



**Программа для микроконтроллера MDR1219LGI
для реализации функции SPD (Serial Presence Detect)**

**Описание программы
ТСКЯ.431296.033СП2**

Содержание

1	Общее описание и область применения	3
1.1	Ограничения и отличия от стандарта JESD300-5B.01.....	3
2	Описание выводов SPD	5
2.1	V _{DDSPD}	5
2.2	V _{DDIO}	5
2.3	HSA	5
2.4	HSDA и HSCL	6
2.5	LSDA и LSCL	6
3	Адресация на шине и трансляция адресов	7
4	Функции работы с EEPROM и MR.....	8
4.1	Запись данных в SPD	8
4.2	Чтение данных из SPD	9
4.3	Ускоренное чтение данных из SPD	10
5	Доступ к устройствам на внутренней шине	11
5.1	Запись данных в локальные устройства.....	11
5.2	Чтение данных из локальных устройств.....	11
6	Правила чтения и записи в SPD	12
6.1	Чтение и запись EEPROM	12
6.2	Чтение и запись регистров MR	12
7	Защита EEPROM	13
7.1	Рекомендуемые шаги для записи профиля в SPD.....	13
8	Регистры MR.....	14
8.1	Атрибуты регистров.....	14
8.2	Карта регистров MR.....	14
8.3	Описание регистров MR.....	16
8.4	Формат регистров температурного датчика	25
9	Работа с температурным датчиком	27
10	Обновление встроенного ПО	28
10.1	Команда CMD_CODE_GET_FW_VERSION.....	28
10.2	Команда CMD_CODE_SET_OFFLINE_MODE.....	28
10.3	Команда CMD_CODE_RESET_OFFLINE_MODE	28
10.4	Команда CMD_CODE_RELOAD_NVMEM_TO_RAM.....	29
10.5	Команда CMD_CODE_RESET_NVMEM	29
10.6	Команда CMD_CODE_RESTART_FROM_BOOT	29
10.7	Команда CMD_CODE_RESET_DATA_BUF	29
10.8	Команда CMD_CODE_CLEAR_FW_BUF	29
10.9	Команда CMD_CODE_WRITE_FW_DATA	29
10.10	Команда CMD_CODE_UPDATE_MAIN_APP	30
10.11	Команда CMD_CODE_UPDATE_BOOT	30
10.12	Алгоритм обновления встроенного ПО	30
11	Справочные данные	32

1 Общее описание и область применения

Микросхемы MDR1219LGI поставляются с записанным программным обеспечением для функционирования микросхем как схемы последовательного детектирования (SPD – Serial Presence Detect).

Микросхемы MDR1219LGI с функцией SPD (далее – SPD) предназначены для модулей памяти DDR5 DIMM (Dual Inline Memory Modules) для персональных компьютеров, серверов и мобильных платформ.

SPD представляет собой хаб I2C и память EEPROM. Функция хаба позволяет уменьшить количество устройств на шине хоста (под хостом понимается чипсет или иной контроллер на материнской плате), снижая таким образом нагрузку на контроллер хоста. SPD транслирует по определенным правилам команды и данные между шиной I2C хоста и локальной шиной I2C модуля DDR5 DIMM, к которой могут быть подключены контроллер питания PMIC и другие микросхемы.

Память EEPROM содержит конфигурационную информацию для модулей памяти DRAM, такую как скорость доступа, размер и организация. Эту информацию записывает производитель модулей памяти. Память EEPROM организована как 1024 байт общей памяти, логически разделенных на 16 блоков по 64 байта. В любом из этих блоков может быть установлена защита от записи, которая осуществляется программным способом.

При поставке начальное состояние всех байт памяти EEPROM – 0xFF, защита от записи блоков памяти EEPROM не установлена.

SPD может работать в режимах онлайн или офлайн. Защита от записи может быть снята только в режиме офлайн. Выбор режима происходит при включении SPD на основании измерения сопротивления резистора, подключенного к выводу HSA. При установке модуля памяти в материнскую плату всегда будет выбран режим онлайн, при этом номинал сопротивления резистора, подключенного к выводу HSA (свой для каждого слота DDR5 DIMM), задает адрес устройства на шине I2C. Режим офлайн активируется при включении SPD с выводом HSA, замкнутым на землю.

1.1 Ограничения и отличия от стандарта JESD300-5B.01

Программная реализация функций SPD налагает следующие ограничения:

- работа только в режиме I2C (см. стандарт JESD300-5B.01, подраздел 2.4). I3C в целом не поддерживается, за исключением перечисленных ниже команд;
- поддерживаются следующие команды I3C:
 - SETHID CCC (см. стандарт JESD300-5B.01, п. 2.6.18.7);
 - DEVCTRL CCC (см. стандарт JESD300-5B.01, п. 2.6.18.8);
- контроль четности поддерживается;
- контроль ошибок пакета не поддерживается (относится к спецификации I3C);
- прерывания in-band не поддерживаются (прерывания in-band относятся к спецификации I3C);

- максимальная скорость по интерфейсу I2C 100 кГц;
- сброс по шине поддерживается (HSCL в 0 в течение 50 мс);
- во время выполнения внутренней операции с EEPROM SPD не отвечает по интерфейсу I2C. Запись в EEPROM может занимать до 600 мс. В течение этого времени при обращении к SPD или локальным устройствам будут возвращаться NACK;
- запись в регистры MR, которые хранятся в энергонезависимой памяти, аналогична записи в EEPROM по поведению на шине I2C и времени ожидания готовности SPD;
- единственное напряжение питания V_{DDSPD} (от 1,8 до 3,3 В). Выводы HSCL, HSDA, LSCA, LSDA имеют встроенные диоды на шину питания V_{DDSPD} (внутренние защитные диоды МК);
- функция температурного датчика доступна при напряжении питания V_{DDSPD} не менее 2,45 В, для программного обеспечения, начиная с версии 1.0.5.

