



Техническое описание программного обеспечения «SerialStar»



Board Revision	MBee-868-x.x
Product Name	MBee-868-x.x
Doc Name	SerialStar
Revision Date	20.08.2020
Revision Number	31

1. ОГЛАВЛЕНИЕ

1.	Оглавление	1
2.	Общие сведения	4
2.1.	Назначение программного обеспечения «SerialStar»	4
2.2.	Поддерживаемые топологии сети	4
2.3.	Адресация	4
2.3.1.	ID сети	5
2.3.2.	ID системы	5
2.3.3.	ID модема	5
2.4.	Режимы работы линий ввода/вывода	5
2.4.1.	DISABLED (0)	7
2.4.2.	NOT AVAILABLE (1)	7
2.4.3.	ADC (2)	7
2.4.4.	DIGITAL INPUT (3)	7
2.4.5.	DIGITAL OUTPUT LOW (4)	7
2.4.6.	DIGITAL OUTPUT HIGH (5)	7
2.4.7.	UART TX (6)	8
2.4.8.	UART RX (7)	8
2.4.9.	UART CTS (8)	8
2.4.10.	UART RTS (9)	8
2.4.11.	SYSTEM LED (10)	8
2.4.12.	SLEEP REQUEST (11)	8
2.4.13.	SLEEP STATUS (12)	8
2.4.14.	COUNTER INPUT (13, 14)	9
2.4.15.	WAKEUP INPUT FALLING EDGE (15)	9
2.4.16.	WAKEUP INPUT RISING EDGE (16)	9
2.4.17.	PWM (17, 18, 19, 20)	9
2.4.18.	RS485 DIRECTION (21)	9
2.4.19.	DIGITAL PASSING (22)	9
2.4.20.	DIGITAL PASSING INVERTED (23)	9
2.4.21.	ANALOG PASSING (24, 25, 26, 27)	10
2.5.	Работа линий ввода/вывода в режиме «проброса портов»	10
3.	Режимы работы модема	12
3.1.	Командный режим	12
3.2.	Прозрачный режим	12
3.3.	Пакетный режим	12
3.4.	Пакетный режим с escape-символами	13
3.5.	Режимы пониженного энергопотребления	13
3.5.1.	Внешнее управление режимом сна	14
3.5.2.	Циклический режим сна	14
3.5.3.	Комбинированный режим сна	15
4.	Командный интерфейс	16
4.1.	Формат AT-команд	16
4.2.	Список поддерживаемых AT-команд	17
4.2.1.	Структура ответа на команду VR	20

5.	Работа в пакетном режиме	22
5.1.	Общий формат фрейма в пакетном режиме	22
5.2.	Пакетный режим с escape-символами.....	23
5.2.1.	Пример пакета в режиме с escape-символами.....	23
5.3.	API-фрейм для передачи данных на UART удаленного модема с управлением режимом передачи/подтверждения (0x01, 0x10)	24
5.3.1.	Пример API-фрейма 0x01, 0x10	24
5.4.	API-фрейм с локальной AT-командой и немедленным применением изменений без сохранения их в энергонезависимой памяти (0x07).....	26
5.4.1.	Пример API-фрейма 0x07	26
5.5.	API-фрейм с локальной AT-командой и немедленным применением изменений с сохранением их в энергонезависимой памяти (0x08)	27
5.5.1.	Пример API-фрейма 0x08.....	27
5.6.	API-фрейм с локальной AT-командой с помещением измененного значения в очередь (0x09).....	28
5.6.1.	Пример API-фрейма 0x09	28
5.7.	API-фрейм для передачи данных на UART удаленного модема без возможности управления режимом передачи/подтверждения (0x0F)	29
5.7.1.	Пример API-фрейма 0x0F	29
5.8.	API-фрейм с AT-командой удаленному модему (0x17).....	30
5.8.1.	Пример API-фрейма 0x17	31
5.9.	API-фрейм с данными, полученными от удаленного модема и предназначенными для выдачи в UART (0x81).....	32
5.9.1.	Пример API-фрейма 0x81.....	32
5.10.	API-фрейм расширенного формата с данными, полученными от удаленного модема и предназначенными для выдачи в UART (0x82)	34
5.10.1.	Пример API-фрейма 0x82	35
5.11.	API-фрейм с данными о текущем состоянии активных линий ввода/вывода на удаленном модеме (0x83)	36
5.11.1.	Пример пакета полученных от удаленного узла данных о текущем состоянии линий I/O	37
5.12.	API-фрейм расширенного формата с данными о текущем состоянии активных линий ввода/вывода на удаленном модеме (0x84).....	38
5.12.1.	Пример пакета полученных от удаленного узла данных о текущем состоянии линий I/O	39
5.13.	API-фрейм статуса выполнения локальной AT-команды (0x87).....	40
5.13.1.	Пример API-фрейма 0x87	40
5.14.	API-фрейм статуса выполнения локальной AT-команды (0x88).....	41
5.14.1.	Пример API-фрейма 0x88	41
5.15.	API-фрейм статуса выполнения локальной AT-команды (0x89).....	42
5.15.1.	Пример API фрейма статуса выполнения AT-команды	42
5.16.	Формат API фрейма статуса модема (0x8A).....	43
5.16.1.	Пример API-фрейма 0x8A.....	43
5.17.	API-фрейм статуса оправки пакета (0x8B).....	44
5.17.1.	Пример API-фрейма 0x8B	44
5.18.	API-фрейм подтверждения доставки пакета (0x8C)	45
5.18.1.	Пример API-фрейма 0x8C	45
5.19.	API-фрейм с данными, полученными от удаленного модема и предназначенными для выдачи в UART (0x8F).....	46
5.19.1.	Пример API-фрейма 0x8F	46

5.20. API-фрейм расширенного формата с данными, полученными от удаленного модема и предназначенными для выдачи в UART (0x90)	47
5.20.1. Пример API-фрейма 0x90	47
5.21. API-фрейм ответа на AT-команду удаленному модему (0x97)	49
5.21.1. Пример API-фрейма 0x97	49
5.22. API-фрейм расширенного формата ответа на AT-команду удаленному модему (0x98)	50
5.22.1. Пример API-фрейма 0x98	51
5.23. Контрольная сумма	52
5.24. Буферизация	52
6. Ретрансляция пакетов	53
6.1. Использование ретрансляторов для организации сети с топологией «Точка-точка»	55
6.2. Использование ретрансляторов для организации сети с топологией «Backbone»	56
6.3. Использование ретрансляторов для организации сети с топологией «Звезда с ретрансляторами»	56
6.4. Сетевая маска	57
7. Шифрование	60
8. Технические характеристики	61
8.1. Модули MBee-868-x.x с ПО «SerialStar»	61
8.2. Дальность связи	62
8.3. Значения по умолчанию	63
8.4. Характеристики последовательного интерфейса по умолчанию	63
8.5. Кодирование выходной мощности передатчика	64
9. История документа	65
10. Техническая поддержка	70

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Назначение программного обеспечения «SerialStar»

Программное обеспечение «SerialStar» предназначено для развертывания беспроводных систем передачи данных, основанных на радиомодулях диапазона 868 МГц производства фирмы «Системы, модули и компоненты». С помощью «SerialStar» решается большинство прикладных задач, связанных с концепцией «Интернет вещей». Впервые становится возможным самостоятельно, без необходимости дорабатывать ПО, спроектировать и развернуть сети, способные решать широчайший круг задач, к которым, в частности, относятся:

1. Сбор данных с приборов учета энергоресурсов (счетчиков воды, газа, электричества и т.п). Число узлов в рамках одной ячейки сети может достигать 65535 штук, а при условии разбиения на подсети и варьирования несущей частоты, становится практически неограниченным. Время автономной работы может достигать 10 лет от 1 элемента АА.
2. Беспроводное управление освещением с высокой точностью. Для этого предусмотрены 4 канала ШИМ с высокой разрешающей способностью 1/13000.
3. Пожарная и охранная сигнализация с возможностью подключения разнообразных датчиков с цифровыми и аналоговыми выходами.
4. Замена проводного канала связи в системах промышленной автоматизации и многое другое.

2.2. Поддерживаемые топологии сети

Программное обеспечение «SerialStar» позволяет создавать беспроводные системы с топологиями:

- «Точка-точка»
- «Звезда»

Во всех возможных топологиях сети все устройства равнозначны, сетевые роли отсутствуют. Каждое устройство в сети может связаться с любым другим устройством из этой же сети напрямую (при условии нахождения устройств в зоне радиовидимости друг друга) или передавать данные сразу на все устройства сети.

2.3. Адресация

Система адресации, применяемая в программном обеспечении «SerialStar», позволяет организовывать независимые сети в общей зоне покрытия. Кроме этого, имеется возможность создавать изолированные логические сегменты в рамках общей сети. Внутри одного логического сегмента каждому узлу сети присваивается уникальный идентификационный номер. Полный адрес устройства состоит из 5 байт (см. Таблица 1).

№ байта	1	2	3	4	5
Поле	ID сети	ID системы		ID модема	
Диапазон	01...FE	0001...FFFE		0001...FFFE*	

Таблица 1

*- адрес 0xFFFF предназначен для отправки широкоэмительных сообщений.

Сообщения отправляются по адресу, указанному в поле TxID, при работе в прозрачном режиме или по адресу, указанному в соответствующем поле, при работе в пакетном режиме (режим API-фрейма).

2.3.1. ID сети

ID сети - старший байт физического адреса. Этот байт используется радиоядром модуля [MBee-868](#) для аппаратной фильтрации принятых пакетов. Если принятый пакет принадлежит сети с несовпадающим ID, то он будет отфильтрован принимающим узлом на уровне радиоядра. Таким образом, снижается нагрузка на процессорное ядро радиомодуля, позволяя высвободить его ресурсы для выполнения более приоритетных задач. Основное назначение ID сети – обеспечение сосуществования нескольких систем разного назначения или разной принадлежности в единой зоне покрытия. Назначается оператором системы.

2.3.2. ID системы

Байты 2 и 3 физического адреса. Предназначены для организации логических сегментов в границах сети с общим ID сети. Фильтрация принятых пакетов осуществляется процессорным ядром радиомодуля на уровне стека протоколов. С помощью логических сегментов удобно организовывать в границах одной и той же географической зоны несколько сетей. Назначается оператором системы.

2.3.3. ID модема

Идентифицирует сетевой узел внутри данной с сети с одними и теми же ID сети и ID системы. Назначается оператором системы.

По умолчанию, ID модема устанавливается 0x0001.



ВНИМАНИЕ! *Ни один из узлов системы не осуществляет контроль правильности назначения адресных полей. Вся ответственность за их корректное распределение возлагается на оператора сети во время ее развертывания.*

2.4. Режимы работы линий ввода/вывода

В программном обеспечении радиомодулей [MBee-868](#) поддерживается возможность настройки режимов работы линий ввода/вывода, а также управление их состоянием. Для настройки режимов работы линий используются AT-команды или API-фреймы. Соответствие AT-команды выводу радиомодуля MBee-868, а также назначения «по умолчанию» приведены на Рисунке 1. В Таблице 2 приведены доступные режимы работы линий ввода/вывода, параметр AT-команды, назначающий данный режим и список выводов радиомодуля MBee-868, поддерживающих данный режим. При работе в командном режиме (с помощью AT-интерфейса), все сделанные изменения всегда применяются с одновременным сохранением их в энергонезависимой памяти. Поэтому, если стоит задача динамического локального управления линиями ввода/вывода со стороны подключенной к модулю хост-системы, оптимальным будет использование не AT-команд, а API-фреймов без сохранения изменений и с немедленным их применением (API-фрейм 0x07). Тем самым не будет уменьшать ресурс циклов стирания/записи

энергонезависимой памяти. AT-командами удобно пользоваться для настройки состояния выходных линий после включения питания (безопасного состояния). Например, при использовании модулей в системах управления освещением, безопасным будет установить рабочий цикл активных ШИМ-каналов в 0x0000 и сохранить это значение в памяти, чтобы после подачи питания на модем не произошло бы непреднамеренное включение драйвера осветительного прибора.

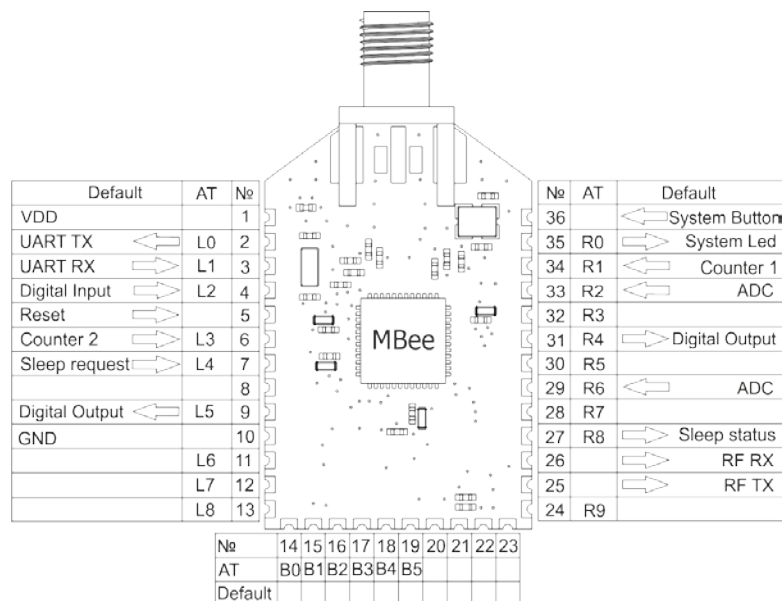


Рисунок 1

Режим работы	Параметр	Выводы модуля	Примечание
DISABLED	0	2-4, 6, 7, 9, 11-19, 24, 27-35	Вывод не используется
NOT AVAILABLE	1	15	Вывод не доступен
ADC	2	29, 30, 33-35	Аналоговый вход
DIGITAL INPUT	3	2-4, 6, 7, 9, 11-19, 24, 27-35	Цифровой вход
DIGITAL OUTPUT LOW	4	2-4, 6, 7, 9, 11-19, 24, 27-35	Цифровой выход, низкий уровень
DIGITAL OUTPUT HIGH	5	2-4, 6, 7, 9, 11-19, 24, 27-35	Цифровой выход, высокий уровень
UART TX	6	2-4, 6, 7, 9, 11-15, 24, 27-35	Может быть присвоен только одной линии
UART RX	7	2-4, 6, 7, 9, 11-15, 24, 27-35	Может быть присвоен только одной линии
UART CTS	8	2-4, 6, 7, 9, 11-19, 24, 27-35	Может быть присвоен только одной линии
UART RTS	9	2-4, 6, 7, 9, 11-19, 24, 27-35	Может быть присвоен только одной линии
SYSTEM LED	10	2-4, 6, 7, 9, 11-19, 24, 27-35	Системный светодиод, индицирующий работу в командном режиме. Может быть присвоен только одной линии
SLEEP REQUEST	11	2-4, 6, 7, 9, 27-35	Может быть присвоен только одной линии
SLEEP STATUS	12	2-4, 6, 7, 9, 11-19, 24, 27-35	Может быть присвоен только одной линии
COUNTER INPUT1	13	2-4, 6, 7, 9, 27-35	Счетный вход №1. Разрядность счетчика 4 байта. Активный перепад отрицательный
COUNTER INPUT2	14	2-4, 6, 7, 9, 27-35	Счетный вход №2. Разрядность счетчика 4 байта. Активный перепад отрицательный
WAKEUP INPUT FALLING EDGE	15	2-4, 6, 7, 9, 27-35	Тревожный вход с отрицательным перепадом
WAKEUP INPUT RISING EDGE	16	2-4, 6, 7, 9, 27-35	Тревожный вход с положительным перепадом
PWM1	17	2-4, 6, 7, 9, 11-15, 24, 27-35	ШИМ канал №1
PWM2	18	2-4, 6, 7, 9, 11-15, 24, 27-35	ШИМ канал №2
PWM3	19	2-4, 6, 7, 9, 11-15, 24, 27-35	ШИМ канал №3
PWM4	20	2-4, 6, 7, 9, 11-15, 24, 27-35	ШИМ канал №4
RS485 DIRECTION	21	2-4, 6, 7, 9, 11-19, 24, 27-35	Может быть присвоен только одной линии
DIGITAL PASSING	22	2-4, 6, 7, 9, 11-19, 24, 27-35	Цифровой выход
DIGITAL PASSING INVERTED	23	2-4, 6, 7, 9, 11-19, 24, 27-35	Цифровой выход

Режим работы	Параметр	Выводы модуля	Примечание
ANALOG PASSING PWM1	24	2-4, 6, 7, 9, 11-15, 24, 27-35	ШИМ канал №1
ANALOG PASSING PWM2	25	2-4, 6, 7, 9, 11-15, 24, 27-35	ШИМ канал №2
ANALOG PASSING PWM3	26	2-4, 6, 7, 9, 11-15, 24, 27-35	ШИМ канал №3
ANALOG PASSING PWM4	27	2-4, 6, 7, 9, 11-15, 24, 27-35	ШИМ канал №4

Таблица 2

2.4.1. DISABLED (0)

Вывод отключен. Соответствующий вывод модуля переведен на ввод и с помощью встроенного резистора подтянут к «земле». Информация о состоянии отключенной линии не передается в пакете, формируемом при циклическом выходе из режима сна, а также при срабатывании входов, настроенных как WAKE UP.

2.4.2. NOT AVAILABLE (1)

Вывод не доступен. Данный вывод не может быть настроен.

2.4.3. ADC (2)

Вывод модуля переводится на ввод и подключается ко входу аналого-цифрового преобразователя. Оцифрованное значение данного входа включается в пакет, формируемый при циклическом выходе из режима сна, а также при срабатывании входов, настроенных как WAKE UP. Разрядность АЦП – 12 бит. Напряжение на входе должно находиться в пределах 0-1,5В для опорного напряжения равного 1,5В и 0-2,5В для опорного напряжения равного 2,5 В. Размер опорного напряжения задается в 1-м бите регистра DM.

2.4.4. DIGITAL INPUT (3)

Вывод модуля переводится на ввод и с помощью встроенного резистора подключается к напряжению питания. Информация о состоянии линии включается в пакет, формируемый при циклическом выходе из режима сна, а также при срабатывании входов, настроенных как WAKE UP.

2.4.5. DIGITAL OUTPUT LOW (4)

Соответствующий вывод модуля становится цифровым выходом. После включения питания, или после команды, применяющей сделанные изменения на выводе устанавливается низкий уровень. Информация о текущем состоянии выхода включается в пакет, формируемый при циклическом выходе из режима сна, а также при срабатывании входов, настроенных как WAKE UP.

2.4.6. DIGITAL OUTPUT HIGH (5)

Работа модуля аналогична работе в предыдущем режиме (4), за исключением того, что на выходе устанавливается высокий уровень, а не низкий. Вывод модуля становится цифровым выходом.

2.4.7. UART TX (6)

Линия назначается для работы в качестве выхода TX последовательного интерфейса. При отсутствии передачи со стороны модуля, на линии устанавливается высокий уровень, сохраняющийся также и в спящем режиме.

2.4.8. UART RX (7)

Вывод модуля является входом RX последовательного интерфейса. В активном режиме работы модуля не имеет подтягивающего резистора. При переходе в спящий режим, для исключения излишнего потребления, вследствие плавающего уровня, к данному входу подключается подтягивающий до напряжения питания резистор.

2.4.9. UART CTS (8)

Линия настраивается на вход. Низкий уровень на входе является сигналом, разрешающим модулю передачу данных по последовательному интерфейсу. Вход имеет встроенный резистор, подтягивающий его до напряжения питания. Настройки управления потоком, установленные с помощью программы SysmcBootLoader, игнорируются. Изменение состояния на данном входе не приводит к выходу модуля из спящего режима.

2.4.10. UART RTS (9)

Вывод становится выходом сигнала готовности модуля принимать данные по последовательному интерфейсу. Высокий уровень на данном выходе является запрещающим для хост-системы. Настройки управления потоком, сделанные с помощью программы SysmcBootLoader, игнорируются.

