

# Радиопередающие модули XBee\XBee PRO

## Протокол передачи IEEE 802.15.4 (ZigBee)



Руководство пользователя v1.x80

Перевод: Куликов О.Е., ЗАО «ПРОТОН»

## Содержание

<b>1. Общие характеристики модуля</b>	<b>2</b>
1.1 Ключевые характеристики	2
1.2 Характеристики модулей	3
1.3 Общий вид	4
1.4 Назначение выводов	4
<b>2. Работа модуля</b>	<b>5</b>
2.1 Последовательный интерфейс	5
2.1.1. Передача данных UART	5
2.1.2. Управление передачей	5
2.1.3. Прозрачный режим (Transparent Operation)	6
2.1.4. Режим API (API Operation)	6
2.2. Работа в сети 802.15.4	7
2.2.1. Режим NonBeacon	7
2.2.2. Режим NonBeacon (с координатором)	7
2.2.3. Ассоциация	7
2.3. Режимы функционирования	8
2.3.1. Режим ожидания (Idle Mode)	8
2.3.2. Режимы приема и передачи	8
2.3.3. Спящий режим (Sleep Mode)	10
2.3.4. Командный режим	11
2.4. Адресация	12
2.4.1. Режим одноадресной передачи (Unicast Mode)	13
2.4.2. Режим широковещательной передачи (Broadcast Mode)	13
<b>3. Конфигурирование модуля</b>	<b>14</b>
3.1. Таблица команд	14
3.2. Работа в режиме API	24
3.2.1. Структура кадра данных API	25
3.2.2. Типы API	26

# 1. Общие характеристики модуля

## 1.1 Ключевые характеристики

### **Высокая производительность, низкая стоимость**

#### **Xbee:**

- Расстояние передачи в помещении, в городе: 30м
- Расстояние передачи на открытой местности: 100м
- передаваемая мощность: 1 мВт (0 dBm)
- чувствительность приемника: -92 dBm

#### **Xbee-PRO:**

- Расстояние передачи в помещении, в городе: 100м
- Расстояние передачи на открытой местности: 1500м
- передаваемая мощность: 100 мВт (20 dBm)
- чувствительность приемника: -100 dBm

Скорость передачи данных: 250 000 бит/с

### **Сетевые возможности и безопасность**

- Повторение и подтверждение передачи
- DSSS (Прямой Спектр Распространения Последовательности)
- Каждый канал имеет 65 000 уникальных доступных адресов сети
- Поддерживаются топологии «точка-точка», «точка-точкам» и «каждый с каждым».
- Поддержаются режимы Координатора/Конечного устройства
- 128-битовое шифрование (прошивка скоро будет)

### **Низкое энергопотребление**

#### **XBee**

- ток TX: 45 мА (3.3 В)
- ток RX: 50 мА (3.3 В)
- ток отключения: < 10 мкА

#### **XBee-PRO**

- ток TX: 215 мА (3.3 В)
- ток RX: 55 мА (3.3 В)
- ток отключения: < 10 мкА

## Удобство в работе

- Ненужно конфигурировать для установки связи
- Свободное программное обеспечение X-CTU
- Небольшие габаритные размеры
- Сеть, совместимая с другими устройствами 802.15.4
- AT и API командные режимы для конфигурирования параметров модуля

Модули построены на базе ZigBee трансивера Freescale MC13193 и микроконтроллера FreeScale MC9S08GT60.

## 1.2 Характеристики модулей

Таблица 1.1 Характеристики модулей XBee\XBee-PRO

Параметр	XBee	XBee-PRO
<b>Производительность</b>		
Дальность связи в помещении, в городе	до 30м	до 100м
Дальность связи на открытой местности	до 100м	до 1500м
Передаваемая мощность (устанавливается программно)	1 мВт (0 dBm)	60 мВт (18 dBm), 100 мВт (20 dBm)
Скорость передачи	250 000 бит/с	250 000 бит/с
Скорость последовательного интерфейса (устанавливается программно)	1200-115200 бит/с (поддерживаются нестандартные скорости)	1200-115200 бит/с (поддерживаются нестандартные скорости)
Чувствительность приемника	-92 dBm (потеря 1% пакетов)	-100 dBm (потеря 1% пакетов)
<b>Энергетические требования</b>		
Напряжение питания	2,8 – 3,4 В	2,8 – 3,4 В
Ток передачи (типичный)	45 мА (3,3 В)	От 137 мА(3,3 В) до 227 мА(3,0 В)
Ток ожидания/приема (типичный)	50 мА (3,3 В)	55 мА (3,3 В)
Ток выключения	< 10 мкА	< 10 мкА
<b>Общие</b>		
Рабочая частота	2,4 ГГц	2,4 ГГц
Размеры	2,438 см x 2,761см	2,438 см x 3,294 см
Диапазон температур	от -40°C до 85°C	от -40°C до 85°C
Тип антенны	Интегрированная, на чипе, коннектор для внешней антенны	Интегрированная, на чипе, коннектор для внешней антенны
<b>Сетевые возможности и безопасность</b>		
Поддерживаемые топологии	точка-точка», «точка-точкам» и «каждый с каждым».	
Количество каналов (устанавливается программно)	16	12
Типы адресации	По идентификатору сети (PAN ID) каналу и адресу	По идентификатору сети (PAN ID) каналу и адресу

### 1.3 Общий вид

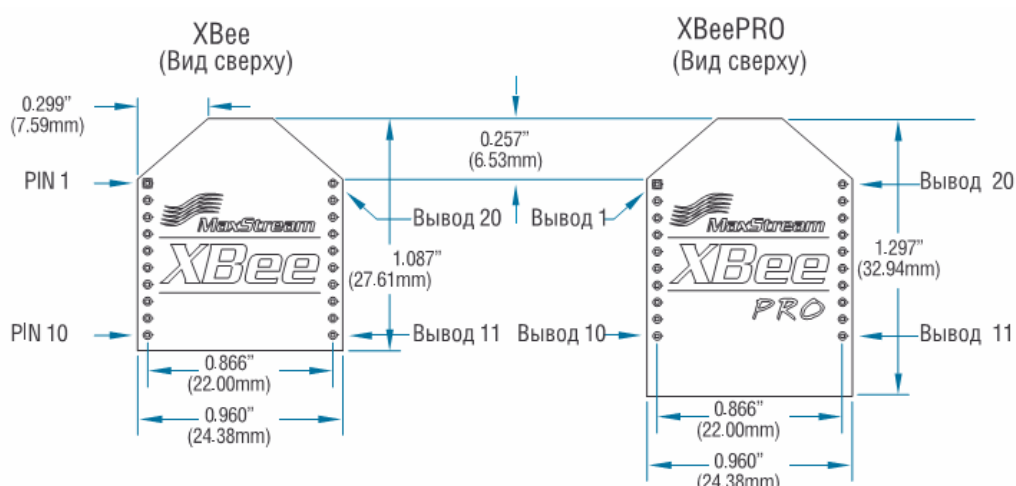


Рис. 1.1. Общий вид радиомодулей XBee/XBee-PRO

### 1.4 Назначение выводов

Таблица 1.2 Назначение выводов для модулей XBee/XBee-PRO (Сигналы, передаваемые низким уровнем, подчеркнуты).