2 Описание выводов SPD

Таблица 1 – Описание выводов SPD

Номер вывода	Обозначение вывода MDR1219LGI без SPD	Выводы SPD		
		Обозначение	Тип	Функциональное назначение
1	PA11	LSDA	IO	Локальная шина, SDA
2	PA10	HSDA	IO	Шина хоста, SDA
3	PA9/TDI	HSCL	IO	Шина хоста, SCL
4	PA0	LSCL	IO	Локальная шина, SCL
5	V _{CC}	V _{DDSPD}	POW	Питание
6	PA6/TCK	V _{SS}	GND	Общий
7	PA8/TMS	V _{DDIO}	POW	Питание локальной шины
8	PA7/TDO, PA3, PA5, SAR_AIN1	HSA	I	Адрес устройства на шине хоста
9 (металлизация обратной стороны корпуса)	GND	GND	GND	Общий

2.1 V_{DDSPD}

Вывод V_{DDSPD} используется для подачи напряжения питания. Значение напряжения питания задается в соответствии с ТСКЯ.431296.033СП для микросхем MDR1219LGI. Рекомендуется устанавливать конденсатор номиналом 0,1 мкФ между выводами V_{DDSPD} или V_{SS} как можно ближе к корпусу микросхемы для обеспечения стабильной работы микросхемы.

2.2 V_{DDIO}

Вывод V_{DDIO} используется только для программирования встроенной флеш-памяти микросхемы через интерфейс JTAG.

2.3 HSA

Вывод HSA используется для задания адреса SPD. Полный адрес устройства состоит из идентификаторов LID (local device ID) и HID (Host ID), как показано в таблице 2.

Таблица 2 – Адрес SPD

Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0
1	0	1	0	HID[2]	HID[1]	HID[0]	R/W
LID				HID			Read/write

Сопротивление резистора между выводами HSA и GND определяет значение HID, как показано в таблице 3.

Таблица 3 – Значения резистора между выводами HSA и GND

Сопротивление резистора, кОм	HID	Примечание
10,0	000	Точность 1 %
15,4	001	
23,2	010	
35,7	011	
54,9	100	
84,5	101	
127	110	
196	111	
0 (перемычка)	000	Режим офлайн. Активирована возможность снять защиту от записи

2.4 HSDA и HSCL

Шина I2C хоста. Вывод последовательных данных HSDA используется для двунаправленной передачи данных. Рекомендуется подключать вывод HSDA к любому другому устройству по принципу «монтажного или» через резистор к питанию. Вывод HSDA имеет встроенную подтяжку до питания порядка 76 кОм (установлена программно).

Вывод тактового сигнала HSCL имеет встроенную подтяжку до питания порядка 76 кОм (установлена программно).

2.5 LSDA и LSCL

Локальная шина I2C. Вывод последовательных данных LSDA используется для двунаправленной передачи данных. Вывод LSDA имеет встроенную подтяжку до питания порядка 76 кОм (установлена программно).

Вывод тактового сигнала LSCL имеет встроенную подтяжку до питания порядка 76 кОм (установлена программно).

3 Адресация на шине и трансляция адресов

Полный адрес SPD состоит из идентификаторов LID (local device ID) и HID (Host ID). Идентификатор LID определяется типом устройства. Для SPD LID = 1010b, а, например, для контроллера питания PMIC LID = 1001b. Идентификатор HID для SPD при старте определяется по значению сопротивления внешнего резистора, подключенного между выводом HSA и землей V_{SS} . Для локальных устройств, таких как PMIC, TS0, TS1 и др., HID по умолчанию равен 111b. Хост может назначить произвольный HID всем устройствам на определенной планке памяти при помощи команды SETHID CCC. До этого момента SPD производит специальную трансляцию адресов, чтобы в случае обращения по его HID, на локальную шину выдавался HID, равный 111b. Для этого SPD сравнивает биты идентификатора HID, считываемые с шины I2C хоста, с соответствующими битами своего HID. Если значения битов совпадают, SPD подменяет текущий бит и на локальную шину выдает значение «1», если не совпадает – «0». Таким образом только на целевой планке памяти локальные устройства захватят свой HID, равный 111b. Процесс трансляции адресов не происходит в двух случаях:

- хост выдает на шину СТАРТ, после которого следует адрес 7'h7E с W = 0;
- после того, как была принята команда SETHID CCC.

4 Функции работы с EEPROM и MR

Кроме EEPROM, хранящей профили памяти, SPD содержит набор регистров MR0 – MR127. Через интерфейс I2C доступны EEPROM и регистры MR для чтения и записи.

4.1 Запись данных в SPD

Для записи данных в EEPROM возможны два способа адресации. Первый заключается в том, что в команде непосредственно адресуется до 128 байт внутри одной страницы EEPROM, а страница выбирается битами MR11[2:0]. Формат такой команды записи данных приведен в таблице 4. Данный способ активен при MR11[3] = 0. Этот же формат команды используется для обращения к регистрам MR.

Таблица 4 – Пакет данных команды записи; Таблица 13, “MR11” [3] = ‘0’

СТАРТ	Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0	A/N	СТОП
S или Sr ¹	1	0	1	0	HID			W = 0	A	
	MemReg	Blk Addr [0]	Address [5:0]						A	
	Data								A	
	...								A	
	Data								A	
¹ В режиме I2C операции Start или Repeat Start, после которых передаётся адрес 7'h7E с W = 0, разрешены исключительно для отправки команд CCC (Control Command Code), допустимых в этом режиме. Любые другие операции, включая повторный Repeat Start, считаются некорректными										

При бите MemReg = 1 обращение происходит к памяти EEPROM. При MemReg = 0 обращение происходит к регистрам MR, при этом бит Blk Addr[0] трактуется как адресный бит Address[6]. Значение бита MR11[3] не играет роли при доступе к регистрам.

Если MR11[3] = 1, команда имеет формат, приведенный в таблице 5.

Таблица 5 – Пакет данных команды записи; Таблица 112, “MR11” [3] = ‘1’

СТАРТ	Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0	A/N	СТОП
S или Sr ¹	1	0	1	0	HID			W = 0	A	
	MemReg	Blk Addr [0]	Address [5:0]						A	
	0	0	0	0	Blk Addr [4:1] ²			A		
	Data								A	
	...								A	
	Data								A	
Sr или P										

¹ В режиме I2C операции Start или Repeat Start, после которых передаётся адрес 7'h7E с W = 0, разрешены исключительно для отправки команд CCC (Control Command Code), допустимых в этом режиме. Любые другие операции, включая повторный Repeat Start, считаются некорректными.