2.4.11. SYSTEM LED (10)

Выход индикации командного режима модуля. Высокий уровень на данном выводе является признаком того, что модем находится в командном режиме.

2.4.12. SLEEP REQUEST (11)

Данный режим линии ввода/вывода предназначен для управления модемом при работе в режиме пониженного энергопотребления с внешним управлением сном или в комбинированном режиме. Перепад с высокого уровня на низкий на этой линии, переводит модем в активный режим. Модем остается в активном режиме до тех пор, пока уровень на входе остается низким. Ко входу подключается встроенный подтягивающий до напряжения питания резистор.

2.4.13. SLEEP STATUS (12)

Выход, предназначенный для индикации активного или спящего режима работы модуля. Высокий уровень на этой линии индицирует активный режим работы модема. Низкий уровень на данной линии говорит о том, что модем находится в режиме пониженного энергопотребления (сна). Вывод может быть использован для управления питанием внешних датчиков.

2.4.14. COUNTER INPUT (13, 14)

Цифровой вход, ассоциированный с первым или со вторым 32-ух разрядным счетчиком импульсов. Информация о подсчитанном количестве импульсов включается в пакет, формируемый при циклическом выходе из режима сна, а также при срабатывании входов, настроенных как WAKE UP. Имеет встроенный резистор, подтягивающий вход до напряжения питания. При перепаде с высокого уровня на низкий счетчик получает приращение на 1. В случае назначения нескольким выводам одновременно, состояние счетчика будет представлять собой сумму импульсов, зарегистрированных на всех ассоциированных входах.

2.4.15. WAKEUP INPUT FALLING EDGE (15)

Цифровой вход, предназначенный для отправки по эфиру пакета с текущим состоянием линий ввода/вывода. При отрицательном перепаде на данном входе модем выходит из спящего режима. Отправка пакета происходит только если установлен бит №1 регистра SLEEP OPTION (см. AT-команду SO). После отправки пакета и по истечению времени, определяемого параметром ST, модем переходит в спящий режим. Вход имеет встроенный подтягивающий к напряжению питания резистор.

2.4.16. WAKEUP INPUT RISING EDGE (16)

Работа входа не отличается от входа, настроенного как WAKEUP INPUT FALLING EDGE, за исключением того, что выход из спящего режима осуществляется по положительному перепаду и подтягивающий резистор подключен к «земле», а не к питанию.

2.4.17. PWM (17, 18, 19, 20)

Линия настраивается на вывод и предназначается для выдачи ШИМ-сигнала с соответствующего канала. Рабочий цикл сигнала на соответствующем входе определяется регистрами Mx, записываемыми AT-командами M1, M2, M3 или M4. Период ШИМ равен 1 мс. Разрешающая способность 1/13000 или 79 мкс.

2.4.18. RS485 DIRECTION (21)

Линия является выходом и предназначается для управления внешним драйвером интерфейса RS485. Высокий уровень соответствует включению драйвера на передачу.

2.4.19. DIGITAL PASSING (22)

Линия модема становится цифровым выходом, повторяющим на своем выводе уровень сигнала соответствующего цифрового входа (линию, работающую в режиме №3, №15 или №16) модема, приславшего пакет с данными о состоянии линий ввода/вывода (Подробнее в разделе «Работа линий ввода/вывода в режиме проброса портов»).

2.4.20. DIGITAL PASSING INVERTED (23)

Линия модема становится цифровым выходом, инвертирующим на своем выводе уровень сигнала соответствующего цифрового входа (линию, работающую в режиме №3, №15 или №16) модема, приславшего пакет с данными о состоянии линий ввода/вывода (Подробнее в разделе «Работа линий ввода/вывода в режиме проброса портов»).

2.4.21. ANALOG PASSING (24, 25, 26, 27)

Линия модема становится выводом, предназначенная для выдачи ШИМ-сигнала, рабочий цикл которого пропорционален уровню сигнала на аналоговом входе (линию, работающую в режиме №2) модема, приславшего пакет с данными о состоянии линий ввода/вывода (Подробнее в разделе «Работа линий ввода/вывода в режиме проброса портов»).

ВНИМАНИЕ! Никакого контроля за присвоением режимов линиям ввода/вывода со стороны ПО SerialStar не осуществляется. Исключение составляет только запрет повторных назначений для некоторых режимов. В случае настройки вывода для работы в одном из режимов, для которого запрещено повторное назначение, режим будет применен к последней настроенной линии ввода/вывода. Вывод, который ранее был настроен для работы в этом режиме автоматически переходит в режим DISABLED (0). При этом никаких уведомлений со стороны ПО не поступает. Для контроля правильности распределения линий ввода/вывода рекомендуется пользоваться AT-командой HV. Ниже приведен список режимов, которые можно присвоить только одной линии ввода/вывода:

UART TX, UART RX, UART CTS, UART RTS, SYSTEM LED, SLEEP REQUEST, SLEEP STATUS, RS485 DIRECTION.

2.5. Работа линий ввода/вывода в режиме «проброса портов»

Функция «проброса портов» расширяет область применения модулей, избавляя от необходимости использования дополнительного микроконтроллера или компьютера для целого класса задач. Данная функция применима как к цифровым, так и к аналоговым входам.

При «пробросе цифровых портов», состояние цифровых выходов на принимающем модуле устанавливается в соответствии с состоянием цифровых входов (с аналогичным номером вывода) удаленного модуля.

Управляющий модем может быть настроен в режим периодического сна или осуществлять отправку пакетов при изменении состояния на цифровых входах.

На выводах удаленного модуля, сигналы с которых должны быть проброшены, настраиваются режимы 3 (DIGITAL INPUT), 15 (WAKEUP INPUT FALLING EDGE) или 16 (WAKEUP INPUT RISING EDGE). На принимающем модуле, для активации функции «проброса цифровых портов» необходимо установить для соответствующих выводов режим 22 (DIGITAL PASSING) или 23 (DIGITAL PASSING INVERTED).

После получения пакета с данными о состоянии линий ввода/вывода, выводы с режимом 22 (DIGITAL PASSING) повторяют уровень сигнала на входе соответствующего вывода удаленного модуля. Выводы с режимом 23 (DIGITAL PASSING INVERTED) инвертируют уровень сигнала на входе соответствующего вывода удаленного модуля.

При «пробросе аналоговых портов», рабочий цикл ШИМ на цифровых выходах принимающего модуля устанавливается пропорционально уровням напряжений на соответствующих аналоговых входах передающего модуля. Соответствие номера ШИМ канала аналоговому входу приведено в Таблице 3.

№	Управляющий модем		Номер ШИМ канала на управляемом модеме
	Название вывода	Номер вывода на модуле	
1	R1	34	1
2	R2	33	2
3	R5	30	3
4	R6	29	4

Таблица 3

Функция «проброса портов» сохраняет установленный сигнал на выходе принимающего модуля до тех пор, пока не придет пакет от управляющего модуля с измененными значениями входных линий. Существует также возможность ограничить время установки сигналов на выходах управляемого модуля. Для этого предусмотрен специальный таймер, который автоматически обнуляется при получении каждого пакета от управляющего модуля. При достижении таймером установленного значения, все выходы, настроенные на «проброс портов» переводятся в режим входа с подтягивающим к «земле» резистором. Величина таймаута определяется AT-командой PT (Passing Timeout) и может быть установлена в диапазоне 0..65535 с. Значение 0 деактивирует функцию таймаута.

3. РЕЖИМЫ РАБОТЫ МОДЕМА

В зависимости от выбранного режима работы модема определяется его поведение и способ взаимодействия с хост системой. В каждом модеме в сети может использоваться любой из имеющихся режимов, вне зависимости от того, какой режим используется в других модемах.

3.1. Командный режим

Для управления модулем MBee-868 и его настройки в программном обеспечении «SerialStar» реализован командный режим. Управление осуществляется AT-командами.

3.2. Прозрачный режим

«Прозрачный» - режим, в котором все полученные по UART данные от хоста сразу отправляются по радиоканалу модему, адрес которого указан в настройках модема в поле получателя (в случае, если указан адрес 0xFFFF, отправляется широковещательный пакет, который принимают все устройства данной сети, при условии, что у них не установлен запрет на прием широковещательных пакетов). Максимальная длина эфирного пакета, в данном режиме работы, 40 байт. Все данные, полученные по радиоканалу и предназначенные данному модему или широковещательные, сразу отправляются в UART.

После первого включения модем находится в прозрачном режиме. ID модема по умолчанию установлен – 0x0001, а адрес получателя – 0xFFFF. Все пакеты, полученные по UART, сразу передаются в эфир. Таким образом, сразу после прошивки двух модулей MBee, имеется возможность организовать беспроводной удлинитель UART.

Преимуществом данного режима является отсутствие служебной информации в передаваемых данных, что приводит к увеличению пропускной способности канала.

3.3. Пакетный режим

Пакетный – режим работы в котором обмен данными между хостом и модемом осуществляется в определенном формате. Данный режим расширяет возможности взаимодействия хоста с модемом.

При работе в данном режиме передаваемые данные инкапсулируются в пакеты, содержащие в себе дополнительную служебную информацию:

1. Адрес получателя
2. Тип передаваемого пакета
3. Контрольная сумма

Пакетный режим может быть дуплексным и симплексным (в одну сторону пакетный, в другую прозрачный), то есть данные могут передаваться в пакетах в направлении:

1. От хоста к модему и от модема к хосту
2. От хоста к модему
3. От модема к хосту

3.4. Пакетный режим с escape-символами

Пакетный режим с escape-символами предназначен для упрощения процедуры разбора данных, принятых от модуля хост-системой. Поскольку процессы поступления данных в выходной буфер модема, и их выборка внешним устройством не синхронизированы, то в ряде случаев разбор таких данных будет представлять большую сложность. Такая ситуация характерна для систем с достаточно высоким трафиком, а также в случае ограниченных ресурсов хоста по обработке входящего потока. Включение пакетного режима с escape-символами гарантирует, что в исходящем потоке символ 0x7E (START DELIMITER) будет всегда обозначать начала фрейма. Таким образом, парсер хоста сможет всегда найти начало фрейма, даже если в его входном буфере 0x7E не является первым байтом. В пакетном режиме с escape-символами программное обеспечение модема проверяет каждый байт исходящего сообщения за исключением первого, всегда равного 0x7E. В случае совпадения байта с одним из нижеследующих специальных символов 0x11(XON), 0x13 (XOF), 0x7D (ESCAPE), 0x7E (START DELIMITER), он заменяется в соответствии со следующим алгоритмом: исходный байт заменяется на 0x7D, после которого вставляется исходный байт, просуммированный по модулю 2 с числом 0x20. В Таблице 4 приведены замены для каждого специального символа, которой должна пользоваться хост-система при работе модуля в пакетном режиме с escape-символами.

Исходный байт	Замена
0x11	0x7D, 0x31
0x13	0x7D, 0x33
0x7D	0x7D, 0x5D
0x7E	0x7D, 0x5E

Таблица 4

Замена специальных символов escape-последовательностями распространяется на все поля исходного пакета, включая контрольную сумму. Значение полей, обозначающих длину пакета и контрольную сумму соответствует параметрам исходного пакета.

3.5. Режимы пониженного энергопотребления

Для обеспечения пониженного энергопотребления модема, предусмотрено несколько различных режимов. В этих режимах отключается вычислительное ядро модема, радиодро и неиспользуемая периферия. В результате этого потребление модема сокращается до 2-4 мкА, что позволяет обеспечить длительный срок службы от автономного источника питания. Режим с отключением основных узлов модуля называется режимом сна или спящим режимом.

Управление режимами сна осуществляется с помощью команды SM (Sleep Mode). Возможные варианты режимов сна приведены в Таблице 5.

Режим сна	Описание
SM 0	Режим сна отключен
SM 1	Управление режимом сна с помощью специального вывода модуля
SM 4	Циклический режим сна
SM 5	Комбинированный режим сна

Таблица 5

В случае, если включен один из режимов сна ($SM \neq 0$), вывод SLEEP STATUS (по умолчанию №27) модуля MBee-868 индицирует текущее состояние модема. Высокий уровень на данном выходе означает, что модем находится в активном режиме, низкий – модем находится в режиме сна. Этот сигнал может быть использован для управления питанием внешних устройств (датчиков) при организации периодического опроса.

В случае, если не включен ни один из режимов сна ($SM = 0$), модуль находится в активном режиме постоянно. Для управления возможностью передачи в активном режиме пакета, содержащего информацию о текущем состоянии активированных цифровых и аналоговых входов, используется команда SO.

3.5.1. Внешнее управление режимом сна

В данном режиме модем переходит в активный или спящий режим в зависимости от сигнала, подаваемого на вывод SLEEP REQUEST (по умолчанию №7) модуля MBee-868. Низкий уровень на данном выводе переводит модем в активный режим, а высокий – в режим сна. После снятия сигнала SLEEP REQUEST, модем переходит в спящий режим после выполнения всех задач (обработка всех событий) и выдерживания паузы (см. Рисунок 2), длительность которой устанавливается командой ST (Time before sleep). Если во время выдерживания паузы ST поступят данные по UART или радиоканалу (возникает событие), таймер ST обнуляется и запускается снова после завершения обработки события.

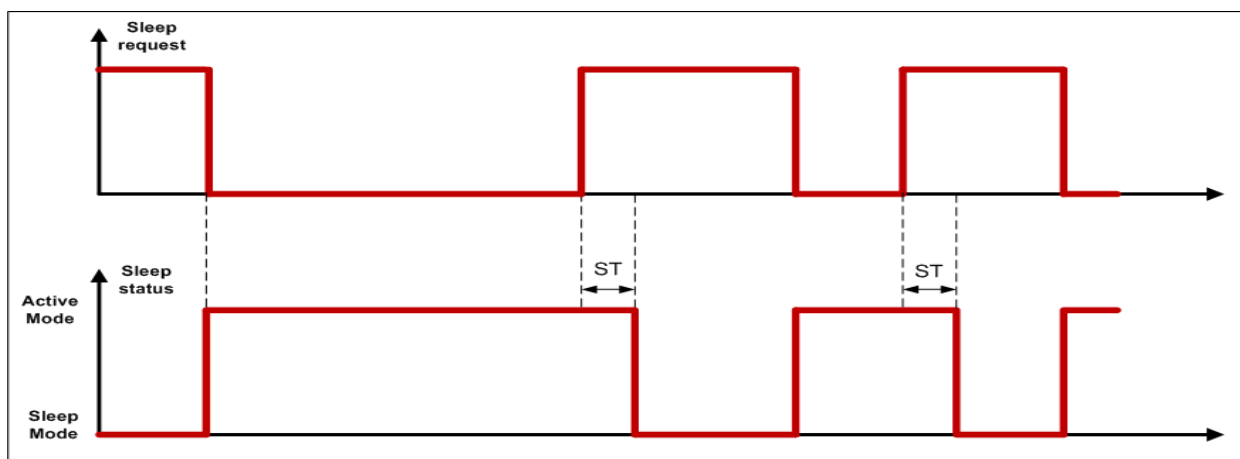


Рисунок 2

3.5.2. Циклический режим сна

В данном режиме модем переходит в активный режим циклически, в соответствии с параметрами, настроенными командами SP, DS и ST. При переходе в активный режим, модем может отправлять пакет, содержащий информацию о текущем состоянии активированных цифровых и аналоговых входов. Эта функция управляется пользователем. Параметр SP (Sleep Period) задается командой SP и определяет время сна модема. Параметр DS предназначена для установки длительности задержки между выходом модема из режима сна и измерением аналоговых датчиков. Задержка обеспечивает компенсацию переходных процессов в аналоговых датчиках после подачи на них питания. Параметр ST определяется командой ST и управляет временем нахождения модема в активном режиме, после обработки им события, вызвавшего выход из режима сна и произошедших непосредственно после него.

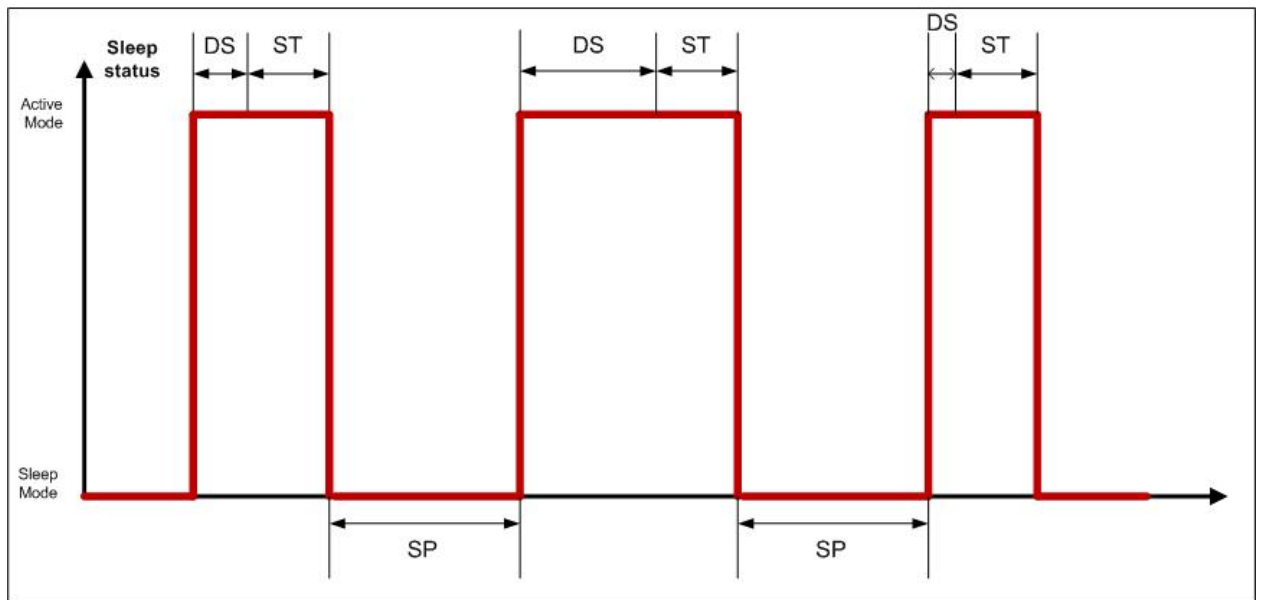


Рисунок 3

3.5.3. Комбинированный режим сна

Комбинированный режим сна аналогичен циклическому режиму, но с возможностью выхода из сна при переходе сигнала SLEEP REQUEST на соответствующем входе модуля MBee-868 из высокого уровня в низкий. После завершения всех операций, снятия сигнала SLEEP REQUEST и по истечении времени, определяемого параметром ST, модем автоматически возвращается в режим сна.

4. КОМАНДНЫЙ ИНТЕРФЕЙС

Для управления модулем MBee и его настройки в программном обеспечении «SerialStar» реализован командный режим. Управление осуществляется AT-командами. Переход в командный режим может быть осуществлен несколькими способами:

1. В любом режиме нажатием системной кнопки. При этом параметры UART принудительно устанавливаются в 9600 8N1 независимо от настроек, установленных «по умолчанию». Способ управления потоком при этом не меняется. Выход осуществляется также нажатием системной кнопки либо кнопки «Reset».
2. В любом режиме передачей 3-х «+» в течении 2 секунд с интервалом между символами не менее 2-х символов. Выход осуществляется передачей 3-х «+» либо кнопками «System» или «Reset».

Все настройки, сделанные в командном режиме, применяются только после передачи специальной AT-команды. Для сохранения их во flash-памяти необходима передача отдельной команды, иначе после перезагрузки программного обеспечения все настройки вернутся к ранее установленным значениям.

Восстановление параметров по умолчанию (возврат к заводским настройкам) можно произвести, при необходимости, 4-х кратным нажатием на системную кнопку в течении 2 секунд.

4.1. Формат AT-команд

AT – префикс.