№ вывода	Название	Направление	Описание
1	VCC	-	Питание
2	DOUT	Выход	Выход последовательных данных UART
3	<u>DIN/CONFIG</u>	Вход	Вход последовательных данных UART
4	CD*/DOUT_EN*/DO8*	Выход	Обнаружение несущей/разрешение передачи
5	<b>RESET</b>	Вход	Сброс модуля
6	PWM0/RSSI	Выход	Выход ШИМ канала 0 или индикация силы принимаемого сигнала
7	[reserved]	-	
8	[reserved]	-	
9	<u>DTR/SLEEP_RQ/DI8</u>	Вход	Контроль режима сна или цифровой вход 8
10	GND	-	Общий провод
11	RF_TX*/AD4*/DIO4*	Вход/выход	Аналоговый вход 4, цифровой порт 4 или индикатор передачи
12	<u>CTS/DIO7*</u>	Вход/выход	Цифровой порт 7 или сигнал CTS контроля передачи данных последовательного порта
13	<b>ON/SLEEP</b>	Выход	Индикатор статуса модуля
14	VREF*	Вход	Опорное напряжение для АЦП
15	Associate/AD5*/DIO3*	Вход/выход	Аналоговый вход 5, цифровой порт 5 или индикатор ассоциации
16	<b>RTS/DIO6*</b>	Вход/выход	Аналоговый вход 6, цифровой порт 6 или сигнал RTS контроля передачи данных последовательного порта
17	COORD_SEL*/AD3*/DIO3*	Вход/выход	Аналоговый вход 3, цифровой порт 3 или координатор
18	AD2*/DIO2*	Вход/выход	Аналоговый вход 2 или цифровой порт 2
19	AD1*/DIO1*	Вход/выход	Аналоговый вход 1 или цифровой порт 1
20	AD0*/DIO0*	Вход/выход	Аналоговый вход 0 или цифровой порт 0

Примечания:

- \* - на данный момент функция не поддерживается
- по линии RESET имеется внутренний подтягивающий резистор 50 кОм на линию питания
- Минимальное соединение: VCC, GND, DOUT и DIN.
- Неиспользованные выводы оставить неподключенными.

## 2. Работа модуля

### 2.1 Последовательный интерфейс

#### 2.1.1. Передача данных UART

Устройства, имеющие интерфейс UART, могут быть напрямую соединены с выводами модуля, как показано на рис. 2.1.

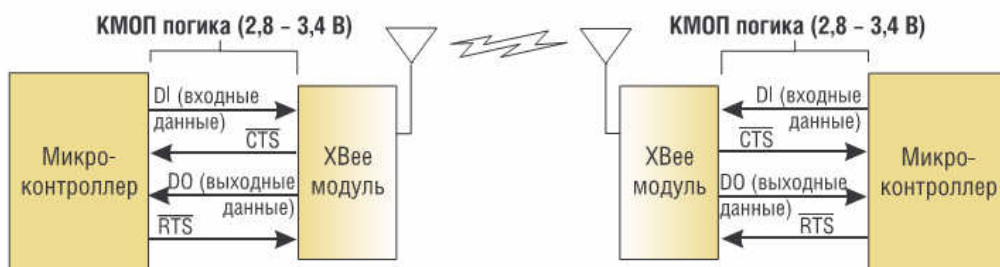


Рис. 2.1. Схема подключения двух модулей для организации канала связи

Радиомодуль управляется CMOS логическими уровнями 2,8 – 3,4 В. Для подключения модуля к COM-порту персонального компьютера необходим преобразователь уровня типа MAX3232 или аналогичный.

Данные поступают в модуль по линии DI в виде последовательного кода с неактивным уровнем (Idle) лог. «1». Каждый передаваемый байт дополняется стартовым (Start bit) и стоповым (Stop Bit) битами (рис. 2.2). Младший значащий бит (Least Significant bit) передается первым, т.е. следует сразу за стартовым битом.

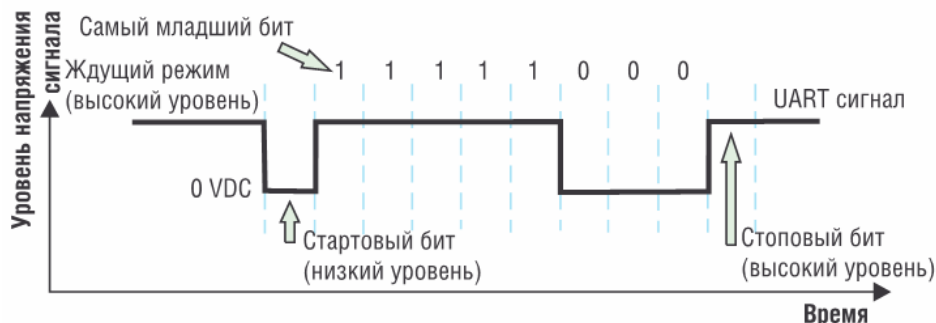


Рис. 2.2. Диаграмма передачи байта 0x1F в модуль XBee

Для успешной передачи данных с помощью последовательного интерфейса оба модуля UART приемника и передатчика должны быть сконфигурированы с одинаковыми параметрами.

#### 2.1.2. Управление передачей

##### Входной буфер (DI Buffer)

Когда последовательные данные поступают в модуль по линии DI, они сохраняются во внутреннем буфере (DI Buffer) до момента передачи в эфир. Передача в эфир откладывается, если, например, в данный момент идет прием радиоданных.

##### Аппаратный контроль передачи (CTS – готовность приема)

Когда остается 17 байт до заполнения входного буфера, по умолчанию модуль сбрасывает сигнал **CTS** (высокий) для сигнализации хосту, что пора прекращать передачу (параметр DIO7 Configuration). Сигнал **CTS** восстанавливается, когда во входном буфере освободится 34 байта.

Можно полностью отказаться от контроля передачи данных, если понизить скорость до значения, когда данные по радиоканалу будут передаваться быстрее, чем будет заполняться приемный буфер.

Переполнение буфера может возникнуть, если модуль принимает по радиоканалу длительный по времени непрерывный поток данных. В этом случае, после заполнения буфера, остальные данные, передаваемые по линии DI будут потеряны.

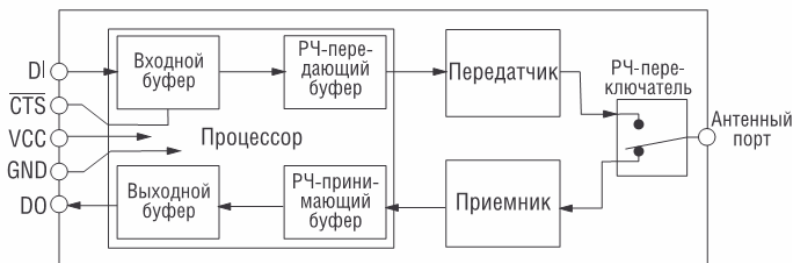


Рис. 2.3. Внутренняя структура модуля XBee

### Выходной буфер (DO Buffer)

Когда принимаются радиоданные, они поступают в выходной буфер и посылаются дальше на хост. Если буфер переполнится, то следующие данные будут потеряны.

### Аппаратный контроль передачи (RTS – запрос на отправку)

Если включен **RTS** (D6 (DIO6 Configuration) Параметр = 1), данные не будут посылаться хосту, пока **RTS** (вывод 16) сброшен.

Переполнение буфера может возникнуть в случае, если хост по каким-либо причинам не принимает данные, идущие от модуля.

Основная причина переполнения буфера – несоответствие параметров передачи данных на хосте и модуле.

## 2.1.3. Прозрачный режим (Transparent Operation)

Применяется по умолчанию. В этом режиме все данные, пришедшие на вывод DI, стоят в очереди на радиопередачу. Все принятые радиоданные отправляются на вывод DO.

Когда превышен порог параметра RO (Перерыв Пакетирования (Packetization Timeout)), модуль пытается начать радиопередачу. Если модуль не может немедленно начать передачу (например, если он уже получает радиоданные), последовательные данные сохраняются во входном буфере. Данные пакетируются и посылаются при любом перерыве RO или когда получены 100 байт (максимальный размер пакета).

Модуль работает как описано выше, если не обнаружена командная последовательность. Командная последовательность состоит из трех копий командного символа (параметр CC) до и после которого прошло определенное время (параметр GT).

## 2.1.4. Режим API (API Operation)

Альтернатива прозрачному режиму. Расширяет уровень использования сетевых возможностей модуля приложением хоста. В этом режиме все данные, приходящие и уходящие с модуля, содержатся в пакетах, которые описывают операции или события внутри модуля.