² Объем памяти устройства SPD5 Hub ограничен 1024 байтами. Устройство SPD5 Hub игнорирует бит Blk Addr [4]

В этом случае полный адрес EEPROM передается в команде, а MR11[2:0] не используются. Этот формат команды подходит только для EEPROM (бит MemReg должен быть равен 1).

4.2 Чтение данных из SPD

Для чтения данных из EEPROM, как и для записи данных, есть два способа адресации. Если MR11[3] = 0, в команде непосредственно адресуется до 128 байт внутри одной страницы EEPROM, а страница выбирается битами MR11[2:0]. Формат такой команды записи данных приведен в таблице 6. Этот же формат команды используется для обращения к регистрам MR.

Таблица 6 – Пакет данных команды чтения; Таблица 112, “MR11” [3] = ‘0’

СТАРТ	Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0	A/N	СТОП
S или Sr ¹	1	0	1	0	HID			W = 0	A	
	MemReg	Blk Addr [0]	Address [5:0]						A	
	1	0	1	0	HID			R = 1	A ²	
	Data								A	
	...								A	
	Data								N	

¹ В режиме I2C операции Start или Repeat Start, после которых передаётся адрес 7'h7E с W = 0, разрешены исключительно для отправки команд CCC (Control Command Code), допустимых в этом режиме. Любые другие операции, включая повторный Repeat Start, считаются некорректными.

² Если целевое устройство (Target) отвечает NACK на Repeat Start по любой причине, хост может повторно попытаться выполнить Repeat Start. Хост вправе повторять Repeat Start сколько угодно раз, пока устройство в конечном итоге не ответит ACK

При бите MemReg = 1 обращение происходит к памяти EEPROM. При MemReg = 0 обращение происходит к регистрам MR, при этом бит Blk Addr[0] трактуется как адресный бит Address[6]. Значение бита MR11[3] не играет роли при доступе к регистрам.

Если MR11[3] = 1, команда имеет формат, приведенный в таблице 7.

Таблица 7 – Пакет данных команды чтения; Таблица 112, “MR11” [3] = ‘1’

СТАРТ	Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0	A/N	СТОП
S или Sr ¹	1	0	1	0	HID			W = 0	A	
	MemReg	Blk Addr [0]	Address [5:0]						A	
	0	0	0	0	Blk Addr [4:1] ²			A		
Sr	1	0	1	0	HID			R = 1	A ³	
	Data								A	
	...								A	
	Data								N	Sr или P

¹ В режиме I2C операции Start или Repeat Start, после которых передаётся адрес 7'h7E с W = 0, разрешены исключительно для отправки команд CCC (Control Command Code),

допустимых в этом режиме. Любые другие операции, включая повторный Repeat Start, считаются некорректными.

² Объем памяти устройства SPD5 Hub ограничен 1024 байтами. Устройство SPD5 Hub игнорирует бит Blk Addr [4].

³ Если целевое устройство (Target) отвечает NACK на Repeat Start по любой причине, хост может повторно попытаться выполнить Repeat Start. Хост вправе повторять Repeat Start сколько угодно раз, пока устройство в конечном итоге не ответит ACK

В этом случае полный адрес EEPROM передается в команде, а MR11[2:0] не используются. Этот формат команды подходит только для EEPROM (MemReg должен быть равен 1).

4.3 Ускоренное чтение данных из SPD

Для сокращения времени повторяющегося считывания данных из одних и тех же MR (например, показаний температурного датчика) в SPD предусмотрен специальный режим «Default Read Address Pointer Mode». Этот режим включается если MR18[4] = 1. При этом начальный адрес, откуда будет происходить считывание, задается в MR18[3:2]. При этом команда чтения не включает в себя адрес и, таким образом, позволяет эффективнее использовать шину I2C. Формат команды приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Пакет данных команды чтения при работе в режиме «Default Read Address Pointer Mode»

СТАРТ	Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0	A/N	СТОП
S или Sr	1	0	1	0	HID			R = 0	A	
	Data								A	
	...								A	
	Data								A	Sr или P

Всякий раз, когда на шине наступает состояние СТОП, указатель адреса для чтения в этом режиме сбрасывается согласно MR18[3:2].

5 Доступ к устройствам на внутренней шине

5.1 Запись данных в локальные устройства

Хост выполняет запись в локальное устройство, используя следующий формат команды. Количество байт данных может быть произвольным. Идентификатор LID должен быть выбран соответственно адресуемому устройству. Во течение интервала ACK SPD транслирует состояние линии LSDA в HSDA. За исключением адреса, процедура записи данных в локальные устройства не отличается от записи в SPD.

Таблица 9 – Пакет данных команды записи (например, TS)

СТАРТ	Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0	A/N	СТОП
S или Sr ¹	LID				HID			W = 0	A	
	Address [7:0]								A	
	Data								A	
	Data								A	
	...								A	
	Data								A	
									A	Sr или P
¹ В режиме I2C операции Start или Repeat Start, после которых передаётся адрес 7'h7E с W = 0, разрешены исключительно для отправки команд CCC (Control Command Code), допустимых в этом режиме. Любые другие операции, включая повторный Repeat Start, считаются некорректными										

5.2 Чтение данных из локальных устройств

Хост считывает данные из локальных устройств, используя формат команды, изображенный на рисунке. В течение интервалов бит данных от устройства SPD транслирует состояние линии LSDA в HSDA. За исключением адреса, процедура чтения данных из локальных устройств не отличается от чтения из SPD.

Таблица 10 – Пакет данных команды чтения (напр., TS)

СТАРТ	Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0	A/N	СТОП
S или Sr ¹	0	0	1	0	HID			W = 0	A	
	Address [7:0]								A	
Sr	0	0	1	0	HID			R = 1	A ²	
	Data								A	
	Data								A	
	...								A	
	Data								N	Sr или P
¹ В режиме I2C операции Start или Repeat Start, после которых передаётся адрес 7'h7E с W = 0, разрешены исключительно для отправки команд CCC (Control Command Code), допустимых в этом режиме. Любые другие операции, включая повторный Repeat Start, считаются некорректными.										
³ Если целевое устройство (Target) отвечает NACK на Repeat Start по любой причине, хост может повторно попытаться выполнить Repeat Start. Хост вправе повторять Repeat Start сколько угодно раз, пока устройство в конечном итоге не ответит ACK										

6 Правила чтения и записи в SPD

Перед началом операции чтения или записи EEPROM текущая операция с регистрами должна оканчиваться состоянием СТОП. Аналогично, текущая операция с EEPROM должна оканчиваться состоянием СТОП перед доступом к регистрам.