ASCII – код команды.

Parameter – данные.

AT Prefix	ASCII Command	Parameter (Optional)	Carriage Return
---------------------	-------------------------	--------------------------------	----------------------------------

Carriage Return <CR> - возврат каретки.

Код команды всегда имеет длину 2 символа. Допускаются как большие, так и маленькие буквы. Код команды может быть отделен от символов “AT” пробелами. Максимально допустимое число пробелов – 3. Наличие пробелов необязательно.

Данные следуют после команды. Количество байт данных зависит от команды. Данные могут быть отделены от кода командами пробелами. Максимально допустимое число пробелов – 3. Наличие пробелов необязательно. Данные могут вводиться как в шестнадцатеричном виде с префиксом 0x, так и в десятичном виде. При вводе данных в десятичном виде ведущие нули не допускаются.

Для чтения установленного значения необходимо отправить соответствующую команду без параметра, за которой следует <CR>. Модем возвращает текущее установленное значение в десятичном виде. При отправке команды без параметра, но с префиксом «0x», с последующим <CR>, модем возвращает текущее установленное значение в шестнадцатеричном виде.

После успешного выполнения большинства команд (команд, не вызывающих рестарт модуля) выдается сообщение «OK».

4.2. Список поддерживаемых AT-команд

AT-команда	Описание	Диапазон параметра	Значение по умолчанию
Специальные команды			
WR	Команда WR предназначена для записи параметров в энергонезависимую память модуля. Все внесенные изменения вступают в силу после перезапуска программного обеспечения модуля.		
CN	Команда CN предназначена для выхода из командного режима с сохранением всех изменений в энергонезависимой памяти и с последующим рестартом. Сообщение «OK» не выдается.		
AC	Команда AC предназначена для немедленного применения внесенных изменений с сохранением их в энергонезависимой памяти без перезагрузки модуля.		
DC	Команда DC предназначена для отмены всех внесенных изменений, которые еще не были применены командами AC или CN. Выхода из командного режима не происходит.		
RE	Команда RE предназначена для возврата модуля к заводским настройкам. Функционал аналогичен 4-х кратному нажатию системной кнопки в течении 2 секунд.		
FR	Команда FR предназначена для программного рестарта модуля. Сообщение «OK» не выдается.		
VR	Команда VR предназначена для чтения версии программного обеспечения модема. При ответе на команду VR в «Пакетном режиме», модем возвращает структуру длиной 9 байт (см. раздел «Структура ответа на команду VR»).		
HV	Команда HV предназначена для чтения аппаратных настроек модуля.		
AP	Команда AP предназначена для выбора режима работы модема. 0 – означает работу в прозрачном режиме. 1 – означает работу модуля в пакетном режиме. 2 – пакетный режим с escape-символами от модема к хосту и пакетный от хоста к модему. 3 – пакетный режим от хоста к модему и прозрачный от модема к хосту. 4 – параметр зарезервирован. 5 – пакетный режим от модема к хосту и прозрачный от хоста к модему. 6 – пакетный режим с escape-символами от модема к хосту и прозрачный от хоста к модему.	0 – 6	0
DM	Команда DM (Device Mode) представляет собой битовое поле, предназначенное для управления модемом. Бит 0 управляет приемом ширококвещательных пакетов. Для блокировки приема ширококвещательных пакетов этот бит должен быть установлен в 1. Бит 1 управляет определяет размер опорного напряжения для аналоговых входов. Для выбора опорного напряжения равного 1,5В бит должен быть установлен в 1. Бит 2 включает режим ретрансляции пакетов данным устройством. Для включения режима бит должен быть установлен в 1. Ретрансляция применяется ко всем пакетам, напрямую не адресованным данному узлу, а также к пакетам, имеющим ширококвещательный адрес. При этом Бит №0 игнорируется. Если принятый пакет имеет ширококвещательный адрес получателя и прием таких пакетов разрешен Битом №0 регистра Device Mode, то такой пакет перед ретрансляцией всегда трактуется как предназначенный данному узлу. Т.е. если такой пакет содержит команду, то она будет сначала выполнена, а потом ретранслирована. Бит 4 управляет режимом CCA (Clear Channel Assessment) – проверка занятости радиоканала. Для постоянного отключения CCA бит должен быть установлен в 1.	0-255	0

AT-команда	Описание	Диапазон параметра	Значение по умолчанию
	Бит 5 управляет активацией функции шифрования трафика. Для активации постоянного шифрования трафика при работе в прозрачном режиме и для API-фреймов 0x0F и 0x83 бит, должен быть установлен в 1. Бит 6 управляет функцией включения полей Frame ID и Previous Hop ID при работе устройства в пакетном режиме. При активации данной функции, вместо пакетов 0x81, 0x83, 0x8F и 0x97 будут выдаваться пакеты с номерами 0x82, 0x84, 0x90 и 0x98 соответственно. Для активации функции бит должен быть установлен в 1.		
KY	Команда KY предназначена для ввода ключа шифрования. Длина ключа составляет 16 байт. Допускаются любые символы. Чтение установленного ключа шифрования невозможно.		
IO	Команда предназначена для запроса текущего состояния линий ввода/вывода от удаленного модема. В ответ на данную команду, удаленный модем высылает пакет API фрейм 0x83.		
AI	Команда AI предназначена для применения сделанных изменений без сохранения их в энергонезависимую память.		
PT	Команда установки таймера для выводов, настроенных как DIGITAL PASSING, DIGITAL PASSING INVERTED и ANALOG PASSING. Время задается в секундах. При установке значения, отличного от нуля, таймер перезапускается после приема управляющего пакета и вывод переключается в соответствии с заложенным алгоритмом. По истечении времени, заданного таймером, все линии, настроенные как PASSING, перенастраиваются в DISABLE.	0-65535	0
Команды настройки сетевых параметров			
MY	Команда MY предназначена для установки собственного 16-и битного адреса модема – MyID.	0x0001 - 0xFFFFE	0x0001
ID	Команда ID предназначена для установки сетевых идентификаторов. Старший байт – ID сети. Данный байт используется радиоядром модуля для аппаратной фильтрации принятых пакетов, снижая при этом нагрузку на процессорное ядро. Младшие байты – ID системы. Предназначены для организации логических сегментов в границах сети с общим ID. Для применения изменения ID устройства необходимо перезапустить модем, например, с помощью команды CN.	0x010001 – 0xFEFFFFE, Старший байт и младший байт не могут принимать значение 0x00 и 0xFF	0x010001
TX	Команда TX предназначена для установки адреса получателя при работе в прозрачном режиме. Синоним данной команды – DL.	0x0001 - 0xFFFF	0xFFFF – широковещательное сообщение
UR	Команда UR предназначена для установки идентификатора следующего ретранслятора при передаче пакетов Концентратору.	0x0001 - 0xFFFFE	0x01
DR	Команда DR предназначена для установки идентификатора следующего ретранслятора при передаче пакетов от Концентратора.	0x0001 - 0xFFFFE	0x01
NM	Команда NM предназначена для установки маски сети.	0x0000 – 0xFFFFE	0x0000
Команды настройки радиочастотных параметров			
CH	Команда CH предназначена для установки частотного канала радиомодуля. 1 – 868,75 МГц 2 – 868,85 МГц 3 – 868,95 МГц 4 – 869,05 МГц 5 – 869,15 МГц	1-5	1
CF	Команда CF предназначена для точной установки несущей частоты в Гц. Точность установки частоты - 396,73 Гц. Если установленная частота совпадает с одним из фиксированных каналов, то значение, выдаваемое по команде CH меняется на соответствующее, в противном случае в данном поле выводится значение 0.	779 МГц – 928 МГц	

AT-команда	Описание	Диапазон параметра	Значение по умолчанию
RB	Команда RB предназначена для установки эфирной битовой скорости передачи данных. Доступные для установки значения: RB=1: 1200 бит/с, 2GFSK, девиация 5, 16 КГц RB=2: 2400 бит/с, 2GFSK, девиация 5,16 КГц RB=3: 4800 бит/с, 2GFSK, девиация 5,16 КГц RB=4: 9600 бит/с, 2GFSK, девиация 9,52 КГц RB=5: 19200 бит/с, 2GFSK, девиация 19,04 КГц RB=6: 38400 бит/с, 2GFSK, девиация 19,04 КГц RB=7: 57600 бит/с, 2GFSK, девиация 25,39 КГц RB=8: 115200 бит/с, 2GFSK, девиация 69,82 КГц RB=9: 250000 бит/с, 2GFSK, девиация 126,95 КГц RB=10: 500000 бит/с, 2FSK, девиация 203,125 КГц.	1-10	6
PL	Команда PL предназначена для установки выходной мощности передатчика радиомодуля. Таблица с кодами выходной мощности передатчика для каждого типа модуля приведена в главе «Технические характеристики».	-30 dBm...+10 dBm (MBee-868-3.0) -32 dBm...+27 dBm (MBee-868-2.0)	0xC1 - MBee-868-3 0x1F - MBee-868-2
Команды управления режимами сна			
SM	Команда SM предназначена для установки режима сна модема. 0 – Спящий режим отключен. 1 – Внешнее управление режимом сна. 2-3 – Зарезервированы. 4 – Циклический режим сна. 5 – Комбинированный режим сна.	0-5	0
SP	Команда SP предназначена для установки длительности времени нахождения модема в состоянии сна или интервала передачи пакета с данными GPIO в активном режиме. Время задается в десятках миллисекунд. При значении параметра более 1 минуты (5999), интервал округляется до целых минут в меньшую сторону.	1 - 69114000	1500
ST	Команда ST предназначена для установки длительности времени нахождения модема в активном режиме после обработки последнего события. Время задается в миллисекундах. Если значение параметра установлено равным 0, то модем переходит в режим сна сразу после обработки события, вызвавшего пробуждение без таймаута.	0 - 1999	20
SO	Команда SO (Sleep options) представляет собой битовое поле, предназначенное для управления отправкой пакета с данными GPIO. Бит 0 зарезервирован для дальнейшего использования. Бит 1 отвечает за отправку регулярного пакета с данными GPIO при переходе модема в активный по расписанию циклического сна. Для разрешения отправка пакета бит должен быть установлен в 1. Бит 2 отвечает за отправку регулярного пакета с данными GPIO при переходе модема в активный режим при появлении соответствующего сигнала на выводе настроенном, как WAKEUP INPUT. Для разрешения отправки пакета бит должен быть установлен в 1. Бит 3 отвечает за отправку регулярного пакета с данными GPIO при отключенном спящем режиме в соответствии с периодичностью, установленной командой SP. Для разрешения отправка пакета бит должен быть установлен в 1.	0-255	6
DS	Команда DS предназначена для установки длительности задержки между выходом модема из режима сна и измерением аналоговых датчиков. Задержка обеспечивает компенсацию переходных процессов в аналоговых датчиках после подачи на них питания. В качестве выхода, управляющего питанием датчиков может использоваться выход SLEEP STATUS. Для активации задержки необходимо, чтобы как минимум один вывод модема был настроен как аналоговый вход. Время задается в десятках миллисекунд.	0-255	0

АТ-команда	Описание	Диапазон параметра	Значение по умолчанию
Команды управления линиями ввода/вывода			
L0	Команда L0 предназначена для установки режима работы вывода №2.	0, 3-27	6
L1	Команда L1 предназначена для установки режима работы вывода №3.	0, 3-27	7
L2	Команда L2 предназначена для установки режима работы вывода №4.	0, 3-27	3
L3	Команда L3 предназначена для установки режима работы вывода №6.	0, 3-27	14
L4	Команда L4 предназначена для установки режима работы вывода №7.	0, 3-27	11
L5	Команда L5 предназначена для установки режима работы вывода №9.	0, 3-27	4
L6	Команда L6 предназначена для установки режима работы вывода №11.	0, 3-10, 12, 17-27	0
L7	Команда L7 предназначена для установки режима работы вывода №12.	0, 3-10, 12, 17-27	0
L8	Команда L8 предназначена для установки режима работы вывода №13.	0, 3-10, 12, 17-27	0
B0	Команда B0 предназначена для установки режима работы вывода №14.	0, 3-10, 12, 17-27	0
B1	Команда B1 предназначена для установки режима работы вывода №15 (доступна только для радиомодуля MВee-868-3.0).	0, 3-10, 12, 17-27	0
B2	Команда B2 предназначена для установки режима работы вывода №16.	0, 3-5, 8-10, 12, 23	0
B3	Команда B3 предназначена для установки режима работы вывода №17.	0, 3-5, 8-10, 12, 23	0
B4	Команда B4 предназначена для установки режима работы вывода №18.	0, 3-5, 8-10, 12, 23	0
B5	Команда B5 предназначена для установки режима работы вывода №19.	0, 3-5, 8-10, 12, 23	0
R0	Команда R0 предназначена для установки режима работы вывода №35. !!! Внимание. В режиме обновления ПО модема, вывод №35 автоматически определяется, как «SYSTEM LED» и индицирует процесс загрузки.	0, 2-27	10
R1	Команда R1 предназначена для установки режима работы вывода №34.	0, 2-27	13
R2	Команда R2 предназначена для установки режима работы вывода №33.	0, 2-27	2
R3	Команда R3 предназначена для установки режима работы вывода №32.	0, 3-27	0
R4	Команда R4 предназначена для установки режима работы вывода №31.	0, 3-27	4
R5	Команда R5 предназначена для установки режима работы вывода №30.	0, 2-27	0
R6	Команда R6 предназначена для установки режима работы вывода №29.	0, 2-27	2
R7	Команда R7 предназначена для установки режима работы вывода №28.	0, 3-27	0
R8	Команда R8 предназначена для установки режима работы вывода №27.	0, 3-27	12
R9	Команда R9 предназначена для установки режима работы вывода №24.	0, 3-10, 12, 17-27	0
M1	Команда M1 устанавливает рабочий цикл 1-го канала ШИМ.	0-13000	0
M2	Команда M2 устанавливает рабочий цикл 2-го канала ШИМ.	0-13000	0
M3	Команда M3 устанавливает рабочий цикл 3-го канала ШИМ.	0-13000	0
M4	Команда M4 устанавливает рабочий цикл 4-го канала ШИМ.	0-13000	0

4.2.1. Структура ответа на команду VR

При отправке команды VR в пакетном режиме (см. главу «Работа в пакетном режиме»), модем отвечает в формате, приведенном в Таблице 6.

№ байта	Наименование	Описание
1	DeviceDescriptorVersion	Номер версии структуры DEVICE_DESCRIPTOR_T: 0x01
2	ModuleID	Аппаратный идентификатор модуля: <ul style="list-style-type: none"> • MВee-868-2.0 значение равно 0x4C • MВee-868-3.0 значение равно 0x40
3	BoardID	Версия платформы для которой задаются значения параметров по умолчанию. Для MВee-Tag-1.2 значение равно 0x01
4	SoftwareID	Идентификатор программного обеспечения: значение равно 0x53
5	SoftwareVersion	Версия прошивки. Старший разряд – номер версии. Младший разряд – номер релиза.

6	BuildTimeStampByte1	Дата и время прошивки, представленные в виде смещения от базовой даты 01.01.2011 00:00:00. Старшие два байта – число дней, младшие – число секунд деленное на 2 (0x0CDD4032 и более).
7	BuildTimeStampByte2	
8	BuildTimeStampByte3	
9	BuildTimeStampByte4	

Таблица 6

5. РАБОТА В ПАКЕТНОМ РЕЖИМЕ

5.1. Общий формат фрейма в пакетном режиме

При работе в пакетном режиме все данные передаются в определенном формате. При передаче API-фрейма по UART от хоста к модему не допускаются таймауты между символами фрейма более, чем удвоенное время передачи одного символа. Общий вид API фрейма приведен в Таблице 7.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Данные						Контрольная сумма	
			Тип фрейма				...	m		
1	2	3	4	5	6	7	...	m	m+1	
0x7E	MSB	LSB	Type	Data						

Таблица 7

Стартовый байт 0x7E – 1-й байт фрейма, идентифицирует начало кадра.

Длина API фрейма – 2-й и 3-й байт фрейма, указывают количество байт, включенных в поле данных кадра. Не включает в себя 1-й (стартовый байт), 2-й и 3-й байты (длина кадра) и последний байт (контрольная сумма).

MSB – 2-й байт фрейма – старший байт длины поля данных.

LSB – 3-й байт фрейма – младший байт длины поля данных.

Type – 4-й байт – идентифицирует тип данного фрейма. Возможные типы API фреймов приведены в Таблице 8.

Тип фрейма*	Код фрейма	Описание
Transmit request API frame	0x01, 0x10	Передача данных удаленному узлу
AT Command immediate apply API frame	0x07	AT-команда локальному модему
AT command API frame	0x08	AT-команда локальному модему
AT command queue API frame	0x09	AT-команда локальному модему
Transmit request no options API frame	0x0F	Передача данных удаленному узлу без байта Options
Remote AT command request API frame	0x17	AT-команда удаленному модему
Receive packet API frame	0x81	Принятые данные от удаленного узла
Extended receive packet API frame	0x82	Принятые данные от удаленного узла. Расширенный формат
I/O receive packet API frame	0x83	Принятые данные о текущем состоянии линий I/O от удаленного узла
Extended I/O receive packet API frame	0x84	Принятые данные о текущем состоянии линий I/O от удаленного узла. Расширенный формат
Command response API frame data	0x87	Статус выполнения AT-команды
	0x88	Статус выполнения AT-команды
	0x89	Статус выполнения AT-команды
Modem status frame API frame	0x8A	Статус модема
Transmit status API frame	0x8B	Статус отправки пакета
Acknowledge API frame	0x8C	Подтверждение доставки пакета
Receive packet no options API frame	0x8F	Принятые данные от удаленного узла
Extended receive packet no options API frame	0x90	Принятые данные от удаленного узла. Расширенный формат
Remote AT command response API frame	0x97	Ответ на AT-команду удаленному модему

Тип фрейма*	Код фрейма	Описание
Extended remote AT command response API frame	0x98	Ответ на AT-команду удаленному модему. Расширенный формат

Таблица 8

*С развитием программного обеспечения «SerialStar» возможно добавление новых типов фреймов.

5.2. Пакетный режим с escape-символами

Данный режим предназначен для упрощения процедуры разбора данных, принятых от модуля хост-системой. Для его активации необходимо, с помощью команды «AT AP», установить режим 2 или 6.

5.2.1. Пример пакета в режиме с escape-символами

Пример пакета, поступающего на хост от модема, в случае, если режим с escape-символами не включен, а спецсимвол попал в поле данных:

7E 00 09 81 00 01 DF 00 00 7E 22 33 CB

Пример пакета, поступающего на хост от модема, в случае, если режим с escape-символами включен, а спецсимвол попал в поле данных:

7E 00 09 81 00 01 DA 00 00 7D 5E 22 33 D0

Пример пакета, поступающего на хост от модема, в случае, если режим с escape-символами не включен, а спецсимвол попал в поле данных и контрольной суммы:

7E 00 09 81 00 01 DD 00 00 7E 0C 05 11

Пример пакета, поступающего на хост от модема, в случае, если режим с escape-символами включен, а спецсимвол попал в поле данных и контрольной суммы:

7E 00 09 81 00 01 DD 00 00 7D 5E 0C 05 7D 31

5.3. API-фрейм для передачи данных на UART удаленного модема с управлением режимом передачи/подтверждения (0x01, 0x10)

Данный фрейм применяется если требуется передать данные на UART удаленного узла. Формат API-фрейма приведен в Таблице 9. В поле «Тип фрейма» допускается также использование кода 0x01.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Данные								Контрольная сумма
			Тип фрейма								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	m	m+1
0x7E	MSB	LSB	0x10	Frame ID	MSB Destination ID	LSB Destination ID	Options	Data			

Таблица 9

Frame ID – идентификатор фрейма. Назначается произвольно хост системой. Если в данном байте передается значение 0x00, то модем HE передает фрейма с подтверждением отправки пакета в эфир. Если байт Frame ID отличен от 0, то фрейм статуса отправки пакета будет передан модемом хост системе с таким же номером Frame ID.

