус Bluetooth-модуля. Отключен – модуль Bluetooth выключен. Частое мигание – модуль активен. Горит постоянно – есть соединение.
- Красный – горит в моменты обработки команд. Активно мигает в моменты общения с устройством. В режиме самописца загорается в моменты записи показаний.

Переход из режима сбора показаний в режим Bluetooth и обратно при заполнении лога может занимать ощутимое время (до пары минут).

Утилита `barutil.exe`

Вывод справки:

```
x:\barolog\pc>barutil.exe -h
BaroLog Util Version 1.2, 2015
igorkov / fsp@igorkov.org

barutil.exe [Params] [log.csv]
Params:
    -h    - show this help page
    -p N  - set port number
    -u    - set time
    -ui   - set time from NTP-server
    -e    - erase log & config
    -r    - read log
    -n N  - set log cnt for read manual
    -i N  - set log interval (in sec)
    -s    - start log (switch to log-mode)
    -x N  - set serial number
    -v    - read firmware version
    -t    - self test
```

Параметры:

- `-h` – Вывод справки по программе.
- `-p N` – Задание номера виртуального COM-порта. Номер порта можно посмотреть в свойствах устройства.
- `-u` – Установка на устройстве метки времени в UNIX-формате. Перед обновлением выводит текущую метку времени из устройства.
- `-ui` – Опция установки метки времени. В отличие от предыдущего варианта команды устанавливает не локальное время, а полученное через интернет с NTP-сервера.
- `-e` – Очистка лога на устройстве. Полностью очищает память. Процедура может занимать длительное время. Так же устанавливает конфигурацию по-умолчанию.
- `-r` – Чтение лога. Требуется указать имя выходного файла. Данные сохраняются в формате CSV. В конце файла дописывается текущая метка времени. По ней удобно оценить и скорректировать неточность хода часов.
- `-n` – Ручная установка количества читаемых записей. Применять при подозрениях, что в логе имеются повреждения.

- -i – Ручная установка интервала записи показаний.
- -s – Запуск сбора данных. Желательно использовать одновременно с опцией -u.
- -x – Установка серийного номера устройства (1-32767). Данное значение в HEX-формате записывается в имя ВТ-устройства.
- -v – Чтение версии микропрограммы
- -t – Тестирование устройства.

Типовые примеры запуска утилиты

- Задаем серийный номер устройства (на готовых устройствах параметр лучше не трогать), имя устройства после данной команды станет «barolog 3039»:

```
x:\barolog\pc>barutil.exe -p 42 -x 12345
COM-Port \\.\COM42 opened...
Configuring BT...
(please check in OS)
```

Внимание: На отдельных аппаратных версиях устройства (с именем Bluetooth – HC-05), данная настройка не изменит имя устройства в системе (однако, утилита barolog.exe с ключом -t будет правильно отображать его).



barolog 3039

Рисунок 3 – Устройство в системе

- Устанавливаем время, интервал и запускаем режим самописца:

```
x:\barolog\pc>barutil.exe -p 42 -i 256 -s -u
COM-Port \\.\COM42 opened...
Device time: 1424731695
Current time: 1424731694
Time setup Ok!
Set interval 256s Ok!
Log interval: 256s
Flash id: 0x2C
Flash size: 2162688b
Units per day: 337
Log size: 98304 units
Log size: 291 days (~9 months)
Switch to logging mode: ok.
```

При работе утилита провела синхронизацию времени с системным, установила интервал фиксации показаний в 256 секунд и, исходя из него, произвела оценку времени заполнения лога. Финальным действием был перевод устройства в режим самописца.

- Сохранение лога с устройства в файл:

```
x:\barolog\pc>barutil.exe -p 42 -r log.csv
COM-Port \\.\COM12 opened...
Log units count: 1069
Log file: log.csv
Dump unit 1069/1069
Log data dump ok!
Device time: 1424734712
```

В процессе чтения лога виден индикатор выполнения операции. Так же в конце сохраненного файла фиксируется текущая метка времени из устройства, позволяющая оценить уход внутренних часов (и провести линейную коррекцию времени показаний).