6.1 Чтение и запись EEPROM

Операции записи в EEPROM выполняются в пределах границы адреса 16 байт. Как только последний байт был записан (по адресу 15 или 31 или 47 или 63), SPD более не помещает данные в EEPROM, не переходит на нулевой адрес блока, не закидывает запись внутри текущих 16 байт, не выставляет флаг ошибки. Для записи блока из 64 байт необходимо сформировать 4 команды записи по 16 байт.

Операции чтения EEPROM выполняются с любого адреса и не имеют ограничения в 16 байт. После чтения последнего байта по адресу 1023 SPD не переходит на нулевой адрес, при дальнейших чтениях в рамках этой же команды возвращает нули.

6.2 Чтение и запись регистров MR

Операции чтения регистров MR выполняются с любого адреса и не имеют ограничения в 16 байт. После чтения последнего байта по адресу 127 SPD не переходит на нулевой адрес, при дальнейших чтениях в рамках этой же команды возвращает нули.

7 Защита EEPROM

Каждый блок из 64 байт может быть защищен от записи. Каждому блоку соответствует свой бит в регистрах MR12 и MR13. Если соответствующий бит в 1, SPD не выполняет запись в данный блок. В режиме онлайн биты в этих регистрах могут быть только установлены в 1, но не сброшены. В режиме офлайн регистры MR12 и MR13 могут быть записаны произвольным значением. В случае, если в режиме онлайн выполняется попытка записать значение 0 в какой-либо бит MR12 или MR13, запись в данный бит игнорируется и устанавливается флаг MR52[5]. В случае, если выполняется попытка записать что-либо в защищенный блок, такая запись игнорируется и устанавливается флаг MR52[6]. Регистры MR12 и MR13 сохраняются в энергонезависимой памяти.

7.1 Рекомендуемые шаги для записи профиля в SPD

- 1 Подключить вывод HSA непосредственно на землю V_{SS} .
- 2 Подать питание на SPD. SPD измерит сопротивление на выводе HSA и перейдет в режим офлайн, сопровождая это установкой бита MR48[2]. SPD будет иметь идентификатор HID = 0x0.
- 3 Записать значения 0x00 в регистры MR12 и MR13 (снять защиту от записи).
- 4 Записать данные профиля в EEPROM.
- 5 Установить необходимые биты MR12 и MR13 в 1 для защиты записанных секторов от записи.

8 Регистры MR

8.1 Атрибуты регистров

Таблица 11 – Основные атрибуты регистров

Наименование атрибута	Обозначение атрибута	Описание атрибута
Чтение	R	Данный бит доступен только для чтения. Запись в него игнорируется
Чтение\запись	RW	Данный бит доступен для чтения и записи
Запись	W	Данный бит доступен только для записи
Зарезервировано	RV	Данный бит зарезервирован для будущего использования, и его значение не должно изменяться программным обеспечением. При чтении бит всегда возвращает 0. При записи программное обеспечение должно сохранять считанное значение, если не указано иное

Некоторые атрибуты регистров дополнительно настраиваются модификаторами атрибутов, см. таблицу 12.

Таблица 12 – Модификаторы атрибутов регистров

Наименование атрибута	Обозначение атрибута	Описание атрибута
Запись 1	1O	Данный бит поддерживает только установку (запись 1), сброс (запись 0) невозможен
Защищенный	P	Защищённый бит (парольные регистры TBD). Запись требует предварительного ввода пароля
Постоянный	E	Постоянный бит (сохраняет значение после сброса)

8.2 Карта регистров MR

Таблица 13 – Регистры SPD

Регистр	Адрес регистра	Атрибуты	Описание
MR0	0x00	ROE	Тип устройства. Старший байт
MR1	0x01	ROE	Тип устройства. Младший байт
MR2	0x02	ROE	Ревизия устройства SPD
MR3	0x03	ROE	Код производителя устройства SPD, байт 0
MR4	0x04	ROE	Код производителя устройства SPD, байт 1
MR5	0x05	ROE	Поддерживаемые функции
MR6	0x06	ROE	Время выполнения записи в NVMEM
MR7 ... MR10	0x07 ... 0x0A	RV	Зарезервирован
MR11	0x0B	RW	Конфигурация для legacy режима I2C
MR12	0x0C	RWE	Защита от записи блоков NVMEM [7:0]

Регистр	Адрес регистра	Атрибуты	Описание
MR13	0x0D	RWE	Защита от записи блоков NVMEM [15:8]
MR14	0x0E	ROE	Конфигурация IO интерфейсов
MR15	0x0F	RV	Зарезервирован
MR16 ... MR17	0x10 ... 0x11	RV	Зарезервирован
MR18	0x12	RO, RW	Конфигурация устройства SPD
MR19	0x13	1O	Сброс флагов температурного датчика
MR20	0x14	1O	Сброс флагов ошибок
MR21 ... MR25	0x15 ... 0x19	RV	Зарезервирован
MR26	0x1A	RW	Конфигурация температурного датчика
MR27	0x1B	1O	Конфигурация прерываний
MR28	0x1C	RW	Температурный датчик – верхний предел температуры, младший байт
MR29	0x1D	RW	Температурный датчик – верхний предел температуры, старший байт
MR30	0x1E	RW	Температурный датчик – нижний предел температуры, младший байт
MR31	0x1F	RW	Температурный датчик – нижний предел температуры, старший байт
MR32	0x20	RW	Температурный датчик – критический верхний предел температуры, младший байт
MR33	0x21	RW	Температурный датчик – критический верхний предел температуры, старший байт
MR34	0x22	RW	Температурный датчик – критический нижний предел температуры, младший байт
MR35	0x23	RW	Температурный датчик – критический нижний предел температуры, старший байт
MR36 ... MR47	0x24 ... 0x2F	RV	Зарезервирован
MR48	0x30	RO	Статус устройства
MR49	0x31	RO	Значение температурного датчика, младший байт
MR50	0x32	RO	Значение температурного датчика, старший байт
MR51	0x33	RO	Статус температурного датчика
MR52	0x34	RO	Статус ошибок
MR53 ... MR125	0x35 ... 0x7D	RV	Зарезервирован
MR126	0x7E	RW	Команда / статус при обновлении встроенного ПО
MR127	0x7F	RW	Данные при обновлении встроенного ПО