MSB Destination ID – старший байт ID устройства, которому предназначен пакет.

LSB Destination ID – младший байт ID устройства, которому предназначен пакет.

Options – битовое поле опций. Значение битов приведено в Таблице 10. Установка 1 в нулевом бите будет приводить к отказу от подтверждения доставки данного пакета удаленным модемом. Установка 1 в четвертом бите приведет к отключению режима CCA (Clear Channel Assessment) при передаче данного пакета в эфир. Установка 1 в пятом бите активирует функцию шифрования при передаче данного пакета (ключ шифрования устанавливается с помощью команды «AT KY»). Установка 1 в шестом бите приводит к буферизации пакета. Буферизированный пакета будет отправлен получателю только после получения от него любого сообщения.

№ бита, байта Options	Значение
0	Отключение подтверждения доставки
1	Зарезервировано
2	Зарезервировано
3	Зарезервировано
4	Отключение режима CCA
5	Включение шифрования данных
6	Буферизация пакета
7	Зарезервировано

Таблица 10

Data – поле данных, которые требуется передать на UART удаленного модема. Максимальная длина поля – 39 байт.

5.3.1. Пример API-фрейма 0x01, 0x10

Пример API-фрейма для передачи на UART удаленного модуля последовательности байт 0x00, 0x01, 0x02, 0x03 с подтверждением доставки, с предварительной проверкой чистоты канала (CCA), без шифрования данных и без буферизации пакета:

7E 00 09 10 01 00 02 00 00 11 22 33 86

В Таблице 11 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x09	
Тип фрейма	0x10	
Идентификатор фрейма	0x01	
Адрес получателя	0x00 0x02	
Опции	0x00	С подтверждение доставки и включенным механизмом ССА
Пользовательские данные	0x00 0x11 0x22 0x33	
Контрольная сумма	0x86	

Таблица 11

5.4. API-фрейм с локальной AT-командой и немедленным применением изменений без сохранения их в энергонезависимой памяти (0x07)

С помощью данного фрейма осуществляется передача AT-команды в пакетном режиме от хоста к локальному модему с ее применением непосредственно после получения, но без сохранения в энергонезависимой памяти модема (то есть, после перезагрузки модуля измененный параметр будет установлен в соответствии с настройками, сохраненными в энергонезависимой памяти модема). Фрейм удобно применять для управления локальными линиями ввода/вывода поскольку при его использовании не уменьшается ресурс циклов перезаписи энергонезависимой памяти.

Формат API фрейма приведен в Таблице 12.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Данные							Контрольная сумма
			Тип фрейма							
1	2	3	4	5	6	7	8	...	m	m+1
0x7E	MSB	LSB	0x07	Frame ID	AT command		AT parameter			

Таблица 12

Frame ID – идентификатор фрейма. Назначается произвольно хост системой. Если в данном байте передается значение 0x00, то модем НЕ формирует подтверждение выполнения команды. Если байт Frame ID отличен от 0, то ответ будет передан модемом хосту с таким же номером Frame ID.

AT command – поле AT-команды, 2 байта. В данном поле передается код AT-команды в ASCII формате. Символы передаются в верхнем регистре.

AT parameter – поле данных AT-команды. Данные передаются в шестнадцатеричном виде. Если данное поле не заполняется, то в ответ придет текущее установленное значение параметра.

5.4.1. Пример API-фрейма 0x07

Пример API-фрейма передачи AT-команды L5, определяющей вывод №9 локального модема как цифровой выход с высоким уровнем:

7E 00 05 07 01 4C 35 05 71

В Таблице 13 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x05	
Тип фрейма	0x07	
Идентификатор фрейма	0x01	
AT-команда	0x4C 0x35	Команда L5 в формате ASCII
Параметр	0x05	Установка режима работы вывода DIGITAL OUTPUT HI
Контрольная сумма	0x71	

Таблица 13

5.5. API-фрейм с локальной AT-командой и немедленным применением изменений с сохранением их в энергонезависимой памяти (0x08)

С помощью данного фрейма осуществляется передача AT-команды в пакетном режиме от хоста к локальному модему с ее применением непосредственно после получения и с сохранением в энергонезависимой памяти модема. При использовании данного фрейма необходимо помнить об ограниченном числе циклов перезаписи энергонезависимой памяти модуля (около 100000). Применяется этот фрейм в основном для настройки одиночного параметра.

Формат API фрейма приведен в Таблице 14.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Данные							Контрольная сумма
			Тип фрейма					...	m	
1	2	3	4	5	6	7	8	...	m	m+1
0x7E	MSB	LSB	0x08	Frame ID	AT command		AT parameter			

Таблица 14

Frame ID – идентификатор фрейма. Назначается произвольно хост системой. Если в данном байте передается значение 0x00, то модем НЕ формирует подтверждение выполнения команды. Если байт Frame ID отличен от 0, то ответ будет передан модемом хосту с таким же номером Frame ID.

AT command – поле AT-команды, 2 байта. В данном поле передается код AT-команды в ASCII формате. Символы передаются в верхнем регистре.

AT parameter – поле данных AT-команды. Данные передаются в шестнадцатеричном виде. Если данное поле не заполняется, то в ответ придет текущее установленное значение параметра.

5.5.1. Пример API-фрейма 0x08

Пример API-фрейма передачи AT-команды L5, определяющей вывод №9 локального модема как цифровой выход с высоким уровнем. Сделанное изменение сохраняется в энергонезависимой памяти:

7E 00 05 08 01 4C 35 05 70

В Таблице 15 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x05	
Тип фрейма	0x08	
Идентификатор фрейма	0x01	
AT-команда	0x4C 0x35	Команда L5 в формате ASCII
Параметр	0x05	Установка режима работы вывода DIGITAL OUTPUT HI
Контрольная сумма	0x70	

Таблица 15

5.6. API-фрейм с локальной AT-командой с помещением измененного значения в очередь (0x09)

С помощью данного фрейма осуществляется передача AT-команды в пакетном режиме от хоста к локальному модему с ее применением только после передачи команды AC (при изменении сетевого идентификатора с помощью команды ID, для применения изменений необходимо перегрузить модем, например, с помощью команды CN). Используйте этот фрейм если требуется осуществить настройки нескольких параметров с последующим одновременным сохранением всех сделанных изменений. Такой метод настройки значительно продлевает ресурс энергонезависимой памяти модуля.

Формат API фрейма приведен в Таблице 16.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Данные							Контрольная сумма
			Тип фрейма							
1	2	3	4	5	6	7	8	...	m	m+1
0x7E	MSB	LSB	0x09	Frame ID	AT command		AT parameter			

Таблица 16

Frame ID – идентификатор фрейма. Назначается произвольно хост системой. Если в данном байте передается значение 0x00, то модем НЕ формирует подтверждение выполнения команды. Если байт Frame ID отличен от 0, то ответ будет передан модемом хосту с таким же номером Frame ID.

AT command – поле AT-команды, 2 байта. В данном поле передается код AT-команды в ASCII формате. Символы передаются в верхнем регистре.

AT parameter – поле данных AT-команды. Данные передаются в шестнадцатеричном виде. Если данное поле не заполняется, то в ответ придет текущее установленное значение параметра.

5.6.1. Пример API-фрейма 0x09

Пример API-фрейма передачи AT-команды L5, определяющей вывод №9 локального модема как цифровой выход с высоким уровнем. Сделанное изменение помещается в очередь параметров на запись:

7E 00 05 09 01 4C 35 05 6F

В Таблице 17 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x05	
Тип фрейма	0x09	
Идентификатор фрейма	0x01	
AT-команда	0x4C 0x35	Команда L5 в формате ASCII
Параметр	0x05	Установка режима работы вывода DIGITAL OUTPUT HI
Контрольная сумма	0x6F	

Таблица 17

5.7. API-фрейм для передачи данных на UART удаленного модема без возможности управления режимом передачи/подтверждения (0x0F)

Формат API-фрейма для передачи данных, полученных по UART, удаленному узлу для выдачи их на UART приведен в Таблице 18. Данный фрейм аналогичен фрейму 0x10, но в нем, для увеличения пропускной способности, отсутствует поле Options. Максимальная длина поля данных при этом – 40 байт. При использовании данного типа фрейма подтверждение доставки не осуществляется.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Данные							Контрольная сумма
			Тип фрейма							
1	2	3	4	5	6	7	8	...	m	m+1
0x7E	MSB	LSB	0x0F	Frame ID	MSB Destination ID	LSB Destination ID	Data			

Таблица 18

Frame ID – идентификатор фрейма. Назначается произвольно хост системой. Если в данном байте передается значение 0x00, то модем HE передает подтверждение успешной отправки пакета в эфир. Если байт Frame ID отличен от 0, то фрейм статуса отправки пакета будет передан модемом хост системе с таким же номером Frame ID.

MSB Destination ID – старший байт ID адреса устройства, которому предназначен пакет.

LSB Destination ID – младший байт ID адреса устройства, которому предназначен пакет.

5.7.1. Пример API-фрейма 0x0F

Пример API-фрейма для передачи на UART удаленного модуля последовательности байт 0x00, 0x01, 0x02, 0x03 без подтверждения доставки с предварительной проверкой чистоты канала (CCA):

7E 00 08 0F 01 00 02 00 11 22 33 87

В Таблице 19 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x08	
Тип фрейма	0x0F	
Идентификатор фрейма	0x01	
Адрес получателя	0x00 0x02	
Пользовательские данные	0x00 0x11 0x22 0x33	
Контрольная сумма	0x87	

Таблица 19

5.8. API-фрейм с AT-командой удаленному модему (0x17)

Формат API фрейма для передачи AT-команды удаленному модему приведен в Таблице 20.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Данные										Контрольная сумма
			Тип фрейма	5	6	7	8	9	10	11	...	m	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	...	m	m+1
0x7E	MSB	LSB	0x17	Frame ID	MSB Destination ID	LSB Destination ID	Options	AT command		AT parameter			

Таблица 20

Frame ID – идентификатор фрейма. Назначается произвольно хост системой. Если в данном байте передается значение 0x00, то модем HE передает подтверждение успешной отправки пакета в эфир. Если байт Frame ID отличен от 0, то фрейм статуса отправки пакета будет передан модемом хост системе с таким же номером Frame ID.

MSB Destination ID – старший байт ID адреса устройства, которому предназначен пакет.

LSB Destination ID – младший байт ID адреса устройства, которому предназначен пакет.

Options – битовое поле опций. Значение установки флага (единицы) в соответствующем поле приведено в Таблице 21. Если в 1 и 2 бите установлены нули, все изменения сохраняются в теневой регистр и не будут выполнены до отправки фрейма с командой AC (при изменении сетевого идентификатора с помощью команды ID, для применения изменений необходимо перезагрузить модем, например, с помощью команды CN). При одновременной установке 1-го и 2-го бита, бит 2 имеет приоритет. Установка 1 в четвертом бите приведет к отключению режима CCA (Clear Channel Assessment) при передаче данного пакета в эфир. Установка 1 в пятом бите активирует функцию шифрования при передаче данного пакета (ключ шифрования устанавливается с помощью команды «AT KY»). Установка 1 в шестом бите приводит к буферизации пакета. Буферизированный пакет будет отправлен получателю только после получения от него любого сообщения.

№ бита, байта Options	Значение
0	Отключение подтверждения доставки
1	Применение изменений с сохранением в энергонезависимую память
2	Применение изменений без сохранения в энергонезависимую память (имеет приоритет перед битом 1 при одновременной установке обоих бит)
3	Зарезервировано
4	Отключение режима CCA
5	Включение шифрования данных
6	Буферизация сообщения
7	Зарезервировано

Таблица 21

AT command – поле AT-команды, 2 байта. В данном поле передается код AT-команды в ASCII формате. Символы передаются в верхнем регистре.

AT parameter – поле данных AT-команды. Данные передаются в шестнадцатеричном виде. Если данное поле не заполняется, то в ответ придет текущее установленное значение параметра.

5.8.1. Пример API-фрейма 0x17

Пример API-фрейма передачи AT-команды L5, определяющей вывод №9 удаленного модема как цифровой выход с высоким уровнем. Сделанное изменение применяется сразу после получения пакета и сохраняется в энергонезависимую память:

7E 00 08 17 01 00 02 04 4C 35 05 5B

В Таблице 22 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x08	
Тип фрейма	0x17	
Идентификатор фрейма	0x01	
Адрес получателя	0x00 0x02	
Опции	0x04	
AT-команда	0x4C 0x35	Команда L5 в формате ASCII
Параметр	0x05	Установка режима работы вывода DIGITAL OUTPUT HI
Контрольная сумма	0x5B	

Таблица 22

5.9. API-фрейм с данными, полученными от удаленного модема и предназначенными для выдачи в UART (0x81)

Формат API-фрейма содержащий в себе данные от удаленного модема предназначенные для выдачи их на UART и отправленные в соответствии с типом фрейма 0x01 или 0x10 приведен в Таблице 23.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Данные								Контрольная сумма
			Тип фрейма								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	m	m+1
0x7E	MSB	LSB	0x81	MSB Source ID	LSB Source ID	RSSI	Options	Data			

Таблица 23

MSB Source ID – старший байт ID устройства - источника сообщения.

LSB Source ID – младший байт ID устройства - источника сообщения.

RSSI (Received Signal Strength Indicator) – уровень мощности сигнал+шум на входе приемника на момент приема эфирного пакета. Представляет собой число в дополнительном коде со знаком. Единица измерения - dBm. Используется для оценки абсолютного качества радиолинии. В условиях слабых помех позволяет достаточно точно оценить качество связи. Для обеспечения надежных коммуникаций необходимо поддерживать его на уровне не ниже -70..-80 dBm.

Options – битовое поле (см. Таблица 24). Если модем, приняв пакет, автоматически отправил подтверждение доставки, то бит №0 выставляется в 0. Если принятый пакет был ширококвещательным, то бит №1 выставляется в 1. Если пакет был отправлен с отключенным режимом CCA, то в бит №4 выставляется в 1. Если пакет был зашифрован при отправке, то бит №5 выставляется в 1. Если пакет перед отправкой был буферизирован, то бит №6 выставляется в 1.

№ бита, байта Options	Значение
0	Подтверждение доставки
1	Широковещательный пакет
2	Зарезервировано
3	Зарезервировано
4	Режим CCA
5	Зашифрованы ли данные
6	Буферизация
7	Зарезервировано

Таблица 24

5.9.1. Пример API-фрейма 0x81

Пример API-фрейма с данными для хост-системы. Полученный пакет был отправлен в адресном режиме и на него было передано подтверждение получения:

7E 00 09 81 00 01 D6 00 00 11 22 33 41

В Таблице 25 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x09	
Тип фрейма	0x81	
Адрес источника	0x00 0x01	
RSSI	0xD6	
Опции	0x00	Подтверждение отправлено. Пакет не широковещательный
Пользовательские данные	0x00 0x11 0x22 0x33	
Контрольная сумма	0x41	

Таблица 25

5.10. API-фрейм расширенного формата с данными, полученными от удаленного модема и предназначенными для выдачи в UART (0x82)

Формат API-фрейма содержащий в себе данные от удаленного модема предназначенные для выдачи их на UART и отправленные в соответствии с типом фрейма 0x01 или 0x10, приведен в Таблице 26. В отличии от API-фрейма 0x81, в данный фрейм добавлены поля **Frame ID** и **Previous Hop ID**.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Тип фрейма	Данные										Контрольная сумма
				5	6	7	8	9	10	11	12	...	m	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...	m	m+1
0x7E	MSB	LSB	0x82	MSB Source ID	LSB Source ID	RSSI	Options	Frame ID	MSB Previous Hop ID	LSB Previous Hop ID	Data			

Таблица 26

MSB Source ID – старший байт ID устройства - источника сообщения.

LSB Source ID – младший байт ID устройства - источника сообщения.

RSSI (Received Signal Strength Indicator) – уровень мощности сигнал+шум на входе приемника на момент приема эфирного пакета. Представляет собой число в дополнительном коде со знаком. Единица измерения - dBm. Используется для оценки абсолютного качества радиолинии. В условиях слабых помех позволяет достаточно точно оценить качество связи. Для обеспечения надежных коммуникаций необходимо поддерживать его на уровне не ниже -70..-80 dBm.

Options – битовое поле (см. Таблица 27). Если модем, приняв пакет, автоматически отправил подтверждение доставки, то бит №0 выставляется в 0. Если принятый пакет был ширококвещательным, то бит №1 выставляется в 1. Если пакет был отправлен с отключенным режимом CCA, то в бит №4 выставляется в 1. Если пакет был зашифрован при отправке, то бит №5 выставляется в 1. Если пакет перед отправкой был буферизирован, то бит №6 выставляется в 1.

№ бита, байта Options	Значение
0	Подтверждение доставки
1	Широковещательный пакет
2	Зарезервировано
3	Зарезервировано
4	Режим CCA
5	Зашифрованы ли данные
6	Буферизация
7	Зарезервировано

Таблица 27

Frame ID – идентификатор фрейма, присвоенный данному пакету хостом, сформировавшим пакет. С помощью данного поля хост система может выявлять повторяющиеся пакеты, возникающие при использовании ретрансляторов.

MSB Previous Hop ID – старший байт ID устройства, приславшего данный пакет (при использовании ретрансляторов, может отличаться от источника сообщения).

LSB Previous Hop ID – младший байт ID устройства, приславшего данный пакет (при использовании ретрансляторов, может отличаться от источника сообщения).

5.10.1. Пример API-фрейма 0x82

Пример API-фрейма с данными для хост-системы. Полученный пакет был отправлен в адресном режиме и на него было передано подтверждение получения:

7E 00 0C 82 00 01 BD 00 01 00 01 00 11 22 33 57

В Таблице 28 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x0C	
Тип фрейма	0x82	
Адрес источника	0x00 0x01	
RSSI	0xBD	
Опции	0x00	Подтверждение отправлено. Пакет не широковещательный
Frame ID	0x01	
Previous Hop ID	0x00 0x01	
Пользовательские данные	0x00 0x11 0x22 0x33	
Контрольная сумма	0x57	

Таблица 28

5.11. API-фрейм с данными о текущем состоянии активных линий ввода/вывода на удаленном модеме (0x83)

Формат API-фрейма содержащий в себе данные от удаленного узла с текущим состоянием линий I/O, выдаваемый на UART приведен в Таблице 29.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Данные										Контрольная сумма
			Тип фрейма	5	6	7	8	9	10	11	...	m	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	...	m	m+1
0x7E	MSB	LSB	0x83	MSB Source ID	LSB Source ID	RSSI	Options	Temperature	VBatt	Data			

Таблица 29

MSB Source ID – старший байт ID устройства - источника сообщения.

LSB Source ID – младший байт ID устройства - источника сообщения.

RSSI (Received Signal Strength Indicator) – уровень мощности сигнал+шум на входе приемника на момент приема эфирного пакета. Представляет собой число в дополнительном коде со знаком. Единица измерения - dBm. Используется для оценки абсолютного качества радиолинии. В условиях слабых помех позволяет достаточно точно оценить качество связи. Для обеспечения надежных коммуникаций необходимо поддерживать его на уровне не ниже -70..-80 dBm.

Options – битовое поле (см. Таблица 30). Если принятый пакет был широковещательным, то бит №1 выставляется в 1.

№ бита, байта Options	Значение
1	Широковещательный пакет

Таблица 30

Temperature – температура, измеренная внутренним датчиком модема, приславшего данные. Температура передается в дополнительном коде.

VBatt – напряжение питания модема, приславшего данные. Для получения значения в вольтах, полученное число переводится в десятичный формат и делится на 51.

Data – информация о текущих состояниях активированных линий ввода/вывода. Данные передаются лишь для тех линий, на которых установлен один из режимов работы: ADC, DIGITAL INPUT, DIGITAL OUTPUT, COUNTER INPUT, WAKEUP INPUT. Формат передаваемых данных для каждой линии приведен в Таблице 31.