- Тестирование устройства:

```
x:\barolog\pc>barutil.exe -p 42 -t
COM-Port \\.\COM12 opened...
packet_send() return 11
packet_receive() return 0
      RetCode = 0, RetLen = 17
Command: TEST, RetData = Hello barolog!

Acc = { 35, 30, 49 }
Time = 1424735135
Batt = 4.5 V
Temp = 27.4 C
Baro = 100153 Pa
Serial Number = 0x0001 (Device Name = barolog 0001)
```

В процессе работы тестовой логики проверяется основной функционал платы: чтение тестовой строки (которая должна содержать имя устройства), чтение показаний акселерометра, чтение метки времени, чтение напряжения батареи, чтение давления и чтение температуры.

- Очищаем память устройства:

```
x:\barolog\pc>barutil.exe -p 42 -e
COM-Port \\.\COM42 opened...
All log data will be delete (y/n): y
Erase.....Answer (type): 0
```

Отправляется команда очистки памяти. Команда длительная. Процесс работы команды сигнализируется символом ‘.’.

Формат файла CSV

Файл с данными, разделенными символом ‘;’. Разделитель десятичных разрядов ‘.’.

Каждая строка в файле имеет вид:

```
1424604240;99388;25,1;4,7;35;30;49
```

В данной строке:

Значение	1424604240	99388	25,1	4,7	35	30	49
Описание	Метка времени	Давление в Па	Температура °C	Напряжение В	Ускорение X	Уск. Y	Уск. Z

Файл готов для импортирования в Excel. После импортирования можно строить простейшие графики:

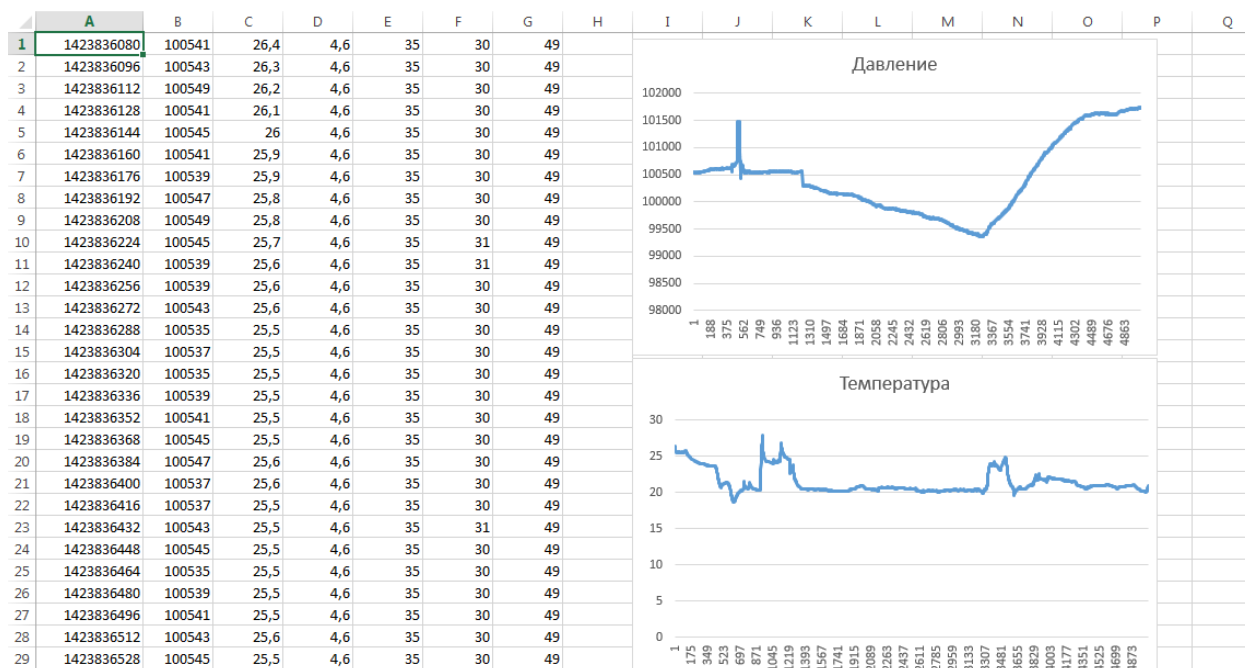


Рисунок 4 - Построение графиков

Для работы с метками времени в Excel можно использовать след. формулу:

```
=CELL/(60*60*24)+"1/1/1970"
```

Она конвертирует время в формат Excel, у ячейки требуется указать тип время/дата.