8.3 Описание регистров MR

Таблица 14 – Описание регистра MR0

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:0	ROE	0x51	MSB_DEV_TYPE Тип устройства – SPD5 Hub с температурным датчиком

Таблица 15 – Описание регистра MR1

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:0	ROE	0x18	LSB_DEV_TYPE Тип устройства – SPD5 Hub с температурным датчиком

Таблица 16 – Описание регистра MR2

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:6	RV	0	Зарезервировано
5:4	ROE	–	DEV_REV_MAJOR Старший номер версии устройства: 00 = ревизия 1; 01 = ревизия 2; 10 = ревизия 3; 11 = ревизия 4
3:1	ROE	–	DEV_REV_MINOR Младший номер версии устройства: 000 = ревизия 0; 001 = ревизия 1; ... 111 = ревизия 7
0	RV	0	Зарезервировано

Таблица 17 – Описание регистра MR3

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:0	ROE	0x4D	VENDOR_ID_BYTE0 Фиксированное значение для Миландр

Таблица 18 – Описание регистра MR4

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:0	ROE	0x49	VENDOR_ID_BYTE1 Фиксированное значение для Миландр

Таблица 19 – Описание регистра MR5

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:2	RV	0	Зарезервировано
1	ROE	0	TS_SUPPORT Наличие температурного датчика: 0 = нет; 1 = есть
0	ROE	1	HUB_SUPPORT Функция хаба: 0 = нет; 1 = есть

Таблица 20 – Описание регистра MR6

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:4	ROE	1110	WR_REC_UNIT Время выполнения записи в NVMEM: 0000 = 0; 0001 = 1; 0010 = 2; 0011 = 3; 0100 = 4; 0101 = 5; 0110 = 6; 0111 = 7; 1000 = 8; 1001 = 9; 1010 = 10; 1011 = 50; 1100 = 100; 1101 = 200; 1110 = 500; 1111 = зарезервировано
3:2	RV	0	Зарезервировано
1:0	ROE	10	WR_REC_UNIT_TIME Временные единицы: 00 = нс; 01 = мкс; 10 = мс; 11 = зарезервировано

Таблица 21 – Описание регистра MR11

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:4	RV	0	Зарезервировано
3	RW	0	I2C_LEGACY_MODE_ADDR Адресация в режиме I2C: 0 = 1 байт адреса в команде (страница выбирается полем I2C_LEGACY_MODE_ADDR_POINTER в этом же регистре); 1 = 2 байта адреса в команде
2:0	RW	000	I2C_LEGACY_MODE_ADDR_POINTER Указатель страницы в режиме адресации с одним адресным байтом: 000 = страница 0 (адреса 0x00 .. 0x7F); 001 = страница 1 (адреса 0x80 .. 0xFF); ... 111 = страница 7 (адреса 0x380 ... 0x3FF)

Таблица 22 – Описание регистра MR12

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7	RWE	0	WP_BLK_7 Защита от записи блока 7: 0 = нет защиты; 1 = защита
6	RWE	0	WP_BLK_6 Защита от записи блока 6: 0 = нет защиты; 1 = защита
5	RWE	0	WP_BLK_5 Защита от записи блока 5: 0 = нет защиты; 1 = защита
4	RWE	0	WP_BLK_4 Защита от записи блока 4: 0 = нет защиты; 1 = защита
3	RWE	0	WP_BLK_3 Защита от записи блока 3: 0 = нет защиты; 1 = защита
2	RWE	0	WP_BLK_2 Защита от записи блока 2: 0 = нет защиты; 1 = защита

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
1	RWE	0	WP_BLK_1 Защита от записи блока 1: 0 = нет защиты; 1 = защита
0	RWE	0	WP_BLK_0 Защита от записи блока 0: 0 = нет защиты; 1 = защита

Таблица 23 – Описание регистра MR13

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7	RWE	0	WP_BLK_15 Защита от записи блока 15: 0 = нет защиты; 1 = защита
6	RWE	0	WP_BLK_14 Защита от записи блока 14: 0 = нет защиты; 1 = защита
5	RWE	0	WP_BLK_13 Защита от записи блока 13: 0 = нет защиты; 1 = защита
4	RWE	0	WP_BLK_12 Защита от записи блока 12: 0 = нет защиты; 1 = защита
3	RWE	0	WP_BLK_11 Защита от записи блока 11: 0 = нет защиты; 1 = защита
2	RWE	0	WP_BLK_10 Защита от записи блока 10: 0 = нет защиты; 1 = защита
1	RWE	0	WP_BLK_9 Защита от записи блока 9: 0 = нет защиты; 1 = защита
0	RWE	0	WP_BLK_8 Защита от записи блока 8: 0 = нет защиты; 1 = защита

Таблица 24 – Описание регистра MR14

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:6	RV	0	Зарезервировано
5	ROE	0	LOCAL_INF_PULLUP_CONF Включение встроенных в MCU резисторов-подтяжек к питанию для локальной шины I2C: 0 = подтяжки включены; 1 = выключены
4:0	RV	0	Зарезервировано

Таблица 25 – Описание регистра MR18

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7	RV	0	Зарезервировано
6	RW	0	PAR_DIS Отключение контроля четности (Т бит): 0 = контроль четности включен; 1 = контроль четности выключен
5	RO	0	INF_SEL Текущий активный интерфейс: 0 = I2C; 1 = I3C Basic Protocol
4	RW	0	DEF_RD_ADDR_POINT_EN Разрешение ускоренного чтения данных: 0 = выключено; 1 = включено (адрес регистра для чтения выбирается битами [3:2] этого же регистра)
3:2	RW	00	DEF_RD_ADDR_POINT_START Стартовый адрес для ускоренного чтения данных: 00 = регистр MR49; 01 = зарезервировано; 10 = зарезервировано; 11 = зарезервировано
1	RW	0	DEF_RD_ADDR_POINT_BL Размер данных для ускоренного чтения (для контроля целостности пакета): 0 = 2 байта; 1 = 4 байта
0	RV	0	Зарезервировано