№ I/O	Mode	Value
-------	------	-------

Таблица 31

№ I/O – номер физического вывода на модуле MBee-868. Длина поля – 1 байт.

Mode – режим работы данного вывода. В старшем бите данного поля передается текущее состояние цифрового входа/выхода. Длина поля – 1 байт.

Value – текущее значение параметра. Данное поле заполняется для режимов работы вывода – ADC и COUNTER INPUT, для прочих режимов данное поле отсутствует. Длина поля Value для режима ADC равна 2 байтам (старшим байтом вперед). Для получения значения на соответствующем аналоговом входе в вольтах необходимо полученное значение

умножить на 2,5 (опорное напряжение) и разделить на 4096 (число уровней квантования).
 Длина поля Value для режима COUNTER INPUT равна 4-м байтам (старшим байтом вперед).

5.11.1. Пример пакета полученных от удаленного узла данных о текущем состоянии линий I/O

Пример поступающего на UART интерфейс пакета от удаленного модема, расположенного на плате MB-Tag-1.2, содержащий данные о текущем состоянии цифровых и аналоговых линий ввода/вывода:

7E 00 21 83 00 01 E5 02 17 A0 04 83 06 0E 00 00 00 00 09 04 1D 02 FF FF 1F 04 21 02 FF FF 22 0D 00 00 00 00 A5

В Таблице 32 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x21	
Тип фрейма	0x83	
Адреса источника	0x00 0x01	
RSSI	0xE5	
Опции	0x02	Входящий пакет – широковещательный.
Температура	0x17	Температура модема + 23 С.
Напряжение питания	0xA0	Напряжение питания радиомодуля +3,14 В.
Данные I/O	0x04 0x83	Вывод №4 настроен как цифровой вход. Текущее состояние – высокий уровень.
	0x06 0x0E 0x00 0x00 0x00 0x00	Вывод № 6 настроен как счетный вход №2. Текущее число подсчитанных импульсов равно 0.
	0x09 0x04	Вывод №9 настроен как цифровой выход. Текущее состояние – низкий уровень.
	0x1D 0x02 0xFF 0xFF	Вывод №29 настроен как аналоговый вход.
	0x1F 0x04	Вывод №31 настроен как цифровой выход с низким уровнем. Напряжение на входе близко к 0.
	0x21 0x02 0xFF 0xFF	Вывод №33 настроен как аналоговый вход. Напряжение на входе близко к 0.
	0x22 0x0D 0x00 0x00 0x00 0x00	Вывод №34 настроен как счетный вход №1. Текущее число подсчитанных импульсов равно 0.
Контрольная сумма	0xA5	

Таблица 32

5.12. API-фрейм расширенного формата с данными о текущем состоянии активных линий ввода/вывода на удаленном модеме (0x84)

Формат API-фрейма содержащий в себе данные от удаленного узла с текущим состоянием линий I/O, выдаваемый на UART приведен в Таблице 33. В отличие от API-фрейма 0x83, в данный фрейм добавлены поля **Frame ID** и **Previous Hop ID**.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Данные												Контрольная сумма
			Тип фрейма	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	...	
0x7E	MSB	LSB	0x84	MSB Source ID	LSB Source ID	RSSI	Options	Frame ID	MSB Previous Hop ID	LSB Previous Hop ID	Temperature	VBatt	Data		m+1

Таблица 33

MSB Source ID – старший байт ID устройства - источника сообщения.

LSB Source ID – младший байт ID устройства - источника сообщения.

RSSI (Received Signal Strength Indicator) – уровень мощности сигнал+шум на входе приемника на момент приема эфирного пакета. Представляет собой число в дополнительном коде со знаком. Единица измерения - dBm. Используется для оценки абсолютного качества радиолинии. В условиях слабых помех позволяет достаточно точно оценить качество связи. Для обеспечения надежных коммуникаций необходимо поддерживать его на уровне не ниже -70..-80 dBm.

Options – битовое поле (см. Таблица 34). Если принятый пакет был ширококестельным, то бит №1 выставляется в 1.

№ бита, байта Options	Значение
1	Ширококестельный пакет

Таблица 34

Frame ID – идентификатор фрейма, присвоенный пакету удаленным модемом. При отправке нового пакета с данными о текущем состоянии активных линий ввода/вывода происходит увеличение значения в данном поле на единицу. С помощью данного поля хост система может выявлять повторяющиеся пакеты.

MSB Previous Hop ID – старший байт ID устройства, приславшего данный пакет (при использовании ретрансляторов, может отличаться от источника сообщения).

LSB Previous Hop ID – младший байт ID устройства, приславшего данный пакет (при использовании ретрансляторов, может отличаться от источника сообщения).

Temperature – температура, измеренная внутренним датчиком модема, приславшего данные. Температура передается в дополнительном коде.

VBatt – напряжение питания модема, приславшего данные. Для получения значения в вольтах, полученное число переводится в десятичный формат и делится на 51.

Data – информация о текущих состояниях активированных линий ввода/вывода. Данные передаются лишь для тех линий, на которых установлен один из режимов работы: ADC, DIGITAL INPUT, DIGITAL OUTPUT, COUNTER INPUT, WAKEUP INPUT. Формат передаваемых данных для каждой линии приведен в Таблице 35.

№ I/O	Mode	Value
-------	------	-------

Таблица 35

№ I/O – номер физического вывода на модуле MBee-868. Длина поля – 1 байт.

Mode – режим работы данного вывода. В старшем бите данного поля передается текущее состояние цифрового входа/выхода. Длина поля – 1 байт.

Value – текущее значение параметра. Данное поле заполняется для режимов работы вывода – ADC и COUNTER INPUT, для прочих режимов данное поле отсутствует. Длина поля Value для режима ADC равна 2 байтам (старшим байтом вперед). Для получения значения на соответствующем аналоговом входе в вольтах необходимо полученное значение умножить на 2,5 (опорное напряжение) и разделить на 4096 (число уровней квантования). Длина поля Value для режима COUNTER INPUT равна 4-м байтам (старшим байтом вперед).

5.12.1. Пример пакета полученных от удаленного узла данных о текущем состоянии линий I/O

Пример поступающего на UART интерфейс пакета от удаленного модема, расположенного на плате MB-Tag-1.2, содержащий данные о текущем состоянии цифровых и аналоговых линий ввода/вывода:

7E 00 24 84 00 03 E7 02 C3 00 03 1A A7 04 83 06 0E 00 00 00 00 09 04 1D 02 04 8A 1F 04 21 02 04 ED 22 0D 00 00 00 00 4D

В Таблице 36 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x24	
Тип фрейма	0x84	
Адреса источника	0x00 0x03	
RSSI	0xE7	
Опции	0x02	Входящий пакет – широкопередаточный.
Frame ID	0xC3	
Previous Hop ID	0x00 0x03	
Температура	0x1A	Температура модема + 26 С.
Напряжение питания	0xA7	Напряжение питания радиомодуля +3,27 В.
Данные I/O	0x04 0x83	Вывод №4 настроен как цифровой вход. Текущее состояние – высокий уровень.
	0x06 0x0E 0x00 0x00 0x00 0x00	Вывод № 6 настроен как счетный вход №2. Текущее число подсчитанных импульсов равно 0.
	0x09 0x04	Вывод №9 настроен как цифровой выход. Текущее состояние – низкий уровень.
	0x1D 0x02 0x04 0x8A	Вывод №29 настроен как аналоговый вход.
	0x1F 0x04	Вывод №31 настроен как цифровой выход с низким уровнем. Напряжение на входе близко к 0.
	0x21 0x02 0x04 0xED	Вывод №33 настроен как аналоговый вход. Напряжение на входе близко к 0.
	0x22 0x0D 0x00 0x00 0x00 0x00	Вывод №34 настроен как счетный вход №1. Текущее число подсчитанных импульсов равно 0.
Контрольная сумма	0x4D	

Таблица 36

5.13. API-фрейм статуса выполнения локальной AT-команды (0x87)

Данный фрейм высылается в ответ на AT-команду локальному модему, переданную в пакетном режиме с типом фрейма 0x07.

Формат API фрейма статуса выполнения AT-команды, переданной в пакетном режиме локальному модему приведен в Таблице 37.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Данные								Контрольная сумма
			Тип фрейма						...	m	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	m	m+1
0x7E	MSB	LSB	0x87	Frame ID	AT command	Status	AT parameter				

Таблица 37

Frame ID – идентификатор фрейма.

AT command – поле AT-команды, 2 байта. В данном поле передается код AT-команды, в ASCII формате. Символы передаются в верхнем регистре.

Status – статус отправленного фрейма. Возможные значения приведены в Таблице 38.

Название	Значение	Описание
Ok	0x00	Выполнено
Error	0x01	Недостаточно памяти для выполнения команды.
Invalid code	0x02	Недопустимый код AT-команды
Invalid parameter	0x03	Недопустимое значение параметра

Таблица 38

AT parameter – поле данных AT-команды. Передается только если команда запрашивала данные.

5.13.1. Пример API-фрейма 0x87

Пример API-фрейма статуса выполнения локальной AT-команды

7E 00 05 87 01 4C 35 00 F6

В Таблице 39 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x05	
Тип фрейма	0x87	
Идентификатор фрейма	0x01	
AT-команда	0x4C 0x35	Команда L5 в формате ASCII
Статус	0x00	Команда выполнена успешно
Контрольная сумма	0xF6	

Таблица 39

5.14. API-фрейм статуса выполнения локальной AT-команды (0x88)

Данный фрейм высылается в ответ на AT-команду локальному модему, переданную в пакетном режиме с типом фрейма 0x08.

Формат API фрейма статуса выполнения AT-команды, переданной в пакетном режиме локальному модему приведен в Таблице 40.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Данные							Контрольная сумма	
			Тип фрейма								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	m	m+1
0x7E	MSB	LSB	0x88	Frame ID	AT command	Status	AT parameter				

Таблица 40

Frame ID – идентификатор фрейма.

AT command – поле AT-команды, 2 байта. В данном поле передается код AT-команды, в ASCII формате. Символы передаются в верхнем регистре.

Status – статус отправленного фрейма. Возможные значения приведены в Таблице 41.

Название	Значение	Описание
Ok	0x00	Выполнено
Error	0x01	Недостаточно памяти для выполнения команды.
Invalid code	0x02	Недопустимый код AT-команды
Invalid parameter	0x03	Недопустимое значение параметра

Таблица 41

AT parameter – поле данных AT-команды.

5.14.1. Пример API-фрейма 0x88

Пример API фрейма статуса выполнения локальной AT-команды:

7E 00 05 88 01 4C 35 00 F5

В Таблице 42 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x05	
Тип фрейма	0x88	
Идентификатор фрейма	0x01	
AT-команда	0x4C 0x35	Команда L5 в формате ASCII
Статус	0x00	Команда выполнена успешно
Контрольная сумма	0xF5	

Таблица 42

5.15. API-фрейм статуса выполнения локальной AT-команды (0x89)

Данный фрейм высылается в ответ на AT-команду локальному модему, переданную в пакетном режиме с типом фрейма 0x09.

Формат API фрейма статуса выполнения AT-команды, переданной в пакетном режиме локальному модему приведен в Таблице 43.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Данные								Контрольная сумма
			Тип фрейма								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	m	m+1
0x7E	MSB	LSB	0x89	Frame ID	AT command	Status	AT parameter				

Таблица 43

Frame ID – идентификатор фрейма.

AT command – поле AT-команды, 2 байта. В данном поле передается код AT-команды, в ASCII формате. Символы передаются в верхнем регистре.

Status – статус отправленного фрейма. Возможные значения приведены в Таблице 44.

Название	Значение	Описание
Ok	0x00	Выполнено
Error	0x01	Недостаточно памяти для выполнения команды.
Invalid code	0x02	Недопустимый код AT-команды
Invalid parameter	0x03	Недопустимое значение параметра

Таблица 44

AT parameter – поле данных AT-команды.

5.15.1. Пример API фрейма статуса выполнения AT-команды

Пример API фрейма статуса выполнения локальной AT-команды:

7E 00 05 89 01 4C 35 00 F4

В Таблице 45 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x05	
Тип фрейма	0x89	
Идентификатор фрейма	0x01	
AT-команда	0x4C 0x35	Команда L5 в формате ASCII
Статус	0x00	Команда выполнена успешно
Контрольная сумма	0xF4	

Таблица 45

5.16. Формат API фрейма статуса модема (0x8A)

API-фрейм 0x8A передается модемом в UART после включения питания, а также после аппаратного или программного сброса. Данный API фрейм передается только при работе модема в пакетном режиме в направлении хоста и информирует хост систему о причине инициализации модема.

Формат API фрейма статуса модема приведен в Таблице 46.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Данные		Контрольная сумма
			Тип фрейма		
1	2	3	4	5	6
0x7E	MSB	LSB	0x8A	Status	

Таблица 46

Status – байт содержащий информацию о причине инициализации модема. Возможные варианты приведены в Таблице 47.

Название	Значение	Описание
PowerUp	0x00	Включение питания.
Reset	0x01	Перезагрузка после активации входа RESET или после программного рестарта модуля.

Таблица 47

5.16.1. Пример API-фрейма 0x8A

Пример API фрейма от локального модуля после его загрузки:

7E 00 02 8A 01 74

В Таблице 48 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x02	
Тип фрейма	0x8A	
Статус	0x01	Инициализация после нажатия кнопки RESET
Контрольная сумма	0x74	

Таблица 48

5.17. API-фрейм статуса отправки пакета (0x8B)

Формат входящего API фрейма статуса отправки пакета приведен в Таблице 49. Данный фрейм отправляется локальным модемом хост системе в ответ на пакет с типом фрейма 0x01, 0x10, 0x17. Данный фрейм содержит в себе информацию о статусе отправки по радиоканалу или ошибке в формате AT-команды, содержащейся в фрейме.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Данные							Контрольная сумма
			Тип фрейма	5	6	7	8	9	10	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0x7E	MSB	LSB	0x8B	Frame ID	MSB Destination ID	LSB Destination ID	TX Retry Count	Status	Reserve	

Таблица 49

Frame ID – идентификатор фрейма.

MSB Destination ID – старший байт ID адреса устройства, которому предназначен пакет.

LSB Destination ID – младший байт ID адреса устройства, которому предназначен пакет.

TX Retry Count – счетчик попыток отправки пакета в эфир. При включенном режиме CCA модем отправляет пакет в эфир только в случае если он (эфир) в данный момент свободен. Количество попыток отправки ограничено.

Status – статус отправки. Возможные значения приведены в Таблице 50.

Название	Значение	Описание
Ok	0x00	Выполнено.
Error	0x01	Недостаточно памяти для выполнения команды.
Invalid code	0x02	Недопустимый код AT-команды.
Invalid parameter	0x03	Недопустимое значение параметра.
TX failure	0x04	Сообщение не отправлено.

Таблица 50

5.17.1. Пример API-фрейма 0x8B

Пример API фрейма статуса отправки пакета:

7E 00 07 8B 01 00 02 01 00 00 70

В Таблице 51 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x07	
Тип фрейма	0x8B	
Идентификатор фрейма	0x01	
Адрес получателя	0x00 0x02	
Счетчик попыток отправки	0x01	Отправлено с первого раза
Статус отправки	0x00	Сообщение отправлено
Байт зарезервирован	0x00	
Контрольная сумма	0x70	

Таблица 51

5.18. API-фрейм подтверждения доставки пакета (0x8C)

Формат входящего API фрейма подтверждающего доставку пакета с типом фрейма 0x01 или 0x10 удаленному модему (при условии, что был выставлен запрос подтверждения) приведен в Таблице 52.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Данные						Контрольная сумма
			Тип фрейма						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0x7E	MSB	LSB	0x8C	MSB Source ID	LSB Source ID	RSSI	Options	Frame ID	

Таблица 52

MSB Source ID – старший байт ID устройства - источника сообщения.

LSB Source ID – младший байт ID устройства - источника сообщения.

RSSI (Received Signal Strength Indicator) – уровень мощности сигнал+шум на входе приемника на момент приема эфирного пакета. Представляет собой число в дополнительном коде со знаком. Единица измерения - dBm. Используется для оценки абсолютного качества радиолинии. В условиях слабых помех позволяет достаточно точно оценить качество связи. Для обеспечения надежных коммуникаций необходимо поддерживать его на уровне не ниже -70..-80 dBm.

Options – битовое поле, для данного пакета всегда равно 0.

Frame ID – идентификатор фрейма.

5.18.1. Пример API-фрейма 0x8C

Пример API фрейма подтверждения доставки пакета:

7E 00 06 8C 00 02 E4 00 01 8C

В Таблице 53 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x06	
Тип фрейма	0x8C	
Адрес получателя	0x00 0x02	
RSSI	0xE4	
Байт зарезервирован	0x00	
Идентификатор фрейма	0x01	
Контрольная сумма	0x8C	

Таблица 53

5.19. API-фрейм с данными, полученными от удаленного модема и предназначенными для выдачи в UART (0x8F)

Формат API-фрейма содержащий в себе данные от удаленного узла предназначенные для выдачи их на UART и отправленные в соответствии с типом фрейма 0x0F приведен в Таблице 54.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Данные								Контрольная сумма
			Тип фрейма								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	m	m+1
0x7E	MSB	LSB	0x8F	MSB Source ID	LSB Source ID	RSSI	Options	Data			

Таблица 54

MSB Source ID – старший байт ID устройства - источника сообщения.

LSB Source ID – младший байт ID устройства - источника сообщения.

RSSI (Received Signal Strength Indicator) – уровень мощности сигнал+шум на входе приемника на момент приема эфирного пакета. Представляет собой число в дополнительном коде со знаком. Единица измерения - dBm. Используется для оценки абсолютного качества радиолинии. В условиях слабых помех позволяет достаточно точно оценить качество связи. Для обеспечения надежных коммуникаций необходимо поддерживать его на уровне не ниже -70..-80 dBm.

Options – битовое поле (см. Таблица 55). Если принятый пакет был широковещательным, то бит №1 выставляется в 1.

№ бита, байта Options	Значение
1	Широковещательный пакет

Таблица 55

5.19.1. Пример API-фрейма 0x8F

Пример API-фрейма с данными для хост-системы. Полученный пакет был отправлен в адресном режиме без опций передачи:

7E 00 09 8F 00 01 EC 00 00 11 22 33 1D

В Таблице 56 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x09	
Тип фрейма	0x8F	
Адрес источника	0x00 0x01	
RSSI	0xEC	
Байт опций	0x00	Пакет не широковещательный
Данные	0x00 0x11 0x22 0x33	Пользовательские данные
Контрольная сумма	0x1D	

Таблица 56

5.20. API-фрейм расширенного формата с данными, полученными от удаленного модема и предназначенными для выдачи в UART (0x90)

Формат API-фрейма содержащий в себе данные от удаленного узла предназначенные для выдачи их на UART и отправленные в соответствии с типом фрейма 0x0F приведен в Таблице 57. В отличие от API-фрейма 0x8F, в данный фрейм добавлены поля **Frame ID** и **Previous Hop ID**.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Данные											Контрольная сумма
			Тип фрейма	5	6	7	8	9	10	11	12	...	m	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...	m	m+1
0x7E	MSB	LSB	0x90	MSB Source ID	LSB Source ID	RSSI	Options	Frame ID	MSB Previous Hop ID	LSB Previous Hop ID	Data			

Таблица 57

MSB Source ID – старший байт ID устройства – источника сообщения.

LSB Source ID – младший байт ID устройства - источника сообщения.

RSSI (Received Signal Strength Indicator) – уровень мощности сигнал+шум на входе приемника на момент приема эфирного пакета. Представляет собой число в дополнительном коде со знаком. Единица измерения - dBm. Используется для оценки абсолютного качества радиолинии. В условиях слабых помех позволяет достаточно точно оценить качество связи. Для обеспечения надежных коммуникаций необходимо поддерживать его на уровне не ниже -70..-80 dBm.