Пакеты передачи (принятые на вывод 3) содержат:

- РЧ пакет передачи
- командный пакет (эквивалент AT команды)

Принятые пакеты (отсылаются на вывод 2) содержат:

- принятый РЧ пакет
- ответ на команду

- события, такие как сброс, ассоциация, выход из ассоциации

Приложение хоста может посылать пакеты данных на модуль, содержащие адрес и полезную информацию, вместо использования командного режима. Модуль может посылать пакеты, содержащие информацию о его статусе.

Режим API позволяет:

- изменять адрес назначения, не входя в командный режим;
- определить статус (успех/неудача) каждого РЧ-пакета;
- определить адрес источника каждого принятого пакета.

## 2.2. Работа в сети 802.15.4

Следующие режимы сети IEEE 802.15.4 доступны для модуля:

- NonBeacon;
- NonBeacon (с координатором).

**Ассоциация (Association)** – только в режиме NonBeacon (с координатором). Конечные устройства и координаторы.

**Координатор (Coordinator)** – центральный модуль устанавливается для синхронизации передачи данных.

**Конечное устройство (End Device)** – если уже есть координатор. Модули используют координатор для синхронизации и могут переходить в спящий режим.

**Персональная сеть (PAN)** – содержит одно или более конечных устройств и возможно, координатор.

### 2.2.1. Режим NonBeacon

По умолчанию, XBee/XBee-PRO модули установлены в режим NonBeacon (без координатора). Модули работают в сети «каждый с каждым» (Peer-to-Peer). Это означает, что модули остаются синхронизированными без использования конфигураций владельца/сервера, и каждый модуль в сети выступает роли и ведущего и ведомого. Эта конфигурация по умолчанию подходит для широкого диапазона приложений.

Сеть «каждый с каждым» может быть сконфигурирована путем установки следующих параметров:

- CE=0 – установка модуля как конечного устройства;
- A1=0 – запрет ассоциаций для всех модулей;
- ID и CH – одинаковые во всей сети.

### 2.2.2. Режим NonBeacon (с координатором)

Устройство конфигурируется как координатор установкой параметра CE (Включение координатора) в «1». Режим работы координатора управляется параметром A2 (ассоциация координатора).

В режиме NonBeacon (с координатором) координатор может быть настроен так, чтобы использовать прямые или косвенные передачи. Если параметр SP (циклический период сна) будет установлен в «0», то координатор пошлет данные немедленно. Иначе, параметр SP определяет отрезок времени, в течение которого координатор хранит данные перед тем, как отклонить их. Вообще, SP и ST (время, по прошествии которого модуль перейдет в спящий режим) параметры координатора должны соответствовать SP и ST параметрам конечных устройств.

### 2.2.3. Ассоциация

Ассоциация - объединение конечных устройств и координатора. Ассоциация возможна только в режиме NonBeacon (с координатором). Объединение полезно в сценариях,

которые требуют, чтобы центральное устройство (координатор) передало сообщения к или собрало сообщения из нескольких отдаленных устройств (конечных устройств), назначило каналы или назначило идентификаторы сети (PAN ID).

Сеть передачи данных, которая состоит из одного координатора и одного или более конечных устройств, формирует персональную сеть (PAN). Каждое устройство в такой сети имеет идентификатор сети (параметр ID (PAN ID)). Идентификаторы сети должны быть уникальными. Идентификатор сети координатора устанавливается с помощью параметров ID и A2.

Конечное устройство может связаться с координатором, не зная адрес, идентификатор сети или канал координатора. Биты параметра A1 (ассоциация конечного устройства) определяют гибкость конечного устройства в ассоциации. Параметр A1 может использоваться для динамической установки адреса назначения, идентификатора сети и/или канала конечного устройства.

Например, если идентификатор сети координатора известен, но операционный канал нет; в параметре A1 на конечном устройстве должны быть установлены биты «Auto\_Associate» и «Reassign\_Channel». Дополнительно, идентификатор сети должен соответствовать идентификатору сети координатора ассоциации.

## 2.3. Режимы функционирования

Модули XBee могут функционировать в пяти режимах (рис. 2.4).

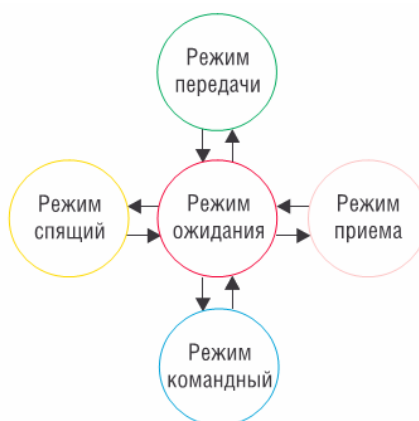


Рис. 2.4. Режимы функционирования модуля XBee

### 2.3.1. Режим ожидания (Idle Mode)

Если данные не принимаются или не передаются, модуль находится в режиме ожидания. Модуль переходит в другие режимы работы при следующих условиях:

- режим передачи (Последовательные данные получены во входной буфер);
- режим приема (данные получены через антенну);
- режим сна (выполнено условие перехода в режим сна);
- командный режим (получена командная последовательность).

### 2.3.2 Режимы приема и передачи

#### Пакеты радиоданных

Каждый переданный пакет данных содержит поля <адрес источника> (Source Address) и <адрес назначения> (Destination Address). <Адрес источника> соответствует адресу передающего модуля, определенного параметрами MY (исходный адрес, если он больше или равен 0xFFFE), SH (Serial Number High) или SL (Serial Number Low) параметры.



Поле <адрес назначения> складывается из значений параметров DH и DL (Destination Address High и Low). Поля <адрес источника> и/или <адрес назначения> будут содержать или короткий 16-битовый или длинный 64-битовый адрес.

Структура пакета радиоданных соответствует IEEE 802.15.4 спецификациям.

#### **Прямая и косвенная передача**

Есть два способа передачи данных. Первый способ, прямая передача, передает данные немедленно по <адресу назначения>. Второй способ, косвенная передача, сохраняет пакет на время и передает данные только после того, как модуль назначения (<адрес источника> = <адрес назначения>) запросит данные. Косвенная передача возможна только на координаторе. Таким образом, если все устройства в сети – конечные устройства, возможны только прямые передачи. Косвенные передачи широко используются для гарантии доставки пакета на «спящее» устройство. Координатор в состоянии хранить одновременно до 2 косвенных сообщений.

#### **Прямая передача**

Координатор в режиме NonBeacon может конфигурироваться на использование только прямой передачи, установкой параметра SP (циклический период сна) в «0». Кроме того, координатор в режиме NonBeacon, использующий косвенную передачу вернется в режим прямой передачи, если обнаружит, что модуль предназначения вышел из спящего режима.

Чтобы это обеспечить, значение ST (время, по прошествии которого модуль перейдет в спящий режим) координатора должно соответствовать значению ST конечного устройства. Как только конечное устройство начнет передавать данные координатору или посылать запрос на передачу данных, координатор будет использовать прямую передачу для всех последующих передач данных по этому адресу модуля, пока время ST протекает без активности. «Без активности» означает отсутствие передачи или приема сообщений с определенным адресом. Глобальные сообщения не будут перезагружать таймер ST.

#### **Косвенная передача**

Для настройки косвенных передач в персональной сети (PAN), значение параметра SP координатора должно соответствовать самому большому значению параметра SP любого конечного устройства. Значение параметра SP координатора определяет, как долго координатор сохранит косвенное сообщение перед тем, как удалить его.

В сетях в режиме NonBeacon, конечное устройство должно сообщить координатору, как только оно выходит из спящего режима, чтобы определить, имеет ли координатор косвенное сообщение для него. Для режима циклического сна это делается автоматически каждый раз после пробуждения модуля (по прошествии времени SP). Для режима Pin Sleep, значение параметра A1 (Ассоциация конечного устройства) должно быть установлено на разрешение посылать координатору запрос по пробуждении.

Так же конечное устройство может использовать команду FP (запрос), чтобы опрашивать координатор как необходимо.