Таблица 26 – Описание регистра MR19

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:4	RV	0	Зарезервировано
3	1O	0	CLR_TS_CRIT_LOW Сброс флага критического нижнего порога: 0 = нет изменений; 1 = сброс бита MR51[3]
2	1O	0	Сброс флага критического верхнего порога: 0 = нет изменений; 1 = сброс бита MR51[2]
1	1O	0	Сброс флага нижнего порога: 0 = нет изменений; 1 = сброс бита MR51[1]
0	1O	0	Сброс флага верхнего порога: 0 = нет изменений; 1 = сброс бита MR51[0]

Таблица 27 – Описание регистра MR20

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7	RV	0	Зарезервировано
6	1O	0	CLR_WR_NVM_BLK_ERROR Сброс ошибки записи в защищенный сектор: 0 = MR[52] без изменений; 1 = сброс бита MR52[6]
4:2	RV	0	Зарезервировано
1	RV	0	Зарезервировано
0	1O	0	CLR_PAR_ERROR Сброс ошибки контроля четности: 0 = MR[52] без изменений; 1 = сброс бита MR52[0]

Таблица 28 – Описание регистра MR26

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:1	RV	0	Зарезервировано
0	RW	0	DIS_TS Выключение температурного датчика: 0 = температурный датчик включен; 1 = температурный датчик выключен

Таблица 29 – Описание регистра MR27

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7	10	0	CLR_GLOBAL Общий сброс флагов: 0 = нет изменений; 1 = сброс MR48[7], MR51[3:0], MR52[7:5, 3, 1:0]
6:5	RV	0	Зарезервировано
4	RV	0	Зарезервировано
3	RV	0	Зарезервировано
2	RV	0	Зарезервировано
1	RV	0	Зарезервировано
0	RV	0	Зарезервировано

Таблица 30 – Описание регистра MR28

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:0	RW	0x70	Температурный датчик – верхний предел температуры, младший байт. Регистры MR28 и MR29 формируют 16-битное значение верхнего предела для температурного датчика

Таблица 31 – Описание регистра MR29

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:0	RW	0x03	Температурный датчик – верхний предел температуры, старший байт. Регистры MR28 и MR29 формируют 16-битное значение верхнего предела для температурного датчика

Таблица 32 – Описание регистра MR30

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:0	RW	0	Температурный датчик – нижний предел температуры, младший байт. Регистры MR30 и MR31 формируют 16-битное значение нижнего предела для температурного датчика

Таблица 33 – Описание регистра MR31

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:0	RW	0	Температурный датчик – нижний предел температуры, старший байт. Регистры MR30 и MR31 формируют 16-битное значение нижнего предела для температурного датчика

Таблица 34 – Описание регистра MR32

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:0	RW	0x50	Температурный датчик – критический верхний предел температуры, младший байт. Регистры MR32 и MR33 формируют 16-битное значение критического верхнего предела для температурного датчика

Таблица 35 – Описание регистра MR33

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:0	RW	0x05	Температурный датчик – критический верхний предел температуры, старший байт. Регистры MR32 и MR33 формируют 16-битное значение критического верхнего предела для температурного датчика

Таблица 36 – Описание регистра MR34

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:0	RW	0	Температурный датчик – критический нижний предел температуры, младший байт. Регистры MR34 и MR35 формируют 16-битное значение критического нижнего предела для температурного датчика

Таблица 37 – Описание регистра MR35

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:0	RW	0	Температурный датчик – критический нижний предел температуры, старший байт. Регистры MR34 и MR35 формируют 16-битное значение критического нижнего предела для температурного датчика

Таблица 38 – Описание регистра MR48

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7	RV	0	Зарезервировано
6:4	RV	0	Зарезервировано
3	RV	0	Зарезервировано
2	RO	0	WP_OVERRIDE_STATUS Разрешение записи в регистры MR12 и MR13 защиты блоков NVMEM: 0 = запись в регистры MR12 и MR13 запрещена; 1 = запись в регистры MR12 и MR13 разрешена
1:0	RV	0	Зарезервировано

Таблица 39 – Описание регистра MR49

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:0	RO	0	Значение температурного датчика, младший байт

Таблица 40 – Описание регистра MR50

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:0	RO	0	Значение температурного датчика, старший байт

Таблица 41 – Описание регистра MR51

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:4	RV	0	Зарезервировано
3	RO	0	TS_CRIT_LOW_STATUS Флаг снижения температуры ниже критического нижнего порога: 0 = температура выше критического нижнего предела; 1 = температура ниже критического нижнего предела
2	RO	0	TS_CRIT_HIGH_STATUS Флаг повышения температуры выше критического верхнего порога: 0 = температура ниже критического верхнего предела; 1 = температура выше критического верхнего предела
1	RO	0	TS_LOW_STATUS Флаг снижения температуры ниже нижнего порога: 0 = температура выше нижнего предела; 1 = температура ниже нижнего предела
0	RO	0	TS_HIGH_STATUS Флаг повышения температуры выше верхнего порога: 0 = температура ниже верхнего предела; 1 = температура выше верхнего предела

Таблица 42 – Описание регистра MR52

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7	RO	0	BUSY_ERROR_STATUS Флаг попытки чтения или записи SPD во время внутренней операции: 0 = нет ошибок; 1 = была попытка чтения или записи, пока SPD занято внутренней операцией
6	RO	0	WR_NVM_BLK_ERROR_STATUS Флаг попытки записи в защищенный блок памяти: 0 = нет ошибок; 1 = была попытка записи в защищенный блок памяти
5	RO	0	WR_NVM_PRO_REG_ERROR_STATUS Флаг попытки записи в регистры защиты памяти: 0 = нет ошибок; 1 = была попытка сбросить биты в регистрах защиты памяти MR12 или MR13 не в офлайн режиме
4:2	RV	0	Зарезервировано
1	RV	0	Зарезервировано
0	RO	0	PAR_ERROR_STATUS Флаг ошибки четности: 0 = нет ошибок; 1 = была ошибка четности

Таблица 43 – Описание регистра MR126

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:0	RW	0	Команда / статус при обновлении встроенного ПО

Таблица 44 – Описание регистра MR127

Биты	Атрибуты	Значение по умолчанию	Описание
7:0	RW	0	Данные при обновлении встроенного ПО

8.4 Формат регистров температурного датчика

Показания и пороги температурного датчика представлены 16-разрядными числами, хранящимися в смежных регистрах. Назначение битов приведено в таблице 45. Зарезервированные биты считываются из SPD как «0» и SPD также ожидает «0» в этих разрядах при записи. Формат позволяет представить результат измерения и пороги как знаковые числа от минус 256,0 до плюс 255,75 с дискретностью 0,25 °C.