Options – битовое поле (см. Таблица 58). Если принятый пакет был широкопередаточным, то бит №1 выставляется в 1.

№ бита, байта Options	Значение
1	Широкопередаточный пакет

Таблица 58

Frame ID – идентификатор фрейма, присвоенный данному пакету хостом, сформировавшим пакет или модемом, если он работает в прозрачном режиме в направлении от хоста к модему. В случае, если идентификатор присваивается модемом, при отправке нового пакета с данными происходит увеличение значения в данном поле на единицу. С помощью данного поля хост система может выявлять повторяющиеся пакеты.

MSB Previous Hop ID – старший байт ID устройства, приславшего данный пакет (при использовании ретрансляторов, может отличаться от источника сообщения).

LSB Previous Hop ID – младший байт ID устройства, приславшего данный пакет (при использовании ретрансляторов, может отличаться от источника сообщения).

5.20.1. Пример API-фрейма 0x90

Пример API-фрейма с данными для хост-системы. Полученный пакет был отправлен в адресном режиме без опций передачи:

7E 00 0C 90 00 03 C1 02 38 00 03 00 11 22 33 08

В Таблице 59 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x0C	
Тип фрейма	0x90	
Адрес источника	0x00 0x03	
RSSI	0xC1	
Опции	0x02	Пакет широковещательный
Frame ID	0x38	
Previous Hop ID	0x00 0x03	
Данные	0x00 0x11 0x22 0x33	Пользовательские данные
Контрольная сумма	0x08	

Таблица 59

5.21. API-фрейм ответа на AT-команду удаленному модему (0x97)

Формат API фрейма, содержащего в себе ответ удаленного модема на переданную ему AT-команду, отправленную в соответствии с типом фрейма 0x17, приведен в Таблице 60.

Стартовый байт	Длина API фрейма		Данные										Контрольная сумма	
			Тип фрейма	5	6	7	8	9	10	11	12	...		m
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...	m	m+1
0x7E	MSB	LSB	0x97	MSB Source ID	LSB Source ID	RSSI	Options	AT command	Status	AT parameter				

Таблица 60

MSB Source ID – старший байт ID устройства - источника сообщения.

LSB Source ID – младший байт ID устройства - источника сообщения.

RSSI (Received Signal Strength Indicator) – уровень мощности сигнал+шум на входе приемника на момент приема эфирного пакета. Представляет собой число в дополнительном коде со знаком. Единица измерения - dBm.

Options – зарезервировано.

AT command – поле AT-команды, 2 байта. В данном поле передается код выполненной AT-команды, в ASCII формате. Символы передаются в верхнем регистре.

Status – статус выполнения полученной команды. Возможные варианты приведены в Таблице 61.

Название	Значение	Описание
Ok	0x00	Выполнено
Invalid code command	0x02	Недопустимый код AT-команды.

Таблица 61

AT parameter – поле данных AT-команды. Присутствует только если команда запрашивала параметр.

5.21.1. Пример API-фрейма 0x97

Пример API фрейма, полученного от удаленного узла пакета:

7E 00 09 97 00 02 E8 00 4C 35 00 05 F8

В Таблице 62 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x09	
Тип фрейма	0x97	
Адрес источника	0x00 0x02	
RSSI	0xE8	
Байт опций	0x00	
AT-команда	0x4C 0x35	Была выполнена команда L5 (чтение установленного значения)
Статус	0x00	Выполнено
AT параметр	0x05	AT параметр – 5 (цифровой выход, высокий уровень)
Контрольная сумма	0xF8	

Таблица 62

5.22. API-фрейм расширенного формата ответа на AT-команду удаленному модему (0x98)

Формат API фрейма, содержащего в себе ответ удаленного модема на переданную ему AT-команду, отправленную в соответствии с типом фрейма 0x17, приведен в Таблице 63. В отличие от API-фрейма 0x97, в данный фрейм добавлены поля **Frame ID** и **Previous Hop ID**.

Стартовый байт	Длина API фрейма			Данные													Контрольная сумма
				Тип фрейма	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	...	
0x7E	MSB	LSB	0x98	MSB Source ID	LSB Source ID	RSSI	Options	Frame ID	MSB Previous Hop ID	LSB Previous Hop ID	AT command	Status	AT parameter			m+1	

Таблица 63

MSB Source ID – старший байт ID устройства - источника сообщения.

LSB Source ID – младший байт ID устройства - источника сообщения.

RSSI (Received Signal Strength Indicator) – уровень мощности сигнал+шум на входе приемника на момент приема эфирного пакета. Представляет собой число в дополнительном коде со знаком. Единица измерения - dBm. Используется для оценки абсолютного качества радиолинии. В условиях слабых помех позволяет достаточно точно оценить качество связи. Для обеспечения надежных коммуникаций необходимо поддерживать его на уровне не ниже -70..-80 dBm.

Options – зарезервировано.

Frame ID – идентификатор фрейма, повторяющий идентификатор фрейма с AT-командой, в ответ на которую получено данное сообщение.

MSB Previous Hop ID – старший байт ID устройства, приславшего данный пакет (при использовании ретрансляторов, может отличаться от источника сообщения).

LSB Previous Hop ID – младший байт ID устройства, приславшего данный пакет (при использовании ретрансляторов, может отличаться от источника сообщения).

AT command – поле AT-команды, 2 байта. В данном передается код выполненной AT-команда, в ASCII формате. Символы передаются в верхнем регистре.

Status – статус выполнения полученной команды. Возможные варианты приведены в Таблице 64.

Название	Значение	Описание
Ok	0x00	Выполнено
Invalid code command	0x02	Недопустимый код AT-команды.

Таблица 64

AT parameter – поле данных AT-команды. Присутствует только если команда запрашивала параметр.

5.22.1. Пример API-фрейма 0x98

Пример API фрейма, полученного от удаленного узла пакета:

7E 00 0C 98 00 03 C3 00 50 00 03 4C 35 00 05 C8

В Таблице 65 приведена расшифровка полей данного пакета.

Поле	Содержимое	Расшифровка
Стартовый байт	0x7E	
Длина пакета	0x00 0x0C	
Тип фрейма	0x98	
Адрес источника	0x00 0x03	
RSSI	0xC3	
Опции	0x00	
Frame ID	0x50	
Previous Hop ID	0x00 0x03	
AT-команда	0x4C 0x35	Была выполнена команда L5 (чтение установленного значения)
Статус	0x00	Выполнено
AT параметр	0x05	AT параметр – 5 (цифровой выход, высокий уровень)
Контрольная сумма	0xC8	

Таблица 65

5.23. Контрольная сумма

При проверке целостности данных контрольная сумма рассчитывается и проверяется на необработанных данных.

Порядок расчета: сложить все байты, исключая первые 3 байта - стартовый байт и 2 байта длины фрейма, а затем вычесть младшие 8 бит результата из 0xFF.

Для проверки: сложить все байты, включая контрольную сумму, исключив первые 3 байта - стартовый байт и 2 байта длины фрейма. Если контрольная сумма правильная, результат будет равен 0xFF.

ПРИМЕР расчета контрольной суммы:

Отправляем 2 байта данных 0x12 и 0x34 удаленному узлу с адресом 0x02.

Тип фрейма: 0x01.

Складываем все байты, кроме трех первых: $0x01 + 0x02 + 0x12 + 0x34 = 0x49$

Вычитаем из 0xFF полученное значение: $0xFF - 0x49 = 0xB6$

Получаем кадр: 7E 00 07 01 00 00 02 00 12 34 B6

5.24. Буферизация

Для обеспечения взаимодействия с модемами, работающими в энергосберегающем режиме (спящими узлами), в ПО SerialStar реализована возможность буферизации передаваемых сообщений. Буферизация доступна только в пакетном режиме работы модема. При получении любого пакета по эфиру, осуществляется сравнение адресом источника этого пакета с адресами получателей пакетов, имеющихся в буфере. Если эти адреса совпадают, то пакет из буфера немедленно отправляется получателю. При этом он помечается как отправленный и на его место может быть записан другой пакет.

Для управления буферизацией используется бит №6 в поле **Options** для типов фреймов с кодом 0x01, 0x10, 0x17. Установка в данном бите значения 1, при передаче пакета от хоста модему, сообщает последнему о необходимости поместить данное сообщение в буфер.

В памяти модема может храниться до 10 сообщений для различных адресатов (не более одного для каждого). Каждое новое сообщение, которое необходимо поместить в буфер, сначала проверяется по полю получателя. При наличии в буфере пакета для данного адресата, он заменяется новым. Если сообщение для данного получателя в буфере отсутствует, то программа пытается обнаружить любое сообщение, помеченное как отправленное. Если таковых в нем не окажется, то сообщение помещается в первую ячейку буфера, перезаписывая ее содержимое. При приеме следующего сообщения, которое не удалось разместить в буфере с использованием первых двух правил, оно записывается в ячейку №2. И так далее по кругу, то есть после перезаписи последней 10-й ячейки, следующее сообщение перезапишет ячейку №1.

6. РЕТРАНСЛЯЦИЯ ПАКЕТОВ

Каждый узел сети может работать в качестве ретранслятора. Наличие ретрансляторов позволяет значительно расширить возможности сети за счет применения более сложных, по сравнению с простой звездой, сетевых топологий. Для активации данной функции необходимо включить соответствующую опцию с помощью AT-команды «DM» (Device Mode), установив бит №2 равным единице. Чтобы не изменить прочие параметры, управляемые этой командой, рекомендуется предварительно считать действующее значение параметра, установить в считанном байте бит №2 и записать его обратно.

Активация функции включения в пакет полей `Frame ID` и `Previous Hop ID` (с помощью AT-команды «DM» (Device Mode), установив бит №6 равным единице), позволяет организовывать межсетевые ретрансляторы, практически неограниченно расширяя емкость сети.

Узел, предназначенный для ретрансляции, должен всегда быть в состоянии приема, поэтому спящий режим необходимо выключить, установив параметр AT-команды «SM» равным 0. Активация режима ретрансляции никоим образом не влияет на все прочие функции узла, полностью сохраняется поддержка цифровых и аналоговых линий ввода/вывода, интерфейса UART и т.д.

Все ретрансляторы сети используют простую и надежную статическую маршрутизацию. Это означает, что маршруты для каждого ретранслятора должны быть определены и записаны на этапе развертывания сети. Наиболее распространенной сетевой архитектурой является «звезда», которая подразумевает что основной массив данных передается от конечных устройств (датчиков) к единому концентратору. При использовании ретрансляторов, предполагается, что концентратор всегда имеет адрес 0x01. Для всех прочих узлов адрес может назначаться произвольно. Маршрутизация на ретрансляторах определяется всего двумя параметрами – адресами «вышестоящего» и «нижестоящего» ретрансляторов (Рисунок 4). Первый параметр управляется AT-командой «UR» (Uplink Repeater). С ее помощью записывается адрес ретранслятора, расположенного «ближе» к концентратору. Устройству с данным адресом будут ретранслироваться все пакеты, полученные от конечных устройств и от более удаленных ретрансляторов, предназначенные концентратору. Если настраиваемый ретранслятор передает данные от конечных узлов сразу концентратору (является ближайшим к концентратору или единственным в луче), то адрес Uplink Repeater не изменяется и остается равным 0x01. Запись адреса ретранслятора, предназначенного для передачи команд конечным устройствам, осуществляется с помощью AT-команды «DR» (Downlink Repeater). Если настраиваемый ретранслятор является последним (или единственным) в сети, то адрес Downlink Repeater не изменяется и остается равным 0x01.

При ретрансляции содержимое поля данных исходного пакета не изменяется. Не изменяется также идентификатор пакета, который был присвоен ему источником сообщения. С помощью этого идентификатора обеспечивается возможность получения подтверждения доставки. При отправке пакета применение режима передачи CCA (Clear Channel Assessment) определяется параметром, устанавливаемым AT-командой «DM» на данном ретрансляторе.

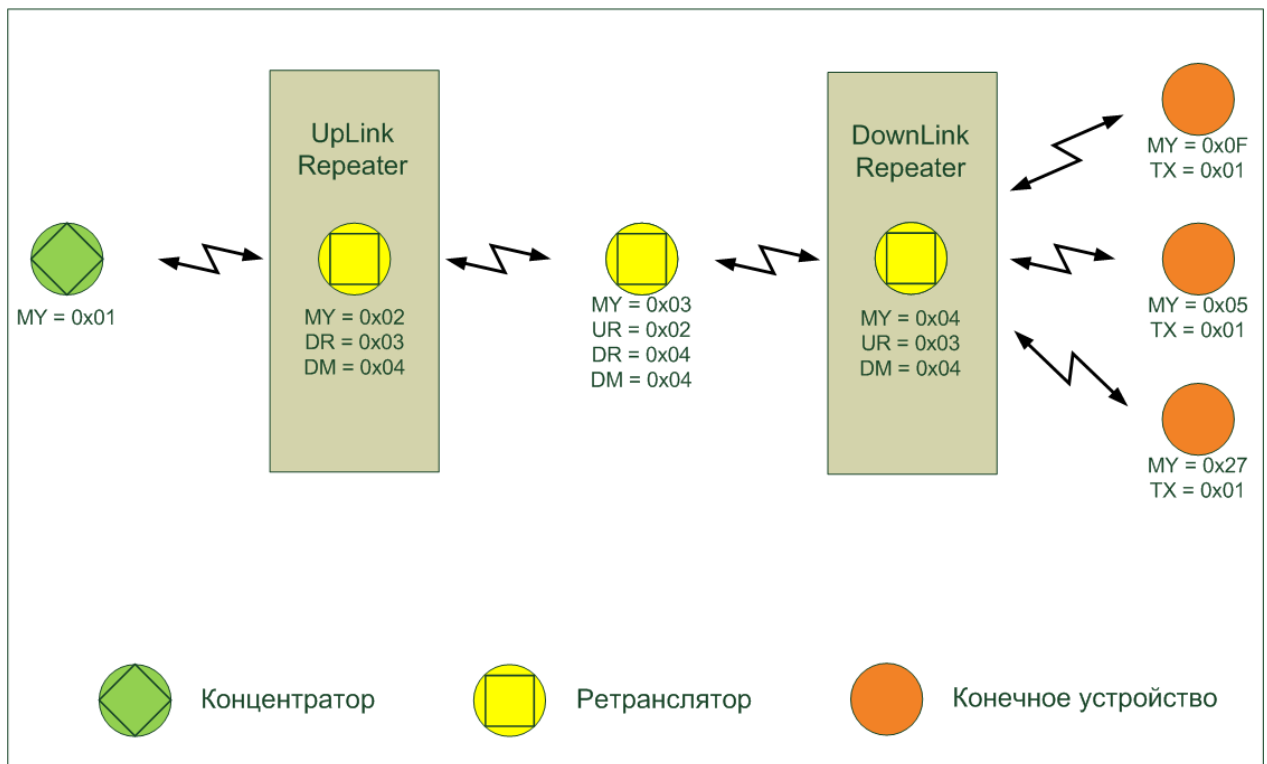


Рисунок 4

Использование ретрансляторов имеет некоторые особенности и налагает определенные ограничения, которые надо понимать на этапе планирования сети с ретрансляторами:

- Поскольку все пакеты, передаваемые от конечных устройств, передаются по одному и тому же маршруту, выход из строя хотя бы одного ретранслятора на этом маршруте приведет к потере данных от всех узлов, пользовавшихся им, при условии отсутствия дублирования магистрального канала.
- При передаче пакетов концентратором в сторону конечного устройства, месторасположение его заранее неизвестно, следовательно, для обеспечения доставки, один и тот же пакет будет автоматически отправлен по всем «лучам» звезды одновременно всеми ретрансляторами, находящимися в зоне радиовидимости концентратора. Этот факт следует учитывать при оценке пропускной способности сети с ретрансляторами.
- Концентратор не требует никаких дополнительных настроек при работе в сети с ретрансляторами. Параметры AT-команд «UR» и «DR» могут быть произвольными. Обязательным является только его собственный адрес 0x01 (управляется AT-командой «MY»).
- В качестве адреса получателя (параметр, устанавливаемый AT-командой «TX») на всех конечных устройствах должен быть установлен адрес концентратора 0x01.
- Если в зоне покрытия конечного устройства находятся несколько ретрансляторов, то пакет от него будет передан в сторону концентратора всеми ретрансляторами. Таким образом, на концентратор поступят несколько одинаковых сообщений от одного и того же конечного устройства. Программа, работающая на хост-системе, подключенной к радиомодулю концентратора сможет всегда отфильтровать дублированные пакеты, поскольку они все будут иметь один и тот же идентификатор фрейма.
- В сети возможна ретрансляция пакетов, у которых в качестве адреса получателя указан широковещательный 0xFFFF. Если на данном ретрансляторе разрешен прием

таких пакетов (управляется битом №0, параметра АТ-команды «DM»), то ретранслятор воспримет его как адресованный самому себе. Таким образом, если принятый пакет содержит команду, то она будет сначала исполнена данным ретранслятором и только потом ретранслирована. Если же выполнение команды на ретрансляторе не требуется, то достаточно запретить это, установив бит №0 равным единице в параметре АТ-команды «DM». В этом случае пакет будет просто ретранслирован дальше. За счет этой особенности возможна одновременная отправка одной и той же команды всем узлам сети. Однако, следует избегать отправки ширококвещательных пакетов с установленным битом подтверждения приема, так как это может привести к сетевому шквалу.

6.1. Использование ретрансляторов для организации сети с топологией «Точка-точка»

Схема беспроводной сети с топологией «точка-точка» с использованием ретранслятора приведена на Рисунке 5. Для развертывания сети с данной топологией, после инсталляции программного обеспечения в модули требуется лишь изменить параметр Device Mode с помощью АТ-команды «DM», установив в нем значение 0x04. Данное изменение вводит модем в режим работы ретранслятором.