#### **Алгоритм передачи**

До передачи пакета на канале выполняется ССА (оценка чистоты канала), чтобы определить, доступен ли канал для передачи. Обнаруженная энергия на канале сравнивается со значением параметра CA. Если обнаруженная энергия превышает значение параметра CA, пакет не передается.

Кроме того, перед передачей вставляется задержка. Эта задержка устанавливается с помощью параметра RN. Если RN установлен в «0», то перед выполнением оценки чистоты канала (ССА) нет задержки. Значение параметра RN - эквивалент параметра minBE в спецификациях IEEE 802.15.4. Последовательность передачи соответствует спецификациями IEEE 802.15.4.

#### **Подтверждение передачи**

Если передача не ведется широковещательным сообщением, то модуль будет ожидать получения подтверждения от устройства назначения. Если подтверждение не будет

получено, то пакет будет посылаться еще до 3 раз. Если подтверждение не будет получено после всех передач, будет зарегистрирован сбой подтверждения передачи (ACK failure).

### 2.3.3. Спящий режим (Sleep Mode)

Спящие режимы позволяют модулю войти в состояние низкого расхода энергии если тот не используется. Чтобы войти в режим сна, необходимо выполнить одно из следующих условий (в дополнение к ненулевому значению параметра SM модуля):

- получена команда перехода в спящий режим Sleep\_RQ (вывод 9).
- модуль находится в ждущем режиме (нет приема или передачи данных) все время, определенное параметром ST. (Замечание: ST активен когда SM= 4-5.)

Таблица 2.1. Режимы сна

Вид спящего режима	Переход в спящий режим	Выход из спящего режима	Описание	Энергопотребление
Pin Hibernate (SM=1)	Высокий уровень на выводе 9 (Sleep_RQ)	Низкий уровень на выводе 9 (Sleep_RQ)	Используется в системах в режиме Non-Beacon. Минимальное электропотребление.	< 10 мкА (3В)
Pin Doze (SM=2)	Высокий уровень на выводе 9 (Sleep_RQ)	Низкий уровень на выводе 9 (Sleep_RQ)	Используется в системах в режиме Non-Beacon. Минимальное время пробуждения.	< 50 мкА
Циклический сон (Cyclic sleep) SM=4-5	Автоматический переход в спящий режим, определяемый параметрами SM и ST	Переход происходит после истечения циклического временного интервала. Временной интервал определен параметром SP.	Модуль просыпается через определенные временные интервалы, для проверки нет ли в эфире радиоданных. Для систем в режиме NonBeacon параметр SM = 5.	< 50 мкА

Команда SM является центральной в конфигурировании спящих режимов. По умолчанию, спящие режимы отключены (SM = 0), и модуль остается в режиме приема/ожидания. В этом случае, модуль постоянно готов к приему последовательных или радиоданных.

Более высокие напряжения. Потребление тока в спящем режиме очень чувствительно к напряжению. Напряжения выше 3,0 В вызовут намного более высокое потребление тока.

Таблица 2.2. Токи в режиме сна

Vcc (В)	XBee			XBee-PRO		
	SM=1	SM=2	SM=4-5	SM=1	SM=2	SM=4-5
2,8-3,0	<3 мкА	<35 мкА	<34 мкА	<4 мкА	<34 мкА	<34 мкА
3,1	8 мкА	37 мА	36 мкА	12 мкА	39 мкА	37 мкА
3,2	32 мкА	48 мкА	49 мкА	45 мкА	60 мкА	55 мкА
3,3	101 мкА	83 мкА	100 мкА	130 мкА	115 мкА	120 мкА
3,4	255 мкА	170 мкА	240 мкА	310 мкА	260 мкА	290 мкА

Во время выхода из режима сна (SM = 1 или 2) ток не превышает значение в режиме ожидания. Ток возрастает по экспоненте к значению режима ожидания.

#### Режим Pin Hibernate (SM = 1)

- Ток отключения: <10 мкА (3,0 В)

- время пробуждения: 13,2 мс

Режим Pin Hibernate минимизирует потребляемую мощность. Этот режим активизируется уровнем напряжения; когда поступает высокий уровень на вывод 9 (Sleep\_RQ), модуль заканчивает, любую передачу, прием или действия в ассоциации, переходит в ждущий режим и затем входит в спящий режим. Модуль не будет реагировать на поступление последовательных или радиоданных, в этом режиме сна.

Чтобы разбудить спящий модуль, находящийся в режиме Pin Hibernate, снимают высокий уровень на выводе 9 (Sleep\_RQ). Модуль выйдет из режима сна и будет готов передать или получать данные, при низком уровне сигнала на линии CTS. Во время пробуждения модуля, низкий уровень на выводе 9 должен быть установлен по крайней мере через период времени, равный времени приема двух байт после того, как будет установлен низкий уровень сигнала на линии CTS. Это гарантия, что есть время, чтобы данные могли войти в приемный буфер (DI Buffer).

#### **Режим Pin Doze (SM = 2)**

- Ток отключения: <50 мкА
- Время пробуждения: 2 мс

Режим Pin Doze аналогичен режиму Pin Hibernate; однако, режим Pin Doze обеспечивает более быстрое время пробуждения и более высокий расход энергии.

#### **Режим «циклический сон» (Cyclic Sleep Remote, SM = 4)**

- Ток отключения: <50 мкА
- Время пробуждения: 2 мс

Режим «циклический сон» позволяют модулям периодически проверять наличие передачи данных в эфире. Когда параметр SM=4, модуль настроен, чтобы спать, затем просыпаться однажды за цикл, чтобы проверить нет ли данных от модуля, настроенного как координатор циклического сна (SM= 0, CE = 1). Модуль посылает запрос координатору через определенный интервал, установленный параметром SP (циклический период сна). Координатор передаст любые запрошенные данные, адресованные модулю, после получения запроса.

Если в очереди нет данных для отправки на модуль, то координатор не будет ничего передавать, и модуль возвратится в спящий режим до другого цикла. Если стоявшие в очереди данные будут переданы модулю, то тот будет бодрствовать, пока не истечет время, установленное параметром ST (время перед сном).

Также, низкий уровень сигнала на линии CTS будет установлен каждый раз, когда модуль выходит из спящего режима, учитывая, что возможно хост модуля также начнет передавать данные модулю.

#### **Режим «циклический сон с аппаратным пробуждением» (Cyclic Sleep Remote with Pin Wake-up, SM = 5)**

Используйте этот способ, чтобы разбудить спящий модуль или через радиointерфейс или путем сброса высокого уровня на выводе 9 (Sleep\_RQ). Циклический сон работает как описано выше с дополнением возможности аппаратного пробуждения. Состояние вывода 9 (Sleep\_RQ) зависит от фронта сигнала, а не уровня. Модуль просыпается при приходе низкого уровня на вывод 9, далее устанавливается низкий уровень сигнала на линии CTS, модуль готов передать или получить данные.

Любая активность перезагрузит таймер ST, таким образом, модуль возвратится в спящий режим только после того, как не будет никакой деятельности в течение времени таймера ST. После того как модуль аппаратно выведен из спящего режима, дальнейшее состояние вывода 9 игнорируется. Модуль переходит назад в спящий режим согласно времени ST, независимо от состояния вывода 9.

### **2.3.4. Командный режим**

Чтобы изменять или читать параметры модуля, он должен сначала перейти в командный режим - состояние, в котором поступающие символы интерпретируются как ко-

манды. Поддерживаются две разновидности командного режима: АТ командный режим и АРІ командный режим.

### АТ командный режим

Для того, чтобы войти в командный режим, пошлите 3-символьную последовательность “+++” и наблюдайте время защиты прежде и после управляющих символов.

Командная последовательность по умолчанию (для перехода в командный режим):

- в течение одной секунды не один символ не был послан [ параметр GT(время защиты) = 0x3E8]
- три символа «плюс» (“+++”) введены в течение одной секунды [параметр CC (символ командной последовательности) = 0x2B.]
- в течение одной секунды не один символ не был послан [ параметр GT(время защиты) = 0x3E8]

Все значения параметров последовательности могут быть изменены.