Обработка данных

Обработку данных можно осуществить на страницах:

- <http://igorkov.org/print.php?page=barolog-p1> – Визуализация данных с самописца. Представляются в виде графика. Можно выбирать количество точек на графике и необходимые диапазоны, за которые будет производиться выборка.
- <http://igorkov.org/print.php?page=barolog-p2> – Визуализация данных с самописцев. Данная страница позволяет сопоставить измерения с 2х самописцев, чтобы сравнить колебания параметров в нескольких точках.

Описание протокола Bluetooth

Структура посылки

Для передачи данных создан простой асинхронный протокол. Общение происходит в режиме запрос-ответ. На любую посланную команду должен прийти ответ (за исключением сбоев, из-за которых происходит потеря передаваемых данных). Ключевые особенности протокола:

1. Посылка начинается с символа '!'. Данный символ сбрасывает протокол. Если не пришел ответ на какую-либо команду, можно повторить посылку, сбой передачи благодаря данному стартовому байту будет устранен.
2. Все байты передаются в формате HEX (т. е. на один байт данных приходится 2 переданных байта).
3. Завершается посылка символом '\r', что соответствует значению 0x0D. Обработка пришедшей команды происходит по приему данного символа.

Структура посылки:

```
:XXYYZZRRDD...DD
```

Соответствующие поля:

XX – Первый байт, код операции.

YY – Второй байт, объем передаваемых данных DD в байтах (от 0 до 60).

ZZ – CRC8 сумма данных.

RR – Зарезервированное поле, должен передаваться 0x00.

DD – Данные.

Объявление структуры заголовка на языке Си:

```
typedef struct
{
    uint8_t type;
    uint8_t size;
    uint8_t crc8;
    uint8_t res;
    uint8_t data[];
} proto_t, *ppproto_t;
```

Размер заголовка 4 байта (передается 8 байт). Размер пакета ограничен в текущей версии объемом 64 байта (из них 4 уходят на заголовок).

Ответы приходят от устройства в аналогичном формате. Однако, поле XX (type) в данном случае содержит код возврата.

Поддерживаемые команды

Формат данных в командах: little-endian.

Код:	Формат команды:	Описание:
0x00	Запрос: :00000000\r Ответ: :0011520048656C6C6F20626172 6F6C6F67210D0A00\r	Тестовая команда. Возвращает строку «Hello barolog!\r\n»
0xFF	Запрос: :FF000000\r Ответ: Отсутствует.	Перевод устройства в штатный режим функционирования. Устройство выключает Bluetooth и начинает сбор данных. Единственная команда без ответа.
0x01	Запрос: :01000000\r Ответ:	Чтение значения внутреннего секундного таймера (переменная 4 байта).

	:0004XX00AAAAAAAA\r	XX – CRC8 данных. AAAAAAAA – Текущее значение метки времени.
0x02	Запрос: :0204XX00AAAAAAAA\r Ответ: :00000000\r	Запись значения таймера. Передается 4 байта данных в формате little-endian. XX – CRC8 данных. AAAAAAAA – Метка времени для установки. Рекомендуется записывать время в UNIX-формате.
0x03	Запрос: :0304XX0011223344\r Ответ: :00000000\r	Стирание лога. Требуется так же передать контрольный вектор 0x11223344. Команда может выполняться несколько десятков секунд. XX – CRC8 данных.
0x04	Запрос: :0403XX00AAAAAAAA\r :0404XX00AAAAAABB\r Ответ: :00AAXX000BB...BB\r	Чтение записи лога. Передается номер записи для чтения (3 байта). Запрос: AAAAAA – Номер записи в логе. BB – Кол-во читаемых записей (1-4). Ответ: XX – CRC8 данных. AA – Размер данных. BB...BB – Тело записи (от 1 до 4).
0x05	Запрос: :05000000\r Ответ: :0001XX00AAAA\r	Чтение интервала записи показаний. XX – CRC8 данных. AAAA – Интервал в секундах.
0x06	Запрос: :05020000AAAA\r :05040000AAAABBBB\r Ответ: :00000000\r	Запись конфигурации. XX – CRC8 данных. AAAA – Интервал измерений в секундах. BBBB – Серийный номер устройства (может не передаваться).
0x07	Запрос: :07000000\r Ответ: :0002XX00AA\r	Тестовое чтение напряжения батареи. XX – CRC8 данных. AAAA – Напряжение батареи (в 0.1 Вольт).
0x08	Запрос: :08000000\r Ответ: :0003XX00AABVCC\r	Тестовое чтение данных из акселерометра. XX – CRC8 данных. AA – Ось X. BB – Ось Y. CC – Ось Z.
0x09	Запрос: :0902XX00AABB\r Ответ: :00BBXX00AA...AA\r	Чтение блока данных из EEPROM. <i>Не рекомендуется использовать.</i> Запрос: XX – CRC8 данных. AA – Адрес для чтения. BB – Количество байт для чтения. Ответ: XX – CRC8 данных. BB – Количество байт (совпадает с значением в запросе). AA...AA – Прочитанные данные.
0x0A	Запрос: :09AAXX00BBCC...CC\r	Запись блока данных в EEPROM.