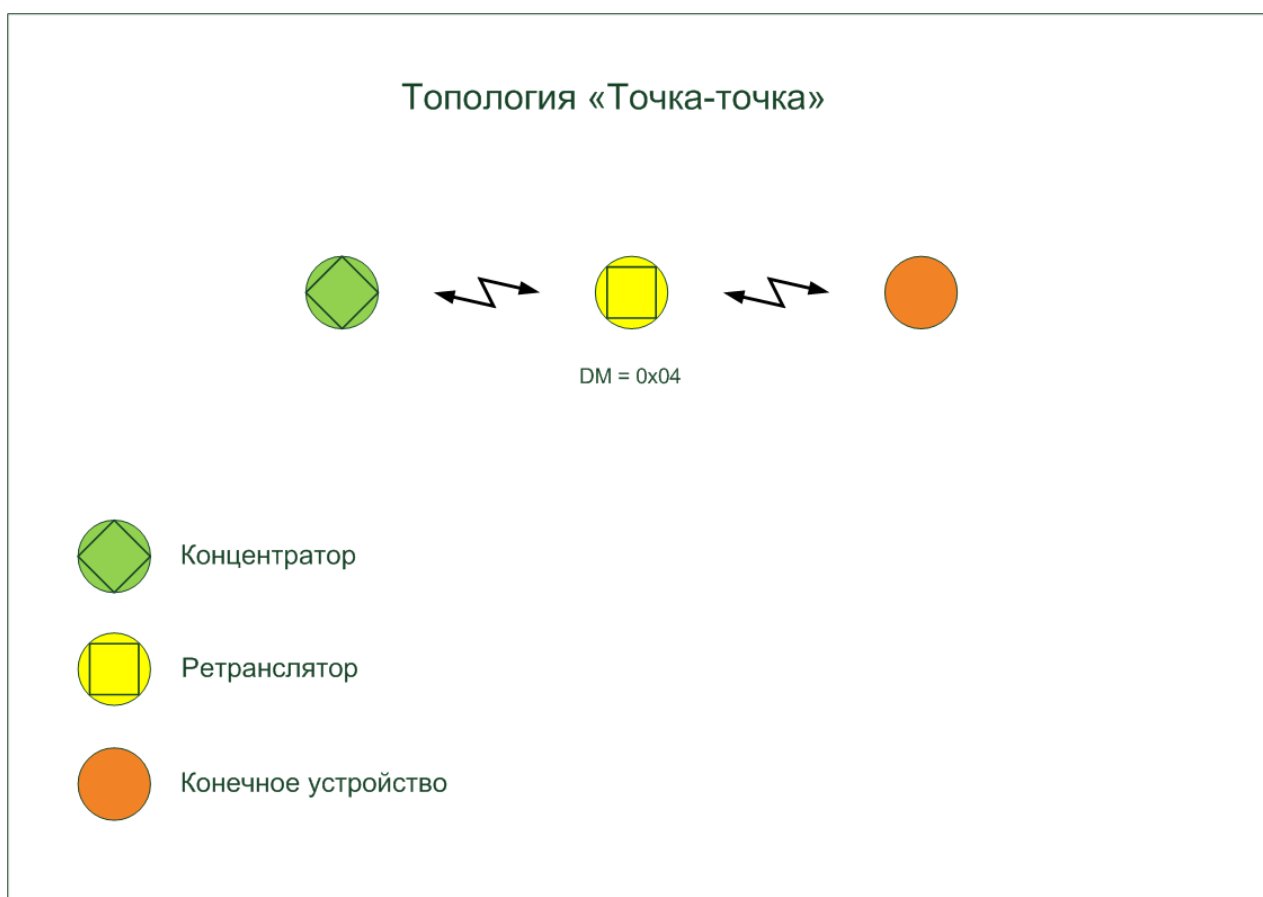


Рисунок 5

6.2. Использование ретрансляторов для организации сети с топологией «Backbone»

Схема беспроводной сети с топологией «BackBone» приведена на Рисунке 6. Для развертывания сети с данной топологией, после инсталляции программного обеспечения в модули требуется произвести настройку ретрансляторов, указав с помощью АТ-команд «UR» и «DR» адреса «вышестоящего» и «нижестоящего» ретранслятора и изменить параметр Device Mode с помощью АТ-команды «DM», установив в нем значение 0x04. На всех конечных устройствах адрес получателя должен быть установлен с помощью АТ-команды «TX» равным 0x01, а также, должен быть изменен собственный адрес с помощью АТ-команды «MY».

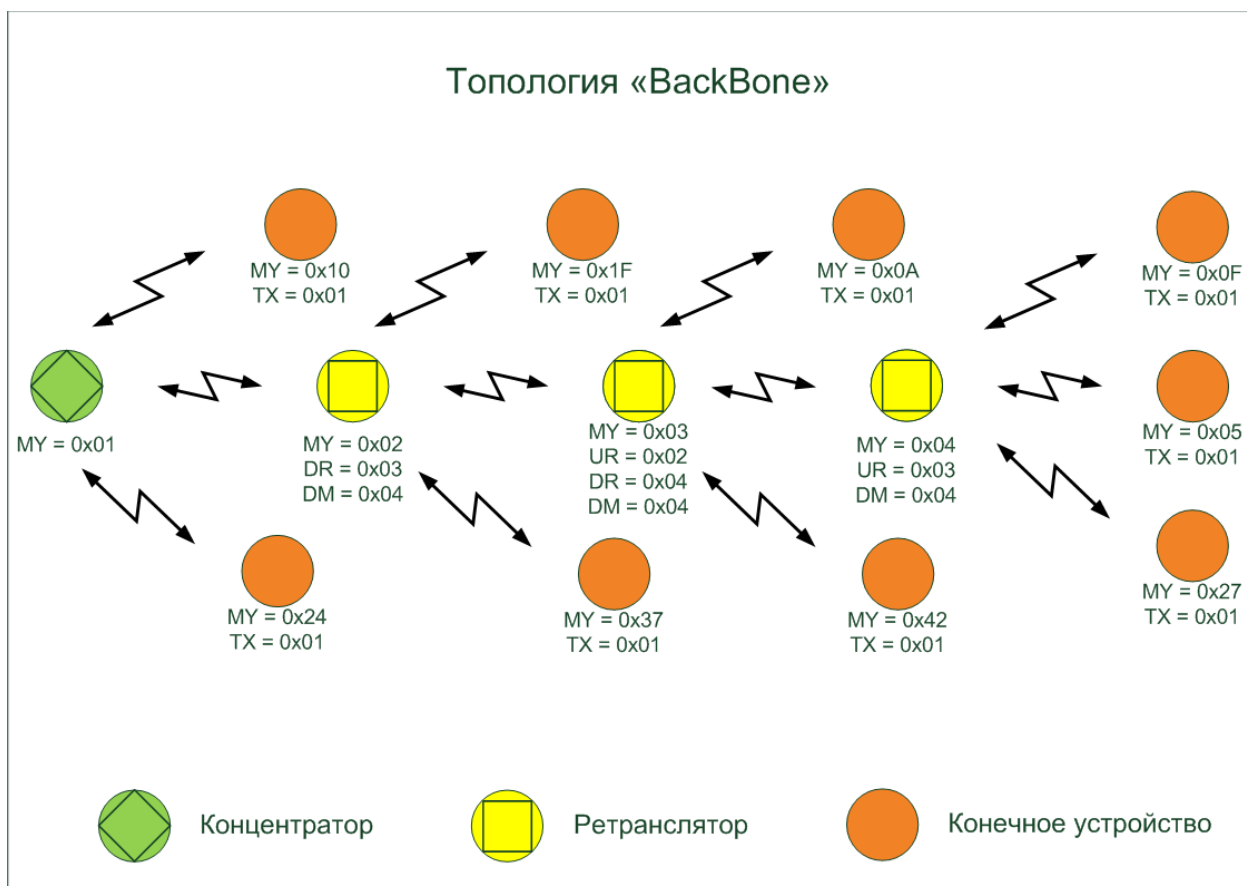


Рисунок 6

6.3. Использование ретрансляторов для организации сети с топологией «Звезда с ретрансляторами»

Схема беспроводной сети с топологией «Звезда с ретрансляторами» приведена на Рисунке 7. Для развертывания сети с данной топологией, после инсталляции программного обеспечения в модули требуется произвести настройку ретрансляторов, указав с помощью АТ-команд «UR» и «DR» адреса «вышестоящего» и «нижестоящего» ретранслятора и изменить параметр Device Mode с помощью АТ-команды «DM», установив в нем значение 0x04. На всех конечных устройствах адрес получателя должен быть установлен с помощью АТ-команды «TX» равным 0x01, а также, должен быть изменен собственный адрес с помощью АТ-команды «MY».

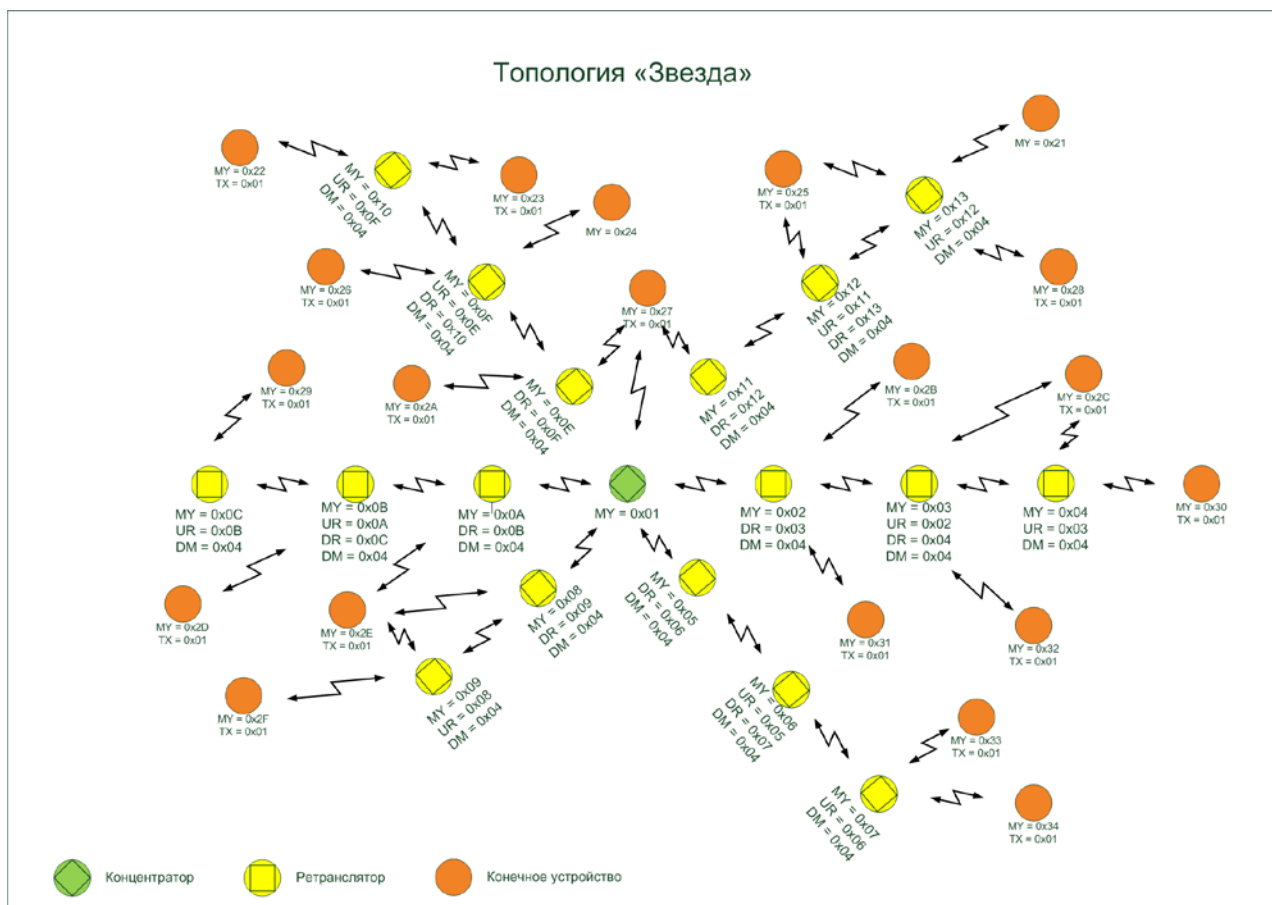


Рисунок 7

6.4. Сетевая маска

Сетевая маска предназначена для расширения возможностей при организации приема пакетов. Основное ее предназначение – блокировка приема от отдельных групп узлов сети. С помощью такой блокировки удастся исключить избыточный трафик, который может возникнуть, например, если в зоне покрытия одного источника сообщения находятся несколько ретрансляторов. Когда маска сети не используется т.е. равна 0x0000(значение «по умолчанию»), пакет от источника сообщения будет принят всеми ретрансляторами и передан адресату одновременно. Если в дальнейшем не произойдет потеря пакетов, то все они будут доставлены адресату, который, в этом случае, вынужден будет сам исключать дублированные пакеты. Пример настроек сетевой маски для исключения подобных ситуаций показан на Рисунке 8. Принцип применения маски сети аналогичен принципу, применяющемуся в протоколе TCP/IP. Для того, чтобы пакет прошел фильтрацию, необходимо выполнение следующих условий:

1. Сетевые параметры ID сети и ID системы в принятом пакете и принимающем узле должны совпадать.
2. Адрес непосредственного отправителя пакета в двоичном представлении может содержать единицы только в тех битах, которые равны нулю в маске сети. Непосредственным отправителем является узел, от которого данный пакет получен. В общем случае понятия источника сообщения и непосредственного отправителя не совпадают. В простой сетевой топологии типа «звезда», источник сообщения и непосредственный отправитель это один и тот же узел. Если же

некоторые участники сети работают в качестве ретрансляторов, то под адресом непосредственного отправителя понимаются именно они. Условие приема пакета можно записать в виде формулы:

$PREVIOUS_HOP_ID \& NETWORK_MASK = 0$, где $\&$ это операция поразрядной конъюнкции (логическое «И»).

Полный алгоритм обработки принятых сообщений показан в виде блок-схемы (Рисунок 9).

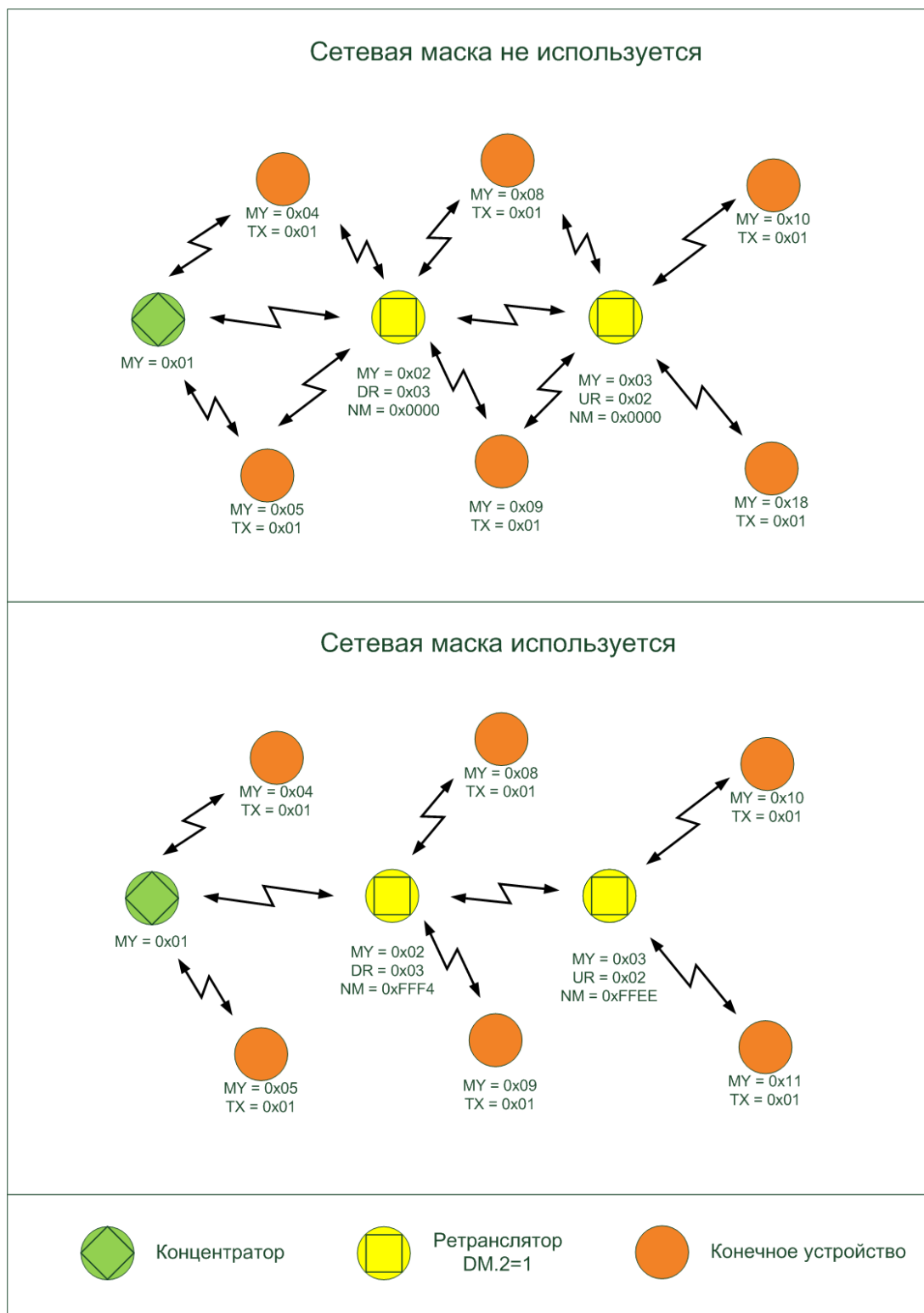


Рисунок 8

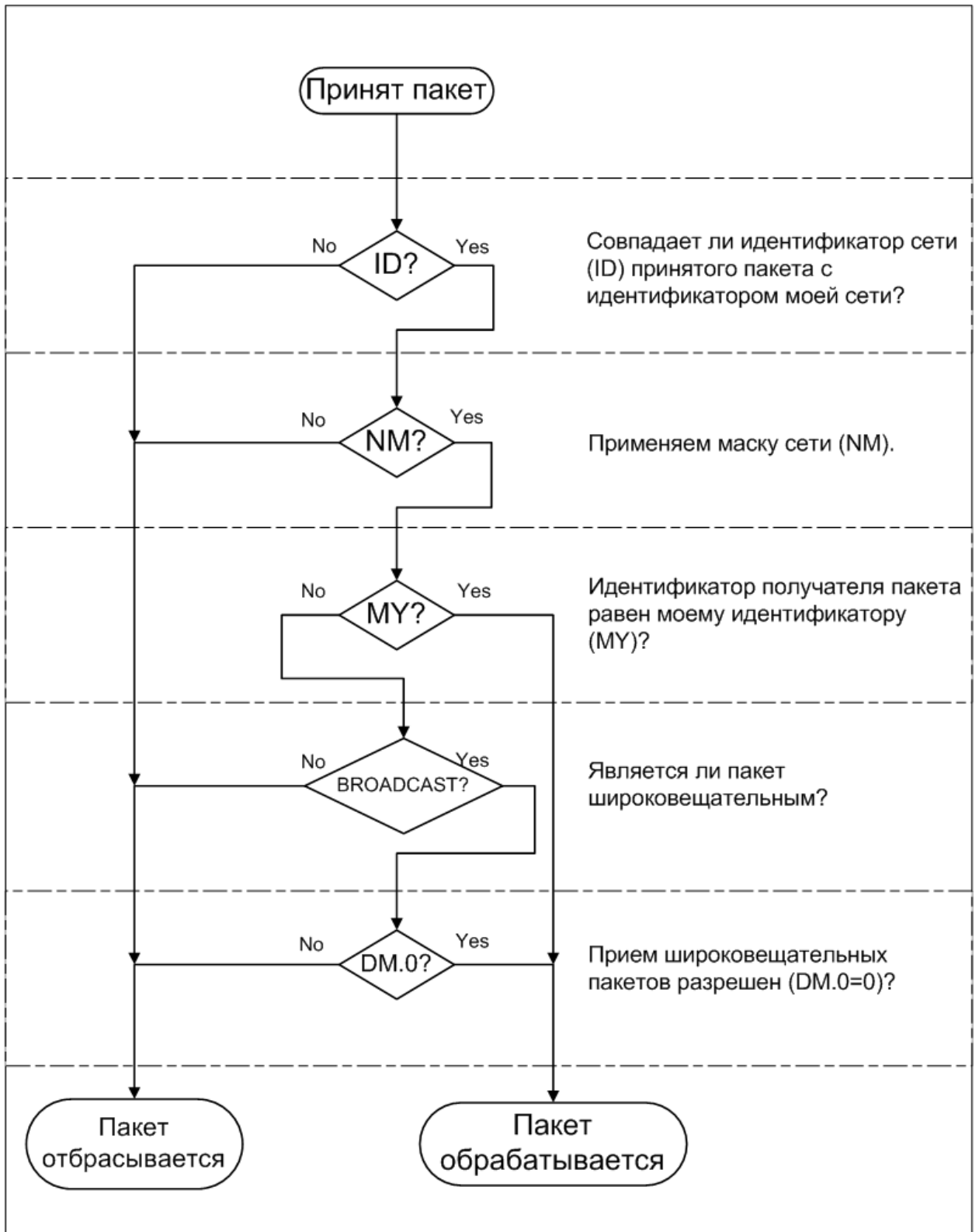


Рисунок 9

7. ШИФРОВАНИЕ

Для предотвращения несанкционированного перехвата данных и/или управления модемом, в ПО SerialStar предусмотрена возможность шифрования трафика с помощью интегрированного аппаратного ускорителя AES-128.

