

Описание устройства BaroLog

Краткое описание

Устройство BaroLog создано для длительного автономного мониторинга давления и температуры. Предполагаемое время работы устройства от 3х AA-батареек – 1 год.

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 ATmega8. 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.

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

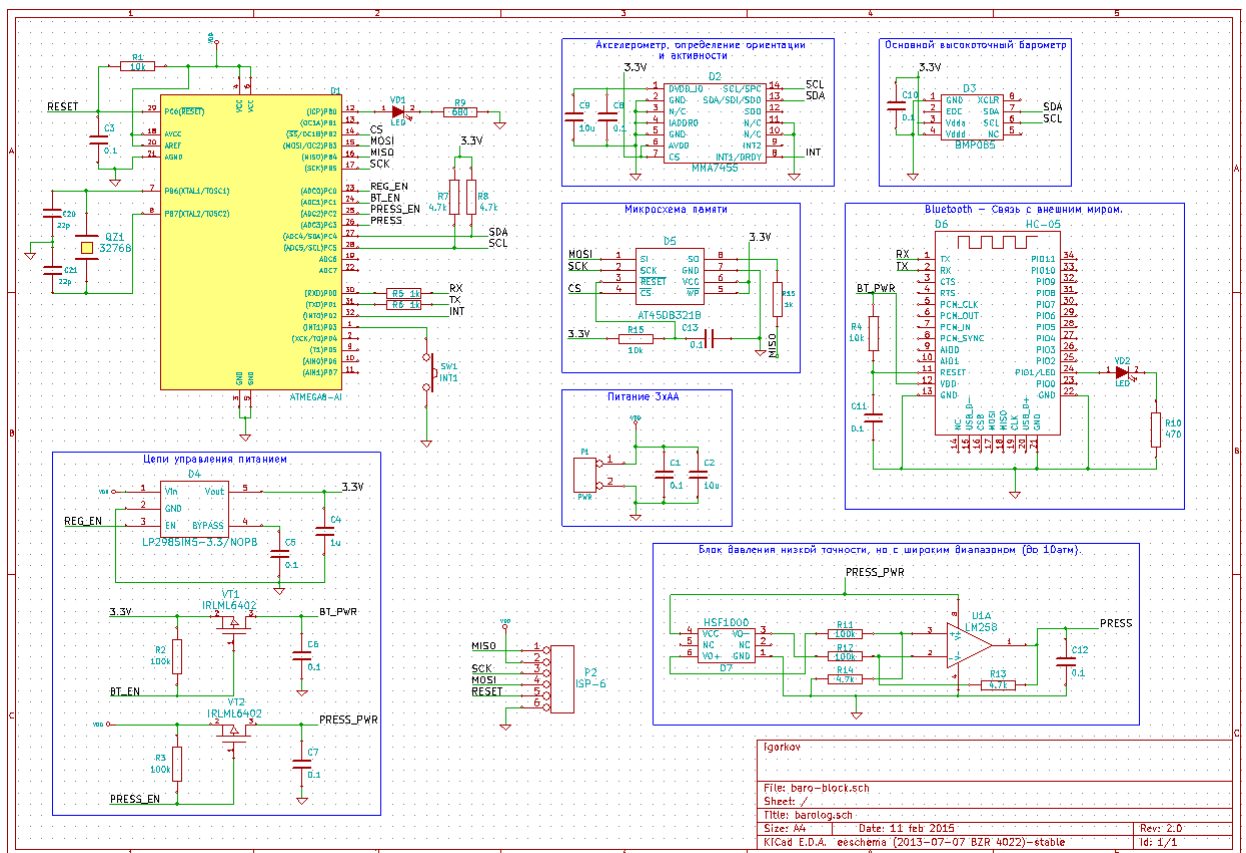


Рисунок 1 - Схема устройства

Ток потребления схемы:

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

Найденные ошибки-недочеты

Ошибки 1ой аппаратной версии (плата «baro-log 1.0»):

1. Требуется посадить корпус кварца на землю и добавить конденсаторы на ноги кварца. Наблюдались проблемы со стартом кварца.
2. Требуется добавить резистор в цепи MISO перед AT45 (иначе есть проблемы с прошивкой контроллера по ISP).
3. Перепутаны Сток-Исток (выводы 2-3) у транзисторов в цепи питания.
4. Не подключен вывод AVCC (6) у MMA7455.
5. Посадочное место QFP-32 имеет слишком большие контактные площадки.
6. Не предусмотрена кнопка (в будущей версии взять за основу кнопку от телефона – пластинка, которую можно сажать под скотч).