Каждая АТ-команда представляет собой текстовую строку, которая начинается символами «АТ». Далее следует код команды, пробел, параметр команды и символ «возврат каретки» (<CR>, код 0x0D) (табл. 2.3). Например, команда, изменяющая младший байт адреса модуля на «0x1F» будет выглядеть так: ATDL 1F <CR>. Для сохранения измененных параметров модуля в энергонезависимой памяти используется команда записи WR (Write). Если не подать команду WR, то после выключения и повторной подачи питания будут восстановлены предыдущие значения параметров. Каждая подаваемая команда сначала распознается модулем и затем выполняется. В случае успешного выполнения модуль выдаст строку «ОК» по линии DO. Если команду не удалось исполнить, сообщение «ERROR» поступает во внешний микроконтроллер. Модуль выходит из командного режима по команде «ATCN» или по программируемому тайм-ауту (параметр CT).

Таблица 2.3. Пример АТ-команды

Отсылаемая АТ-команда	Ответ модуля
+++	ОК <CR> (Вошли в командный режим)
ATDL <Enter>	{текущее значение}<CR> (Прочитать значение DL)
ATDL1A0D <Enter>	ОК <CR> (Изменить значение DL на 0x00001A0D)
ATWR <Enter>	ОК <CR> (записать в энергонезависимую память)
ATCN <Enter>	ОК <CR> (Выйти из командного режима)

## 2.4. Адресация

При связи между двумя сетевыми устройствами, каждый пакет данных содержит поля <адрес источника> и <адрес назначения>. Модуль соответствует 802.15.4 спецификациям и поддерживает как короткие 16-разрядные адреса, так и 64-битовые адреса. Уникальный 64-битовый адрес источника назначен на фабрике и может быть считан из параметров SL и SH. Короткая адресация должна быть сконфигурирована вручную. Модуль будет использовать свой уникальный 64-битовый адрес как <адрес источника>, если значение параметра MY будет «0xFFFF» или «0xFFFFE».

Чтобы послать пакет определенному модулю, используя 64-битовую адресацию, установите адрес назначения (DL + DH) в соответствие адресу источника (SL + SH) наменного модуля. Чтобы послать пакет определенному модулю, используя 16-разрядную адресацию, установите параметр DL равным параметру MY (адрес источника) и установите параметр DH равным «0».

### 2.4.1. Режим одноадресной передачи (Unicast Mode).

Режим одноадресной передачи позволяет производить подтверждение связи. В этом режиме, принимающие модули посылают подтверждение (ACK) приема пакета на передающий модуль. Если передающий модуль не будет получать подтверждение, то он снова пошлет пакет до трех раз, пока не получит подтверждения.

Режим Unicast - единственный режим, который поддерживает повторения.

**Короткие 16-разрядные адреса.** Модуль может быть сконфигурирован так, чтобы использовать короткие 16-разрядные адреса как адрес источника, путем установки параметра MY < 0xFFFFE. Установка параметра DH (DH= 0) приводит адрес назначения к 16-разрядному виду (если DL < 0xFFFFE). Для двух модулей, используя короткую адресацию, адрес назначения модуля передатчика должен соответствовать параметру MY приемника.

Следующая таблица показывает типовой сетевой конфигурации, которая допустила бы связи Режим Unicast, используя 16-разрядные короткие адреса.

**Длинные 64-разрядные адреса.** Серийный номер модуля (SL+SH) может использоваться как 64-битовый адрес источника, когда параметр MY (16-разрядный адрес источника) заблокирован (MY = 0xFFFFF или 0xFFFFE).

Когда конечные устройства находятся в ассоциации с координатором, его параметр MY устанавливается равным 0xFFFFE, чтобы разрешить 64-битовую адресацию. 64-битовый адрес модуля сохранен как параметры SH и SL. Чтобы послать пакет определенному модулю, адрес назначения (DL + DH) на одном модуле должен соответствовать адресу источника (SL + SH) другого.

### 2.4.2. Режим широковещательной передачи (Broadcast Mode)

Любой модуль примет пакет, который содержит широковещательный адрес. В широковещательном режиме, не происходит подтверждения приема, как это имеет место в режиме одноадресной передачи.

Чтобы посылать широковещательный пакет всем модулям независимо от 16-разрядной или 64-битовой адресации, установите адреса назначения всех модулей как показано ниже.

Типовая Конфигурация (Все модули в сети):

DL = 0x0000FFFF

DH = 0x00000000

Примечание: программируя модуль, параметры вводятся в шестнадцатеричном виде (без префикса "0x"). Начальные нули могут быть опущены.

### 3. Конфигурирование модуля

Конфигурирование модуля (изменение параметров) может производиться тремя способами: 1) путем подачи командных последовательностей на соответствующий вывод; 2) путем изменения параметров в программе X-CTU (вкладка Modem Configuration); 3) путем ввода AT-команд в программе X-CTU (вкладка Terminal).

Каждый модуль в сети должен иметь одну и ту же версию встроенного ПО (firmware).

#### 3.1. Таблица команд

XBee/XBee-PRO модули оперируют числовыми значениями в шестнадцатеричном виде. Шестнадцатеричные значения определяются "0x" префиксом. Десятичные значения определяются суффиксом "d". Строки таблицы сортированы по категориям команд.

Таблица 3.1. AT-команды и их параметры

AT-команда	Категория команды	Имя и описание команды	Принимаемые значения	Значение по умолчанию
FR	Специальная	<b>Программный сброс (Software Reset).</b> Немедленно отвечает ОК, затем выполняет аппаратный сброс через приблизительно через 100мс.	-	-
RE	Специальная	<b>Восстановить параметры по умолчанию (Restore Defaults).</b> Восстанавливает параметры модуля в значения по умолчанию.	-	-
WR	Специальная	<b>Записать (Write).</b> Записывает значения параметров в энергонезависимую память, чтобы модификации параметров сохранились после включения питания или сброса. Замечание: Как только как только отдана команда WR, никакие дополнительные символы не должны быть посланы модулю до получения ответа "OK\r".	-	-
CH	Работа в сети (Адресация)	<b>Канал (Channel).</b> Установка/чтение номера канала, используемого для того, чтобы осуществлять радиопередачу и прием. Используются номера канала протокола 802.15.4.	0x0B-0x01A (XBee) 0x0C-0x17 (XBee-PRO)	0x0C (12d)
ID	Работа в сети (Адресация)	<b>Сетевой идентификатор (PAN ID).</b> Установка/чтение сетевого идентификатора персональной сети (PAN). Используйте 0xFFFF, чтобы послать сообщения всем сетям.	0xFFFF	0x3332 (1310d)
DH	Работа в сети (Адресация)	<b>Старшие байты адреса назначения (Destination Address High).</b> Установка/чтение старших 32 бит 64-битового адреса назначения. В совокупности с параметром DL, DH определяет адрес назначения, используемый для передачи. Чтобы передать данные, используя 16-разрядные адреса, установите параметр DH на ноль и параметр DL меньше чем 0xFFFF.	0xFFFFFFFF	0