Для активации функции постоянного шифрования трафика в прозрачном режиме или при работе в пакетном режиме с использованием фрейма 0x0F, необходимо с помощью команды «AT DM», установить в 5-м бите значение 1. Поле данных всех эфирных пакетов будет зашифровано с помощью 16-ти байтного ключа. Изменить ключ, установленный «по умолчанию» можно только с помощью AT-команды «AT KY». Доступ к ключу шифрования с помощью API-фрейма запрещен. Считывание ключа шифрования **НЕВОЗМОЖНО**. При вводе ключа с помощью команды KY допускаются любые значения, поскольку входящие символы интерпретируются как 16-тиричные числа. После ввода 16-го символа, появится сообщение «OK».

При работе в пакетном режиме с фреймами 0x01, 0x10, 0x17 установленное значение в 5-м бите регистра DM игнорируется. Данные шифруются или не шифруются в зависимости от установки 5-го бита в поле Options передаваемого пакета. Установка единицы в 5-м бите поля Options приводит к шифрованию пакета.

Если входящий пакет зашифрован, то его расшифровка будет осуществляться независимо от установки соответствующего бита в регистре DM. Если принятые данные были зашифрованы отличным от установленного в принимающем модеме ключом, то они будут автоматически отброшены.

8. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

8.1. Модули MBee-868-x.x с ПО “SerialStar”

Типовая схема включения, являющаяся одинаковой для всех модификаций модулей MBee-868, показана на Рисунке 10.

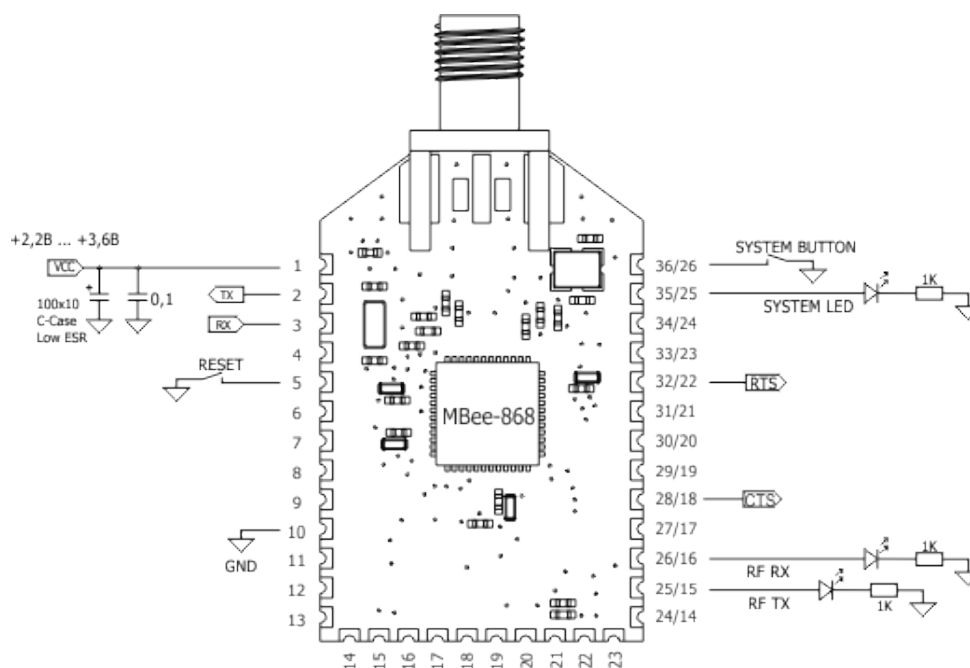


Рисунок 10

Электрические уровни цифровых сигналов должны соответствовать TTL/CMOS 3,3 В. Для записи или обновления программного обеспечения, модем должен быть подключен к компьютеру при помощи любого доступного трансивера последовательного интерфейса. В качестве возможного решения хорошо подходят устройства [RFSerialBridge](#) или [MB-USBridge](#). На компьютер должна быть предварительно установлена программа SysmcBootLoader, последняя версия которой доступна на сайте [CMK](#).

После подключения к компьютеру и подачи питания модем необходимо перевести в режим программирования/настройки одним из 2-х способов:

1. Удерживая нажатой кнопку «SYSTEM BUTTON», нажать и отпустить кнопку «RESET»
2. Удерживая кнопку «SYSTEM BUTTON» выключить и, дождавшись разряда конденсаторов питания, снова включить питание платы.

При входе в режим программирования светодиод «SYSTEM LED» начинает мигать с периодом примерно 2 с. Корректность входа в режим настроек может быть определена также с помощью программы SysmcBootloader.

Работа с программой SysmcBootLoader интуитивно понятна и не требует пояснений. С помощью нее имеется возможность выбрать требуемую скорость последовательного интерфейса, а также включить или выключить аппаратное управление потоком. При выборе скорости передачи данных необходимо учитывать максимальную пропускную способность радиоканала. Пропускная способность зависит от битовой скорости эфирного протокола и от качества радиосвязи (расстояние между модулями, типы антенн, наличие

радиопомех и т.д.). Соответственно, выбор скорости 115200 бит/с не означает, что Вы получите пропускную способность канала, равную 115200 бит/с при эфирной скорости 38400 бит/с.

8.2. Дальность связи

Дальность связи зависит от установленной мощности передатчика, несущей частоты, битовой скорости, коэффициента усиления используемых антенн, чувствительности приемника, взаимного расположения антенн, погодных условий и т.д.

В Таблице 66 приведены оценки расстояний, при которых для данной битовой скорости будет устойчивая связь (запас чувствительности не менее 20 дБм) в зоне прямой видимости. В расчете использовались следующие данные:

Мощность передатчика (модуль MBee-868-2.0)	14 дБм
Мощность передатчика (модуль MBee-868-3.0)	10 дБм
Коэффициент усиления передающей антенны	2 дБм
Коэффициент усиления принимающей антенны	2 дБм
Рабочая частота	868,75 МГц

Таблица 66

Расчет дальности связи в свободном пространстве проводился по формуле Фрииса.

№	Скорость, Бит/сек	Чувствительность, дБм	Расстояние, км. MBee-868-3.0	Расстояние, км. MBee-868-2.0
1	1200	-109	3.8	21
2	2400	-107	3.0	17
3	4800	-106	2.7	15
4	9600	-105	2.4	13
5	19200	-104	2.1	12
6	38400	-102	1.7	10
7	57600	-98	1.0	6
8	115200	-94	0.7	4
9	250000	-90	0.4	2
10	500000	-84	0.2	1

Таблица 67

8.3. Значения по умолчанию

№	Параметр/Значение	Комментарий
1	NET_ID = 0x01	Старший байт параметра команды ID
2	SYSTEM_ID = 0x0001	Средний и младший байт параметра команды ID
3	CH = 0x01	Центральная частота 868,75 МГц
4	MY = 0x0001	Собственный адрес
5	DL(TX) = 0xFFFF	Адрес получателя
6	AP = 0	Прозрачный режим
7	PL = 0xC1(MBee-868-3.0) PL = 0x1F(MBee-868-2.0)	10 dBm для модуля MBee-868-3.0 14 dBm для модуля MBee-868-2.0
8	RB = 6	38400 бит/с, 2GFSK, девиация 19,04 КГц
9	SM = 0	Спящий режим отключен
10	ST = 20	Таймаут после обработки последнего события перед переходом в режим сна равен 20 мс.
11	SP = 1500	Время сна установлено равным 15 с.
12	DM = 0	Прием широкополосных пакетов разрешен. Опорное напряжение АУП 2,5В. Режим CCA активирован.
13	SO = 6	Разрешена отправка пакета с данными GPIO при просыпании в режиме циклического сна и при срабатывании входа WAKEUP.
14	L0 = 6	Выход TX UART.
15	L1 = 7	Вход RX UART.
16	L2 = 3	Цифровой вход.
17	L3 = 14	Счетный вход №2
18	L4 = 11	SLEEP REQUEST
19	L5 = 4	Цифровой выход, низкий уровень.
20	L6 = 0	Отключен.
21	L7 = 0	Отключен.
22	L8 = 0	Отключен.
23	B0 = 0	Отключен.
24	B1 = 0 (MBee-868-3.0) B1 = 1 (MBee-868-2.0)	Отключен (только для MBee-868-3.0). Не используется (только для MBee-868-2.0)
25	B2 = 0	Отключен.
26	B3 = 0	Отключен.
27	B4 = 0	Отключен.
28	B5 = 0	Отключен.
29	R0 = 10	Выход модуля. Системный светодиод.
30	R1 = 13	Счетный вход №1.
31	R2 = 2	АЦП
32	R3 = 0	Отключен.
33	R4 = 4	Цифровой выход, низкий уровень.
34	R5 = 0	Отключен.
35	R6 = 2	АЦП
36	R7 = 0	Отключен.
37	R8 = 12	SLEEP STATUS
38	R9 = 0	Отключен.
39	UR = 1	Uplink Repeater
40	DR = 1	Downlink Repeater
41	NM = 0	Маскирование отключено

Таблица 68

8.4. Характеристики последовательного интерфейса по умолчанию

Скорость	9600 Бит/с
Число стоповых бит	1
Четность	нет
Управление потоком	отсутствует
Размер приемного буфера	400 байт
Размер буфера на передачу	400 байт

Таблица 69

8.5. Кодирование выходной мощности передатчика

В Таблице приведены шестнадцатеричные коды выходной мощности передатчика для разных типов модулей MBee-868-x.0, при питании устройства $V_{cc} = 3,3$ В.

MBee-868-3.0		MBee-868-2.0	
Мощность (dBm)	Код	Мощность (dBm)	Код
10	0xC1	27	0x81
9	0xC4	26	0x50
8	0xC7	25	0x62
7	0xCA	24	0x3F
6	0xCD	23	0x65
5	0x80	22	0x38
4	0x84	21	0x29
3	0x87	20	0x6B
2	0xCF	19	0x6C
1	0x8B	18	0x27
0	0x8D	17	0x34
-1	0x51	16	0x25
-2	0x62	15	0x33
-3	0x3E	14	0x1F
-4	0x65	13	0x1D
-5	0x57	12	0x23
-6	0x68	11	0x1A
-7	0x2B	10	0x19
-8	0x6B	9	0x0F
-9	0x6C	8	0x0D
-10	0x27	7	0x0B
-11	0x26	6	0x0A
-12	0x34	5	0x09
-13	0x25	4	0x21
-14	0x33	3	0x06
-15	0x1F	1	0x05
-16	0x1D	0	0x04
-17	0x32	-3	0x02
-18	0x1A	-6	0x30
-19	0x19	-32	0x00
-20	0x22		
-25	0x21		
-30	0x03		

Примечание. Красным цветом в таблице показаны значения, превышающие допустимые в соответствии с требованиями ГКРЧ от 07 мая 2007 № 07-20-03-001 и изменениями в них от 11 сентября 2018 г.

9. ИСТОРИЯ ДОКУМЕНТА

№	Дата	Редакция документа	Описание изменений
1	04.10.2016	1-я версия	
2	17.10.2016		Глава «Форматы пакетов»: добавлен раздел «Контрольная сумма». Глава «Технические характеристики»: добавлен раздел «Кодирование выходной мощности передатчика».
3	07.11.2016		Глава «Форматы пакетов»: <ol style="list-style-type: none"> 1. Исправлена ошибка в таблице общего формата фрейма пакетов. 2. Исправлена ошибка в таблице формата API фрейма передачи данных удаленному узлу. 3. Исправлена ошибка в таблице формата API фрейма получения данных от удаленного узла. 4. Исправлено описание способа расчета контрольной суммы. Добавлен пример расчета. Глава «Командный интерфейс»: в список поддерживаемых AT-команд добавлено описание команды CF, исправлено описание команды PL.
4	14.11.2016		Глава «Командный интерфейс»: в список поддерживаемых AT-команд добавлено описание команды RB. Глава «Технические характеристики» добавлен раздел «Дальность связи». Внесены незначительные стилистические изменения, не меняющие смысл содержимого.
5	23.11.2016		Глава «Командный интерфейс»: в список поддерживаемых AT-команд добавлено описание команды DC. Внесены незначительные стилистические изменения, не меняющие смысл содержимого.
6	09.12.2016		Глава «Режимы работы модема»: добавлен раздел «Режимы пониженного энергопотребления». Глава «Командный интерфейс»: в список поддерживаемых AT-команд добавлено описание команд SM, ST, SP. Глава «Технические характеристики»: внесены дополнения в Таблице в разделе «Модули MBee-868-x.x с ПО "SerialStar"». Внесены незначительные стилистические изменения, не меняющие смысл содержимого.
7	29.02.2017		Глава «Режимы работы модема», раздел «Прозрачный режим», добавлена информация о возможности запрета приема широкополосных пакетов. Глава «Командный интерфейс»: добавлена информация о способе возврата к значениям «по умолчанию».

			<p>Глава «Командный интерфейс»: в список поддерживаемых АТ-команд добавлено описание команды DM.</p> <p>Глава «Общие сведения»: добавлен раздел «Линии ввода/вывода».</p> <p>Глава «Командный интерфейс»: в список поддерживаемых АТ-команд добавлено описание команд настройки линий ввода/вывода.</p> <p>Расширен список значений по умолчанию.</p>
8	17.05.2017		Дано полное описание новых возможностей версии SerialStar 2.0.
9	19.05.2017		Глава «Общие сведения», раздел «Режимы работы линий ввода/вывода»: добавлено подробное описание настроек линий ввода/вывода.
10	01.06.2017		<p>Глава «Командный интерфейс», раздел «Список поддерживаемых АТ-команд»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Добавлено описание команды KY 2. Модифицировано описание команды DM <p>Глава «Работа в пакетном режиме»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Изменено описание поля Options в описании типов пакетов 0x01, 0x10 и 0x17 2. Добавлен раздел «Буферизация». 3. Добавлена глава «Шифрование».
11	05.06.2017		Изменено описание алгоритма формирования буфера сообщений для спящих узлов.
12	21.06.2017		<p>Глава «Общие сведения», раздел «Режимы работы линий ввода/вывода»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Скорректировано описание режима COUNTER INPUT. Исключена фраза о передаче его текущего состояния в эфирном пакете. <p>Глава «Режимы работы модема»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Добавлен раздел «Пакетный режим с escape-символами». <p>Глава «Работа в пакетном режиме»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Добавлен раздел «Пакетный режим с escape-символами».
13	29.06.2017		Добавлена возможность обеспечения задержки перед началом измерения аналоговых каналов. Описание данной функции приводится в разделе «Список поддерживаемых АТ-команд» в описании команды SO.
14	14.07.2017		<p>Глава «Общие сведения», раздел «Режимы работы линий ввода/вывода»: изменен рисунок.</p> <p>Глава «Технические характеристики: изменен раздел «Значения по умолчанию» (CTS/RTS по умолчанию отключен).</p>
15	03.08.2017		Глава «Режимы работы модема», раздел «Циклический режим сна»: изменен рисунок.

			Глава «Командный интерфейс», раздел «Список поддерживаемых АТ-команд»: добавлено описание команд DS и IO.
16	19.09.2017		Глава «Командный интерфейс», раздел «Список поддерживаемых АТ-команд»: дополнено описание команды ID. Глава «Работа в пакетном режиме», дополнены описания пакетов 0x09 и 0x17.
17	28.09.2017		Глава «Командный интерфейс», раздел «Список поддерживаемых АТ-команд»: дополнено описание команды DM.
18	20.11.2017		Глава «Командный интерфейс», раздел «Список поддерживаемых АТ-команд»: исправлены диапазоны параметра для команд настройки линий ввода/вывода.
19	01.12.2017		Исправлены некоторые неточности.
20	06.12.2017		Исправлены некоторые неточности.
21	11.12.2017		Глава «Общие сведения», раздел «Режимы работы линий ввода/вывода»: 1. Скорректировано описание режима ADC. Глава «Командный интерфейс», раздел «Список поддерживаемых АТ-команд»: дополнено описание команды DM.
22	23.12.2017		Глава «Режимы работы модема», глава «Работа в пакетном режиме»: добавлена информация о длине поля данных.
23	09.01.2018		Глава «Командный интерфейс», раздел «Список поддерживаемых АТ-команд»: 1. Дополнено описание команды DM, добавлено описание команд UR, DR. 2. Исправлены значения по умолчанию в описании линий ввода/вывода. Добавлена глава «Ретрансляция пакетов».
24	13.02.2018		Глава «Ретрансляция пактов»: 1. Добавлен раздел «Сетевая маска». Глава «Командный интерфейс», раздел «Список поддерживаемых АТ-команд»: 2. Добавлено описание команды NM.
25	28.03.2018		Глава «Командный интерфейс», раздел «Список поддерживаемых АТ-команд»: 1. Исправлено описание команды IO. Глава «Работа в пакетном режиме»: 2. Дополнены описания пакетов с АТ-командами.
26	09.06.2018		Глава «Командный интерфейс», раздел «Список поддерживаемых АТ-команд»: 1. Добавлено описание команды AI.
27	23.11.2018		Глава «Технические характеристики», раздел «Кодирование выходной мощности передатчика»: 1. Учтены изменения требований ГКРЧ.

28	25.03.2019	<p>Глава «Работа в пакетном режиме», раздел «API-фрейм статуса отправки пакета (0x8B)»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Исправлено описание формата пакета. <p>Глава «Работа в пакетном режиме», раздел «API-фрейм с данными, полученными от удаленного модема и предназначенными для выдачи в UART (0x81)»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Дополнено описание байта «Options».
29	28.01.2020	<p>Глава «Общие сведения», раздел «Режимы работы линий ввода/вывода»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Добавлен раздел «DIGITAL PASSING» 2. Добавлен раздел «DIGITAL PASSING INVERTED» 3. Добавлен раздел «ANALOG PASSING» 4. Добавлен раздел «Работа линий ввода/вывода в режиме проброса портов» <p>Глава «Командный интерфейс», раздел «Список поддерживаемых AT-команд»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Дополнено описание команды VR. 2. Дополнено описание команды DM. 3. Добавлено описание команды PT. 4. Дополнен диапазон параметров для команд управления линиями ввода/вывода. <p>Глава «Командный интерфейс»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Добавлен раздел «Формат ответа на команду VR» <p>Глава «Работа в пакетном режиме», раздел «общий формат фрейма в пакетном режиме»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Дополнена таблица с перечнем возможных типов API фреймов. <p>Глава «Работа в пакетном режиме»:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Добавлен раздел «API-фрейм расширенного формата с данными, полученными от удаленного модема и предназначенными для выдачи в UART (0x82)» 2. Добавлен раздел «API фрейм расширенного формата с данными о текущем состоянии линий ввода/вывода на удаленном модеме (0x84)» 3. Добавлен раздел «API-фрейм расширенного формата с данными, полученными от удаленного модема и предназначенными для выдачи в UART (0x90)» 4. Добавлен раздел «API-фрейм расширенного формата ответа на AT-команду удаленному модему (0x98)» 5. Дополнено описание API-фреймов 0x97 и 0x98 <p>Внесены незначительные стилистические изменения, не меняющие смысл содержимого.</p>

30	12.06.2020		<p>Глава «Работа в пакетном режиме»:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Дополнено описание раздела «API-фрейм с данными, полученными от удаленного модема и предназначенными для выдачи в UART (0x81)»2. Дополнено описание раздела «API-фрейм расширенного формата с данными, полученными от удаленного модема и предназначенными для выдачи в UART (0x82)»
31	20.08.2020	Текущая версия	<p>Глава «Режимы работы модема», раздел «Режимы пониженного энергопотребления»:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Дополнено описанием работы модема в активном режиме. <p>Глава «Командный интерфейс»:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Дополнено описание команды SO.

10.ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА

Разработка и техническая поддержка	
СИСТЕМЫ, МОДУЛИ И КОМПОНЕНТЫ	
Разработчик систем автоматизации и телеметрии	
Телефон	+7 (495) 784 5766
Электронная почта	mbee@sysmc.ru
Сайт	www.sysmc.ru