В сопутствующей документации представлена 2ая аппаратная версия со всеми исправлениями.

Список компонентов

Элемент	Значение	Корпус
C1	0.1	SMD0603
C2	10u	SMDB
C3	0.1	SMD0603
C4	1u	SMDA
C5	0.1	SMD0603
C6	0.1	SMD0603
C7	0.1	SMD0603
C8	0.1	SMD0603
C9	10u	SMDB
C10	0.1	SMD0603
C11	0.1	SMD0603
C12	0.1	SMD0603
C13	0.1	SMD0603
C20	22p	SMD0603
C21	22p	SMD0603
D1	ATMEGA8-AI	TQFP-32
D2	MMA7455	LGA-14
D3	BMP085	LGA-8
D4	LP2985IM5-3.3/NOPB	SOT-23-5
D5	AT45DB321B	SO-8W
D6	HC-05	Микросборка
D7	HSF1000	Нестандартный
P1	PWR	IDC-2
P2	ISP-6	IDC-6
QZ1	32768	
R1	10k	SMD0603
R2	100k	SMD0603
R3	100k	SMD0603
R4	10k	SMD0603
R5	1k	SMD0603
R6	1k	SMD0603
R7	4.7k	SMD0603

R8	4.7k	SMD0603
R9	680	SMD0603
R10	470	SMD0603
R11	100k	SMD0603
R12	100k	SMD0603
R13	4.7k	SMD0603
R14	4.7k	SMD0603
R15	10k	SMD0603
R16	1k	SMD0603
SW1	INT1 BUTTON	
U1	LM258	SO-8
VD1	LED	SMD0603
VD2	LED	SMD0603
VT1	IRLML6402	SOT-23
VT2	IRLML6402	SOT-23

Программная начинка

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

Так же имеется утилита для PC для работы с устройством. Она написана для Microsoft Windows на языке C. Сборка приложения осуществляется. Подробное описание

Программные доработки

Планируемые изменения (дальнейшее понижение потребления энергии):

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), 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:

```
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». Пин-код к нему 1234. После установки, устройство определяется в системе в виде виртуального COM-порта. Номер данного порта требуется знать.

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

закрыванием 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:

```
d:\barolog\pc>barutil.exe -h
BaroLog Util Version 0.1, 2015
igorkov / fsp@igorkov.org

barutil.exe [Params] [log.csv]
Params:
    -h    - show this help page
    -p N  - set port number
    -u    - set time
    -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
    -t    - self test
```

Параметры:

- `-h` – Вывод справки по программе.
- `-p N` – Задание номера виртуального COM-порта.
- `-u` – Установка на устройстве метки времени в UNIX-формате. Перед обновлением выводит текущую метку времени из устройства.
- `-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.
- `-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:\MY\barolog\pc>barutil.exe -p 42 -x 12345
...
```

- Устанавливаем время, интервал и запускаем режим самописца:

```
x:\MY\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:\MY\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:\MY\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
```

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:\MY\barolog\pc>barutil.exe -p 42 -e
COM-Port \\.COM42 opened...
```