	<p>Ответ: :00000000\r</p>	<p><i>Не рекомендуется использовать.</i> XX – CRC8 данных. AA – Размер данных с байтом адреса. BB – Адрес для записи. CC...CC – Данные для записи.</p>
0x0B	<p>Запрос: :05000000\r Ответ: :0009XX00AAAAABBBBCCCCDD DDDEE\r</p>	<p>Получение информации о AT45 FLASH. XX – CRC8 данных AAAA – Количество страниц FLASH. BBBB – Количество страниц (степень 2). CCCC – Размер страницы. DDDD – Служебное поле. EE – ID микросхемы памяти (см. команду 0x12).</p>
0x0C	<p>Запрос: :0C000000\r Ответ: :0003XX00AAAAAA\r</p>	<p>Получение счетчика записей лога. XX – CRC8 данных AAAAAA – Количество записей в логе.</p>
0x0D	<p>Запрос: :0D000000\r Ответ: :00000000\r</p>	<p>Запись конфигурации в ВТ. Команда требуется единожды, после сборки устройства. При выполнении команды, соединение Bluetooth разрывается. Настройки ВТ по-умолчанию: Speed: 9600, Pin: 1234, Name: linvor Настройки ВТ после применения команды: Speed: 115200 9600, Pin: 1234, Name: barolog XXXX. XXXX – серийный номер в HEX-формате.</p>
0x0E	<p>Запрос: :0E000000\r Ответ: :0002XX00AAAA\r</p>	<p>Тестовое чтение температуры BMP085. XX – CRC8 данных. AAAA – Значение температуры в 0.1C.</p>
0x0F	<p>Запрос: :0F000000\r Ответ: :0004XX00AAAAAAA\r</p>	<p>Тестовое чтение давления BMP085. XX – CRC8 данных. AAAAAAA – Давление в Па.</p>
0x10	<p>Запрос: :10000000\r Ответ: :0001XX00AA\r</p>	<p>Тестовое чтение ADC, подключенного к HFS1000. <i>Не реализована!</i> XX – CRC8 данных. AA – Давление в 0.1Атм.</p>
0x11	<p>Запрос: :11000000\r Ответ: :0001XX00AB\r</p>	<p>Получение версии микропрограммы. XX – CRC8 данных. AB – Версия А.В. Актуальная версия 1.0.</p>
0x12	<p>Запрос: :12000000\r Ответ: :0001XX00AA\r</p>	<p>Тестовое получение статус-байта AT45. XX – CRC8 данных. AA – ID микросхемы AT45:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0x0C – AT45DB011D • 0x14 – AT45DB021D • 0x1C – AT45DB041D • 0x24 – AT45DB081D • 0x2C – AT45DB161D • 0x34 – AT45DB321D • 0x3C – AT45DB642D
0x13	<p>Запрос:</p>	<p>Прочитать серийный номер.</p>

:13000000\r Ответ: :0002XX00AAAA\r	XX – CRC8 данных. AAAA – Серийный номер из EEPROM.
--	---

Коды ошибок

- **0x00** – Все в порядке.
- **0x01** – Ошибка длины данных/команды.
- **0x02** – Ошибка кодировки (возникает из-за нечетного числа символов HEX).
- **0x03** – Ошибка CRC.
- **0x04** – Неизвестная команда.
- **0x05** – Аппаратная ошибка.
- **0x06** – Ошибка аутентификации (в команде Erase).
- **0x07** – Ошибка в параметрах.