		0x000000000000FFFF - широковещательный адрес для персональной сети (PAN).		
DL	Работа в сети (Адресация)	<b>Младшие байты адреса назначения (Destination Address Low).</b> Установка/чтение младших 32 бит 64-битового адреса назначения. В совокупности с параметром DH, DL определяет адрес назначения, используемый для передачи. Чтобы передать данные, используя 16-разрядные адреса, установите параметр DH на ноль и параметр DL меньше чем 0xFFFF. 0x000000000000FFFF - широковещательный адрес для персональной сети (PAN).	0xFFFFFFFF	0
MY	Работа в сети (Адресация)	<b>16-разрядный адрес источника (16-bit Source Address).</b> Установка/чтение 16-разрядного адреса модуля. Установите MY = 0xFFFF, чтобы отключить прием пакетов с 16-разрядными адресами. 64-битовый адрес источника (серийный номер) и широковещательный адрес (0x000000000000FFFF) всегда допускаются.	0xFFFF	0
SH	Работа в сети (Адресация)	<b>Старшие байты серийного номера (Serial Number High).</b> Чтение старших 32 бит уникального 64-битового адреса модуля. 64-битовый адрес источника всегда включен.	0xFFFFFFFF (только для чтения)	Установлено изготовителем
SL	Работа в сети (Адресация)	<b>Младшие байты серийного номера (Serial Number Low).</b> Чтение младших 32 бит уникального 64-битового адреса модуля. 64-битовый адрес источника всегда включен.	0xFFFFFFFF (только для чтения)	Установлено изготовителем
RN	Работа в сети (Адресация)	<b>Случайные слоты задержки (Random Delay Slots).</b> Установка/чтение минимального значения экспоненты задержки в алгоритме CSMA-CA, который используется для предотвращения коллизий (столкновений пакетов). Если RN = 0, предотвращение коллизий заблокировано в течение первой итерации алгоритма (802.15.4 - macMinBE).	0-3	0
MM	Работа в сети (Адресация)	<b>MAC режим (MAC Mode).</b> Установка/чтение значения MAC режима. Режим MAC, разрешает/запрещает использование заголовка MaxStream в радиопакетах 802.15.4. Когда MM=0, происходит двойное обнаружение пакета так же как и AT команды. Режимы 1 и 2 являются строгими 802.15.4 режимами.	0-2	0
NI	Работа в сети (Идентификация)	<b>Идентификатор узла (Node Identifier).</b> Хранит строковый идентификатор. Регистр принимает только ASCII данные. Строка не может начинаться с пробела. Возврат каретки (Enter) заканчивает команду. Команда будет автоматически закончиться, когда мак-	20-ти байтная строка ASCII	-

		симальный размер строки будет введен. Эта строка будет возвращена как часть команды ND (обнаружение узла). Этот идентификатор также используется с командой DN (узел назначения).		
ND	Работа в сети (Идентификация)	<p><b>Обнаружение узла (Node Discover).</b> Обнаруживает и сообщает обо всех найденных модулях. Следующая информация будет сообщена для каждого обнаруженного модуля:</p> <p>MY&lt;CR&gt; SH&lt;CR&gt; SL&lt;CR&gt; DB&lt;CR&gt; NI&lt;CR&gt;&lt;CR&gt;</p> <p>После истечения 2,5 секунд, команда заканчивается, возвращая &lt;CR&gt; (возврат каретки). ND также принимает модемный идентификатор как параметр. В этом случае только модуль соответствующий введенному идентификатору ответит.</p>	20-ти байтное значение NI (опционально)	
DN	Работа в сети (Идентификация)	<p><b>Узел назначения (Destination Node).</b> Привязывает строку модемного идентификатора к физическому адресу. Следующие события происходят после успешного выполнения команды:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. DL и DH устанавливаются равными адресу модуля с соответствующим модемным идентификатором</li> <li>2. «OK».</li> <li>3. Модуль автоматически выходит из командного режима</li> </ol> <p>Если от модуля нет ответа в течение 200 мс, или параметр не определен (оставлен пустым), команда заканчивается, и выдается сообщение "ОШИБКА".</p>	20-ти байтная строка ASCII	
CE	Работа в сети (Ассоциация)	<b>Включение координатора (Coordinator Enable).</b> Установка/чтение настроек координатора	0-1 0=конечное устройство 1=координатор	0
SC	Работа в сети (Ассоциация)	<p><b>Сканирование канала (Scan Channel).</b> Установить/прочитать список каналов, для сканирования активности (Active Scan) и уровня сигнала (Energy Scan) как битовое поле. Это влияет на сканирования, начатые в командном режиме (команды AS, ED) и в течение запуска ассоциаций конечных устройств и координатора:</p> <p>бит 0-0x0B, бит 1-0x0C, бит 2-0x0D, бит 3-0x0E, бит 4-0x0F, бит 5-0x10, бит 6-0x11, бит 7-0x12, бит 8-0x13, бит 9-0x14, бит 10-0x15, бит 11-0x16, бит 12-0x17, бит 13-0x18, бит 14-0x19, бит 15-0x1A</p>	0-0xFFFF (биты 0, 14, 15 запрещены для XBee-PRO)	0x1FFE (все каналы XBee-PRO)
SD	Работа в сети (Ассоциация)	<b>Продолжительность сканирования (Scan Duration).</b> Установить/прочитать продолжительность сканирования.	0-0x0F (экспоненциально)	4



		<p><b>Конечное устройство</b> - продолжительность сканирования активности (Active Scan) в течение Ассоциации.</p> <p><b>Координатор</b> - если на координаторе установлена опция «ReassignPANID» (см. параметр A2), SD определяет отрезок времени, в течение которого координатор сканирует каналы, чтобы обнаружить частные сети (PAN). Если установлена опция «ReassignPANID», SD определяет, как долго координатор будет выполнять сканирование уровня сигнала (Energy Scan), чтобы определить, на каком канале он будет работать.</p> <p>«Время сканирования» измеряется как (число каналов сканирования) * (2 ^ SD) *(15.36мс). Число каналов сканирования устанавливается командой SC. XBee может сканировать до 16 каналов (SC = 0xFFFF). XBee-PRO может сканировать до 13 каналов (SC = 0x3FFE).</p> <p>Пример: значения ниже показывают результаты для сканирования 13 каналов:</p> <p>Если SD = 0, время = 0.18 с; SD = 2, время = 0.74с; SD = 4, время = 2.95 с; SD = 6, время = 11.80 с; SD = 8, время = 47.19 с; SD = 10, время = 3.15 мин; SD = 12, время = 12.58 мин; SD = 14, время = 50.33 мин.</p>		
A1	Работа в сети (Ассоциация)	<p><b>Ассоциация конечных устройств (End Device Association).</b> Установка/чтение настроек ассоциации.</p> <p><i>бит 0 – переназначение идентификатора сети (ReassignPanID)</i></p> <p>0 – свяжется только с координатором, идентификатор сети (PAN ID) которого соответствует идентификатору сети модуля.</p> <p>1 – может связаться с координатором, идентификатор сети которого может быть любым.</p> <p><i>бит 1 – переназначение канала (ReassignChannel)</i></p> <p>0 – свяжется только с координатором, работающим на канале, который соответствует каналу модуля (CH модуля = CH координатора)</p> <p>1 – может связаться с координатором, работающим на любом канале</p> <p><i>бит 2 – Автоассоциация (AutoAssociate)</i></p> <p>0 – устройство не будет делать попытку ассоциации</p> <p>1 – устройство делает попытку ассоциации до успеха</p> <p>Примечание: Этот бит используется только для систем в режиме Non-Beacon . Конечные устройства в режиме Beacon должны всегда вступать в ассоциацию с координатором.</p>	0-0x0F (битовое поле)	0