Таблица 45 – Формат регистров термодатчика

Регистр	Байт	7	6	5	4	3	2	1	0
MR[x]	Младший	8	4	2	1	0,5	0,25	RSVD	RSVD
MR[x + 1]	Старший	RSVD	RSVD	RSVD	Sign	128	64	32	16

9 Работа с температурным датчиком

Функция температурного датчика реализована в программном обеспечении начиная с версии 1.0.5 и выше. SPD периодически (с частотой 20 Гц) считывает показания встроенного температурного сенсора, сравнивает результат измерения с заданными порогами и записывает измеренное значение температуры и флаги превышения порогов в соответствующие регистры. Флаги превышения порогов в регистре MR51 только устанавливаются, сбросить их можно путем записи «1» в соответствующие разряды регистра MR19.

Температурный датчик работоспособен при напряжении питания не менее 2,45 В. Для его наилучших характеристик рекомендуется использовать напряжение питания 3,3 В. При инициализации температурного датчика измеряется напряжение питания SPD, если оно выше допустимого порога, работа температурного датчика разрешается, и в регистре MR5 устанавливается бит TS_SUPPORT. В противном случае работа термодатчика запрещается и бит TS_SUPPORT сбрасывается. Процедура оценки напряжения питания происходит при каждом включении SPD после подачи питания, а также при установке и последующем сбросе бита DIS_TS в регистре MR26. Температурный датчик обрабатывается в состоянии IDLE на I2C шине. При детектировании состояния START обработка температурного датчика прекращается до наступления состояния STOP, даже если хост обращается не к SPD, а к локальным устройствам (например, PMIC). Рекомендуется считывать результат измерения температурного датчика из регистров MR49, MR50 за одну операцию на шине (bulk read).

10 Обновление встроенного ПО

В SPD предусмотрен механизм обновления встроенного ПО. Для этого используются регистры MR126 и MR127. Данные, записываемые в MR126, SPD воспринимает как команды, а в MR127 – как данные. Если команда предполагает возврат результата, он считывается через MR126. Команда выполняется при наступлении состояния СТОП на шине I2C. При записи данных в регистр MR127 произвольное количество байт может быть записано в рамках одной операции (до состояния СТОП). Определен следующий список команд:

<code>CMD_CODE_GET_FW_VERSION</code>	= 0x00
<code>CMD_CODE_SET_OFFLINE_MODE</code>	= 0x01
<code>CMD_CODE_RESET_OFFLINE_MODE</code>	= 0x02
<code>CMD_CODE_RELOAD_NVMEM_TO_RAM</code>	= 0x03
<code>CMD_CODE_RESET_NVMEM</code>	= 0x04
<code>CMD_CODE_RESTART_FROM_BOOT</code>	= 0x05
<code>CMD_CODE_RESET_DATA_BUF</code>	= 0xC0
<code>CMD_CODE_CLEAR_FW_BUF</code>	= 0xC1
<code>CMD_CODE_WRITE_FW_DATA</code>	= 0xC2
<code>CMD_CODE_UPDATE_MAIN_APP</code>	= 0xC3
<code>CMD_CODE_UPDATE_BOOT</code>	= 0xC4

И возвращаемых кодов ошибок:

<code>CMD_STATUS_OK</code>	= 0x00
<code>CMD_STATUS_OVERFLOW</code>	= 0x81
<code>CMD_STATUS_CRC_ERROR</code>	= 0x82
<code>CMD_STATUS_VERIF_ERROR</code>	= 0x83
<code>CMD_STATUS_OTHER_ERROR</code>	= 0x84

10.1 Команда `CMD_CODE_GET_FW_VERSION`

Получение ревизии встроенного ПО. Полная версия ПО состоит из major версии (MR2[5:4]), minor версии (MR2[3:1]) и ревизии. Для считывания ревизии нужно записать данную команду в регистр MR126, сгенерировать состояние СТОП на шине и затем прочесть регистр MR126.

10.2 Команда `CMD_CODE_SET_OFFLINE_MODE`

Принудительная установка offline режима. SPD возвращает ненулевое значение в MR126.

10.3 Команда `CMD_CODE_RESET_OFFLINE_MODE`

Принудительная установка online режима. SPD возвращает нулевое значение в MR126.

10.4 Команда CMD_CODE_RELOAD_NVMEM_TO_RAM

Перезагрузка буфера данных профиля из EEPROM. При записи данных EEPROM данные сначала сохраняются в RAM, а затем копируются в EEPROM. Эта команда полезна при верификации записанных данных, позволяя убедиться, что данные действительно записаны в EEPROM. SPD возвращает нулевое значение в MR126.

10.5 Команда CMD_CODE_RESET_NVMEM

Принудительный сброс и очистка памяти EEPROM, хранящей профиль SPD. При успешном выполнении команды SPD возвращает нулевое значение в MR126.

10.6 Команда CMD_CODE_RESTART_FROM_BOOT

Программная перезагрузка SPD. SPD возвращает нулевое значение в MR126 (MR126 имеет значение 0x00 по умолчанию).

10.7 Команда CMD_CODE_RESET_DATA_BUF

Загрузка внутренней программы SPD происходит блоками по 4096 байт (за исключением последнего, который может содержать меньше данных). Эти данные, записываемые через регистр MR127, сохраняются в промежуточном буфере в ОЗУ. Данная команда обнуляет указатель адреса этого буфера, гарантируя его заполнение с начала. Блок данных также сопровождается адресом, по которому он должен быть записан в память программ и контрольной суммой CRC32. Команда CMD_CODE_RESET_DATA_BUF должна выполняться перед записью каждого очередного блока 4096 байт. SPD возвращает нулевое значение в MR126.