```
All log data will be delete (y/n): y
Erase.....Answer (type): 0
Config erase Ok (type = 0)!
```

Отправляется команда очистки памяти. Команда длительная. Процесс работы команды сигнализируется символом ‘.’. После очистки памяти, так же стирается конфигурация из EEPROM-контроллера (в настоящий момент содержит информацию о интервале фиксации показаний).

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 °С	Напряжение В	Ускорение X	Уск. Y	Уск. Z

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

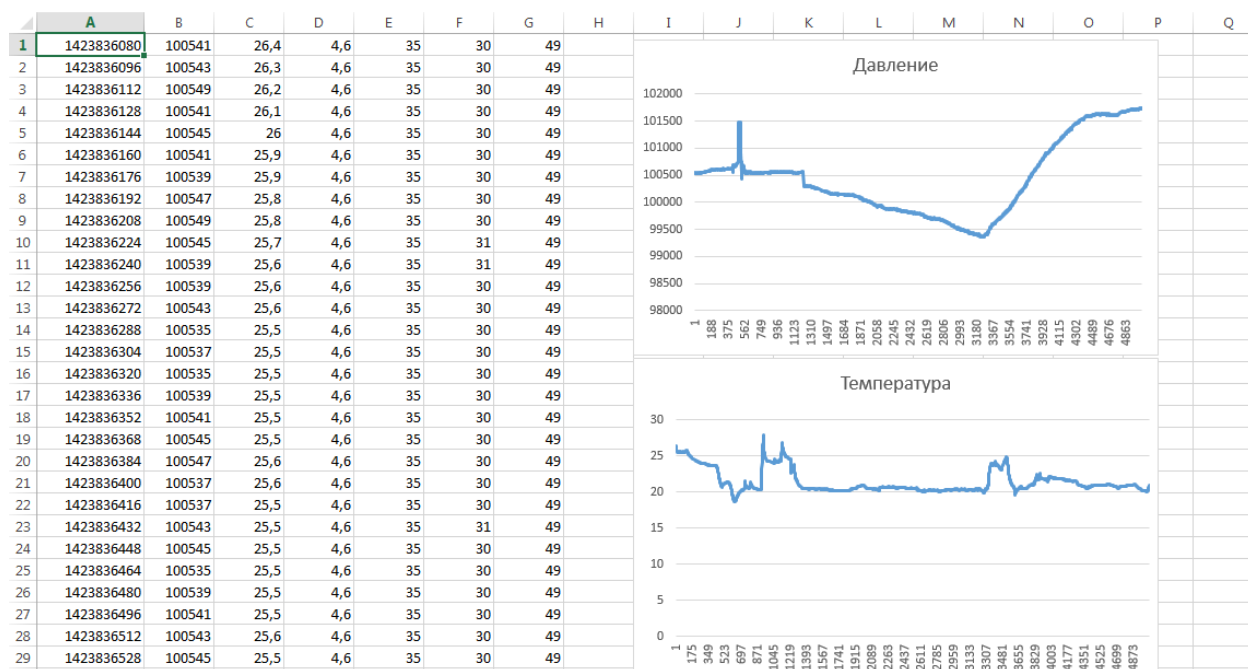


Рисунок 2 - Построение графиков

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
```

Здесь:

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

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: :0004XX0001020304\r	Чтение значения внутреннего секундного таймера (переменная 4 байта).
0x02	Запрос (уст. времени 0x04030201):	Запись значения таймера.

	:0204XX0001020304\r Ответ: :00000000\r	Передается 4 байта данных в формате little-endian. 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 секунд.
0x04	Запрос: :0403XX00AAAAAA\r :0404XX00AAAAABBB\r Ответ: :00AAXX000BBB...BB\r	Чтение записи лога. Передается номер записи для чтения (3 байта). Запрос: AAAAAA – Номер записи в логе. BBBB – 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 Ответ: :00000000\r	Запись блока данных в EEPROM. <i>Не рекомендуется использовать.</i> XX – CRC8 данных. AA – Размер данных с байтом адреса. BB – Адрес для записи. CC...CC – Данные для записи.
0x0B	Запрос: :05000000\r	Получение информации о AT45 FLASH.

	Ответ: :0009XX00AAAAABBBBCCCCDD DDDEE\r	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).
0x0C	Запрос: :0C000000\r Ответ: :0003XX00AAAAAA\r	Получение счетчика записей лога. XX – CRC8 данных AAAAAA – Количество записей в логе.
0x0D	Запрос: :0D000000\r Ответ: :00000000\r	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: 45200 9600, Pin: 1234, Name: barolog XXXX. XXXX – серийный номер в HEX-формате.
0x0E	Запрос: :0E000000\r Ответ: :0002XX00AAAA\r	Тестовое чтение температуры BMP085. XX – CRC8 данных. AAAA – Значение температуры в 0.1C.
0x0F	Запрос: :0F000000\r Ответ: :0004XX00AAAAAA\r	Тестовое чтение давления BMP085. XX – CRC8 данных. AAAAAAAA – Давление в Па.
0x10	Запрос: :10000000\r Ответ: :0001XX00AA\r	Тестовое чтение ADC, подключенного к HFS1000. <i>Не реализована!</i> XX – CRC8 данных. AA – Давление в 0.1Атм.
0x11		Зарезервировано.
0x12	Запрос: :12000000\r Ответ: :0001XX00AA\r	Тестовое получение статус-байта AT45. XX – CRC8 данных. AA – ID микросхемы AT45: <ul style="list-style-type: none"> • 0x0C – AT45DB011D • 0x14 – AT45DB021D • 0x1C – AT45DB041D • 0x24 – AT45DB081D • 0x2C – AT45DB161D • 0x34 – AT45DB321D • 0x3C – AT45DB642D
0x13	Запрос: :13000000\r Ответ: :0002XX00AAAA\r	Прочитать серийный номер. 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.