		<p><i>бит 3 – запрос координатора при аппаратном пробуждении (PollCoordOnPinWake)</i></p> <p>0 – при аппаратном пробуждении (Pin Wake) модуль не будет запрашивать координатор, есть ли косвенные данные для него.</p> <p>1 – при аппаратном пробуждении модуль пошлет запрос координатору, чтобы принять любые косвенные данные</p> <p><i>биты 4 - 7 зарезервированы</i></p>		
A2	Работа в сети (Ассоциация)	<p><b>Ассоциация координатора (Coordinator Association).</b> Установка/чтение параметров ассоциации Координатора.</p> <p><i>бит 0 – переназначение идентификатора сети (ReassignPanID)</i></p> <p>0 - координатор не будет выполнять сканирования активности (Active Scan), чтобы определить доступные частные сети (PAN). Он будет работать только со своей сетью, определенной параметром ID.</p> <p>1 - координатор выполнит сканирование активности, чтобы определить доступную частную сеть. Если будет найден конфликт идентификаторов, то параметр ID изменится.</p> <p><i>бит 1 – переназначение каналов (ReassignChannel)</i></p> <p>0 - координатор не будет выполнять сканирование уровня сигнала (Energy Scan), чтобы определить свободный канал. Он будет работать на канале, определенном параметром CH.</p> <p>1 - координатор выполнит сканирование уровня сигнала, чтобы найти свободный канал, затем будет работать на этом канале.</p> <p><i>бит 2 – разрешение ассоциации (AllowAssociation)</i></p> <p>0 - координатор не будет позволять никаким устройствам ассоциироваться с ним.</p> <p>1 - координатор позволит устройствам ассоциироваться с ним.</p> <p><i>биты 3 - 7 зарезервированы</i></p>	0-7 (битовое поле)	6
AI	Работа в сети (Ассоциация)	<p><b>Индикация ассоциации (Association Indication).</b> Выдает код ошибки последнего запроса ассоциации:</p> <p>0x00 - успешное завершение - координатор успешно стартовал или завершилась ассоциация конечных устройств</p> <p>0x01 – превышено время сканирования активности (Active Scan Timeout)</p> <p>0x02 – во время сканирования активности не найдено персональных сетей (PAN)</p> <p>0x03 - во время сканирования активности найдены персональные сети, но бит CoordinatorAllowAssociation не</p>	0-0x13 (только для чтения)	-

		<p>установлен</p> <p>0x04 - во время сканирования активности найдены персональные сети, но координатор и конечные устройства не сконфигурированы для поддержки маяков (beacons).</p> <p>0x05 - во время сканирования активности найдены персональные сети, но параметр ID координатора не соответствует параметру ID конечного устройства</p> <p>0x06 - во время сканирования активности найдены персональные сети, но параметр CH координатора, не соответствует параметру CH конечного устройства</p> <p>0x07 - превышено время сканирования уровня сигнала (Energy Scan Timeout)</p> <p>0x08 - запрос старта координатора потерпел неудачу</p> <p>0x09 - координатор не может начать работать из-за неверного параметра</p> <p>0x0A - происходит ресинхронизация координатора</p> <p>0x0B - запрос ассоциации не послан</p> <p>0x0C - превышено время запроса ассоциации – ответа не было получено</p> <p>0x0D - запрос ассоциации имел неправильный параметр</p> <p>0x0E - отказано в доступе к каналу запроса ассоциации. Запрос не был передан - отказ CCA (оценки чистоты канала)</p> <p>0x0F - удаленный координатор не послал сигнал подтверждения приема (ACK) после того, как ему был послан запрос ассоциации</p> <p>0x10 - удаленный координатор не ответил на запрос ассоциации, но сигнал подтверждения приема (ACK) был получен после отправки запроса</p> <p>0x11 - [зарезервировано]</p> <p>0x12 - потеря синхронизации - потеря синхронизация с координатором в режиме Beacon</p> <p>0x13 – деассоциация – потеря связи с координатором</p>		
DA	Работа в сети (Ассоциация)	<b>Ручная деассоциация (Force Disassociation).</b> Конечное устройство немедленно прекратит связь с координатором (если связано) и попытается связаться вновь.	-	-
FP	Работа в сети (Ассоциация)	<b>Ручной опрос (Force Poll).</b> Запрашивает косвенные сообщения, находящиеся на координаторе.	-	-
AS	Работа в сети (Ассоциация)	<b>Активное сканирование (Active Scan).</b> Посылает запрос маяка (Beacon Request) по широкополосному адресу (0xFFFF) на каждом канале. Параметр определяет время, в течение которого ищутся маяки на каждом канале. PanDescriptor создается и посылается от каждого маяка, найденного	0-6	-

		<p>во время сканирования. Каждый Pan-Descriptor содержит следующую информацию:</p> <p>Адрес координатора [CoordAddress (SH, SL)]</p> <p>Сетевой идентификатор координатора (CoordPanID)</p> <p>Режим адресации координатора (CoordAddrMode)</p> <p>0x02 = 16-битный короткий адрес</p> <p>0x03 = 64-битный длинный адрес</p> <p>Канал (параметр CH)</p> <p>Уровень безопасности (SecurityUse)</p> <p>ACLEntry</p> <p>SecurityFailure</p> <p>SuperFrameSpec (2 байта):</p> <p>бит 15 - Ассоциация разрешена (MSB)</p> <p>бит 14 - Координатор частной сети (PAN)</p> <p>бит 13 - Зарезервировано</p> <p>бит 12 - Заряд батареи</p> <p>биты 8-11 - Final CAP Slot</p> <p>биты 4-7 - Superframe Order</p> <p>биты 0-3 - Beacon Order</p> <p>GtsPermit</p> <p>Оценка уровня сигнала [RSSI(-dBm)]</p> <p>TimeStamp (3 байта)</p> <p>Сканирование активности может вернуть до 5 PanDescriptors за один раз. Фактическое время сканирования на каждом канале = <math>[(2^{SD}) * 15.36]</math>мс. Примечание: полное время сканирования равно времени сканирования одного канала, умноженного на число каналов, которые будут просканированы (16 для XBees и 13 для Xbee-PRO). Также обратитесь к описанию команды SD.</p>		
ED	Работа в сети (Ассоциация)	<p><b>Сканирование уровня сигнала (Energy Scan).</b> Параметр определяет длительность сканирования на каждом канале. Возвращается максимальный уровень сигнала на каждом канале, сопровождающийся переводом каретки. Дополнительный перевод каретки посылается в конце команды. Возвращенные значения, представляют собой обнаруженный уровень сигнала в -dBm. Фактическое время сканирования каждого канала измеряется как <math>[(2^{ED}) * 15.36]</math> мс. Примечание: полное время сканирования равно времени сканирования одного канала, умноженного на число каналов, которые будут просканированы. Также обратитесь к описанию команды SD.</p>	0-6	-
PL	Радиосвязь	<p><b>Уровень мощности (Power Level).</b> Выбор/чтение уровня мощности, передаваемой радиомодулем.</p>	0-4	4
CA	Радиосвязь	<p><b>Порог оценки чистоты канала (CCA Threshold).</b> Установка/чтение порога оценки чистоты канала. До передачи пакета, выполняется CCA,</p>	0-0x50 (-dBm)	0x2C (-44 dBm)

		чтобы обнаружить сигнал на канале. Если уровень обнаруженного сигнала будет выше порога CCA, то модуль не будет передавать пакет.		
BD	Последовательное соединение	<b>Скорость последовательного интерфейса (Interface Data Rate).</b> Установка/чтение скорости последовательного интерфейса для коммуникации между последовательным портом модуля и хостом.	0-7 (стандартные скорости) 0 = 1200 бит/с 1 = 2400 2 = 4800 3 = 9600 4 = 19200 5 = 38400 6 = 57600 7 = 115200 0x80 – 0x1C200 (нестандартные скорости)	3
RO	Последовательное соединение	<b>Перерыв пакетирования (Packetization Timeout).</b> Установка/чтение числа символов задержки, требуемых перед передачей. Установите равным нулю, чтобы передавать символы, как только они прибывают на модуль, вместо буферизации их в один пакет.	0 – 0xFF (умножить на количество символов)	3
D7	Последовательное соединение	<b>Конфигурация цифрового порта ввода/вывода 7 (DIO7 Configuration).</b> Установка/чтение настроек для линии DIO7 модуля.	0-1 0 = Отключен 1 = Контроль передачи CTS	1
D6	Последовательное соединение	<b>Конфигурация цифрового порта ввода/вывода 6 (DIO6 Configuration).</b> Установка/чтение настроек для линии DIO6 модуля. Настройки включают контроль передачи RTS.	0-1 0 = Отключен 1 = Контроль передачи RTS	0
D5	Последовательное соединение	<b>Конфигурация цифрового порта ввода/вывода 5 (DIO5 Configuration).</b> Настройки линии DIO5 модуля. Настройки включают: светодиодный индикатор ассоциации (мигает при ассоциации).	0-1 0 = Отключен 1 = Индикатор ассоциации	1
P0	Последовательное соединение	<b>Конфигурация выхода ШИМ канала 0 (PWM0 Configuration).</b> Установка/чтение функции для PWM0.	0-1 0 = Отключен 1 = Контроль передачи данных (RSSI)	1
AP	Последовательное соединение	<b>Включить режим API (API Enable).</b> Включение режима API	0-2 0 = Отключен 1 = режим API 2 = режим API (с исключением символов)	0
PR	Последовательное соединение	<b>Включение подтягивающего резистора (Pull-up Resistor Enable).</b> Установка/чтение битового поля, устанавливающего подтягивающий резистор для линий ввода/вывода. бит 0 - AD4/DIO4/RF_TX бит 1 - COORD бит 2 - AD2/DIO2 бит 3 - AD1/DIO1 бит 4 - AD0/DIO0 бит 5 - RTS бит 6 - SLEEP_RQ	0-0xFF	0xFF