10.8 Команда CMD_CODE_CLEAR_FW_BUF

Загрузка внутренней программы SPD происходит в два этапа. Первым этапом программа загружается блоками по 4096 байт во временный буфер во FLASH (через промежуточный буфер в ОЗУ). Когда программа полностью загружена, вторым этапом происходит ее копирование в рабочую область программ. Команда CMD_CODE_CLEAR_FW_BUF подготавливает временный буфер во FLASH, выполняя его стирание и должна выполняться один раз в начале процедуры обновления ПО. При успешном выполнении команды SPD возвращает нулевое значение в MR126.

10.9 Команда CMD_CODE_WRITE_FW_DATA

Копирование блока данных 4096 байт (может быть меньше для последнего блока) из промежуточного буфера в ОЗУ во временный буфер во FLASH. Данная команда должна выполняться после записи каждого очередного блока 4096 байт. При успешном выполнении команды SPD возвращает нулевое значение в MR126.

10.10 Команда CMD_CODE_UPDATE_MAIN_APP

Запуск второго этапа обновления ПО – процесса копирования программы из временного буфера во FLASH в рабочую область FLASH, соответствующую основной программе. После окончания копирования SPD автоматически перезагружается и начинает выполнять новую программу. При успешном выполнении команды SPD возвращает нулевое значение в MR126 (MR126 имеет значение 0x00 по умолчанию).

10.11 Команда CMD_CODE_UPDATE_BOOT

Запуск второго этапа обновления ПО – процесса копирования программы из временного буфера во FLASH в рабочую область FLASH, соответствующую загрузчику. После окончания копирования SPD автоматически перезагружается и начинает выполнять новую программу. При успешном выполнении команды SPD возвращает нулевое значение в MR126 (MR126 имеет значение 0x00 по умолчанию).

10.12 Алгоритм обновления встроенного ПО

Процедура обновления встроенного ПО показана на рисунке 1. Под встроенное ПО зарезервировано 128 кБ FLASH памяти. 32-разрядный адрес блока записывается в SPD в формате MSB first, 32-разрядное значение CRC32 также записывается MSB first. Первый блок имеет стартовый адрес 0x0000, второй 0x1000 и так далее. Адрес блока должен быть выровнен на границу 4 кБ. CRC32 рассчитывается для блока данных и 4-байтового стартового адреса по стандартному полиному CRC-32-IEEE 802.3: $x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^2+x^1+x^0$. Готовность SPD определяется по подтверждению ACK (пока SPD выполняет внутреннюю операцию с памятью, оно возвращает NACK) либо по таймауту.

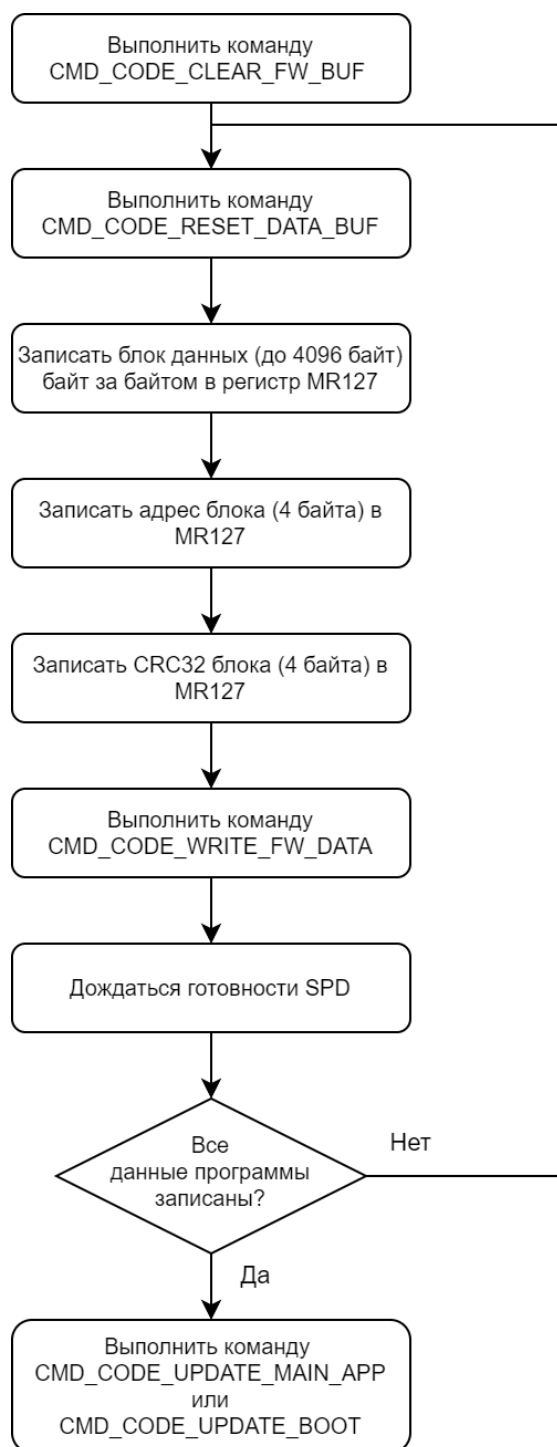


Рисунок 1 – Алгоритм обновления ПО

При выполнении каждой операции следует проверять статус выполнения команды, возвращаемый через MR126 и в случае ошибки начинать процесс обновления ПО сначала. До отправки команды CMD_CODE_UPDATE_MAIN_APP или CMD_CODE_UPDATE_BOOT различные сбои передачи данных, ошибки CRC или пропадание питания не могут повлиять на работоспособность устройства. Однако с момента отправки указанных команд (фактически команды начинают выполняются при наступлении состояния СТОП) и до момента, когда SPD вновь готово к работе (отвечает ACK по шине I2C), следует гарантировать бесперебойное питание устройства.

11 Справочные данные

Таблица 46 – Временные параметры SPD

Наименование параметра, единица измерения	Буквенное обозначение параметра	Норма параметра		
		не менее	типовое	не более
Длительность цикла записи, мс	t_w	—	3	600
Время готовности принять первую команду по интерфейсу I2C после подачи питания, мс	t_{INIT}^*	—	200	—
* Измеряется в соответствии с рисунком 2				

Рисунок 2 – Время готовности принять первую команду, t_{INIT}