		бит 7 - DIN/CONFIG «1» означает, что резистор подклю- чен, «0» - не подключен		
SM	Режим сна (низкое энер- гопотребле- ние)	<b>Спящий режим (Sleep Mode).</b> Уста- новка/чтение конфигурации спящего режима.	0-5 0 = запрет перехода в ждущий режим 1 = режим Pin Hi- bernate 2 = режим Pin Doze 3 = зарезервировано 4 = режим «цикли- ческий сон» 5 = режим «цикли- ческий сон с аппа- ратным пробужде- нием»	0
SP	Режим сна (низкое энер- гопотребле- ние)	<b>Период циклического сна (Cyclic Sleep Period).</b> Установка/чтение пе- риода сна для циклически спящих мо- дулей. Значения параметра SP коор- динатора и конечного устройства должны быть равными. Чтобы посы- лать прямые сообщения, установите SP = 0. <i>Конечное устройство</i> - SP определяет период сна для циклически спящих модулей. Максимальный период сна - 268 секунд (0x68B0). <i>Координатор</i> - Если отличен от нуля, SP определяет время, чтобы хранить косвенное сообщение перед отказом от него. Координатор откажется от косвенных сообщений после истече- ния времени, равного 2,5 * SP.	0-0x68B0 (умно- жить на 10 мс)	0
DP	Режим сна (низкое энер- гопотребле- ние)	<b>Деассоциированный период цикли- ческого сна (Disassociated Cyclic Sleep Period).</b> <i>Конечное устройство</i> - установ- ка/чтение периода времени сна для циклически спящих модулей, которые skonфигурированы для ассоциации, но не ассоциированы с координато- ром (то есть, если устройство конфи- гурировано для ассоциации, с цикли- ческим сном, но не находит Коорди- натор, то оно будет спать в течение времени DP перед следующей попыт- кой ассоциации). Максимальный пе- риод сна - 268 секунд (0x68B0). DP должен быть > 0 для систем в режиме NonBeacon.	1-0x68B0 (умно- жить на 10 мс)	0x3E8 (1000d)
ST	Режим сна (низкое энер- гопотребле- ние)	<b>Время перед переходом в спящий режим (Time before Sleep).</b> Установ- ка/чтение периода бездействия (ни последовательные, ни радиодан- ные не посылаются и не принимаются) перед переходом в спящий режим. Параметр ST действителен, только ес- ли установлен режим циклического сна (SM = 4 - 5). Значения ST для координатора и ко- нечного устройства должны быть рав-	1-0xFFFF (мс)	0x1388 (5000d)

		ными. Также, значение параметра GT должно всегда быть меньше, чем значение ST. (Если GT > ST, модуль, не сможет войти в командный режим.) Если параметр ST изменен, также измените параметр GT.		
EC	Диагностика	<b>Отказы ССА (CCA Failures).</b> Сбросить/прочитать счетчик отказов ССА (оценки чистоты канала). Значение параметра увеличивается, когда модуль не передает пакет, вследствие обнаружения энергии выше порогового уровня ССА, устанавливаемого командой CA. Установите счетчик равным ноллю, чтобы его перезапустить.	0-0xFFFF	-
EA	Диагностика	<b>Отказы подтверждения передачи (ACK Failures).</b> Сбросить/прочитать счетчик отказов подтверждения. Значение параметра увеличивается, когда модуль повторяет передачу несколько раз, не получая подтверждения передачи пакета. Установите счетчик равным ноллю, чтобы его перезапустить.	0-0xFFFF	-
EH	Диагностика	<b>Эхо (Echo).</b> Посылает параметр команды как радиопакет к отдаленному модулю, который посылает назад данные к передающему модулю. Эта команда использует текущее значение DL и DH. Команда заканчивается посылкой <CR> (перевод каретки).	От 1 до 20 байт	-
VR	Диагностика	<b>Версия прошивки (Firmware Version).</b> Чтение версии встроенного ПО модуля.	0-0xFFFF (только для чтения)	Установлено производителем
VL	Диагностика	<b>Версия прошивки – расширенная (Firmware Version – Verbose).</b> Возвращает детализированная информация о версии встроенного ПО (включая дату компиляции, версии MAC, PHY и загрузчика).	-	-
HV	Диагностика	<b>Версия аппаратного обеспечения (Hardware Version).</b> Чтение версии аппаратного обеспечения модуля.	0-0xFFFF (только для чтения)	Установлено производителем
RP	Диагностика	<b>RSSI ШИМ Таймер (RSSI PWM Timer).</b> Включите ШИМ выход на 6 выводе модуля, который показывает силу сигнала RX.	0-0xFF (умножить на 100мс)	0x28 (40d)
DB	Диагностика	<b>Сила принимаемого сигнала (Received Signal Strength).</b> Чтение уровня сигнала (в децибелах) последнего принятого пакета (RSSI). Возвращается абсолютное значение. (Например: 0x58 = -88 dBm.) Возвращенное значение точно между -40 dBm и чувствительностью RX.	0-0x64 (только для чтения)	-
ED	Диагностика	<b>Сканирование уровня сигнала (Energy Scan).</b> Параметр определяет длительность сканирования на каждом канале. Возвращается максимальный уровень сигнала на каждом канале, сопровождающийся переводом каретки. Возвращенные значения, пред-	0-7	-

		ставляют собой обнаруженный уровень сигнала в -dBm. Фактическое время сканирования каждого канала измеряется как $[(2 \cdot ED) \cdot 15.36]$ мс.		
CT	Опции командного режима	<b>Таймаут командного режима (Command Mode Timeout).</b> Установить/прочитать период бездеятельности (не принято ни одной команды) после которого модуль автоматически выходит из командного режима и возвращается в ждущий режим.	2-0xFFFF (умножить на 100 мс)	0x64 (100d)
CN	Опции командного режима	<b>Выход из командного режима (Exit Command Mode).</b> Выход модуля из командного режима.	--	--
AC	Опции командного режима	<b>Применить изменения (Apply Changes).</b> Применить изменения к очередному значению параметра и перезапустить модуль.	--	--
GT	Опции командного режима	<b>Защитное время (Guard Times).</b> Установите требуемый период тишины прежде и после символов командной последовательности (GT + CC + GT). Период тишины используется, чтобы предотвратить случайный вход в командный режим.	2-0xFFFF мс	0x3E8 (1000d)
CC	Опции командного режима	<b>Символ командной последовательности (Command Sequence Character).</b> Установить/прочитать символ ASCII, который используется между защитными временами в командной последовательности (GT+CC+GT). Командная последовательность вводит модуль в командный режим.	0-0xFF	0x2B («+» в ASCII)

### 3.2 Работа в режиме API

По умолчанию, XBee/XBee-PRO модули работают в прозрачном режиме (Transparent Operation) - в этом режиме все данные, пришедшие на вывод DI, стоят в очереди на радиопередачу. Когда модуль получает радиопакет, данные отсылаются на вывод DO, без дополнительной информации.

Прозрачному режиму свойственны следующие особенности:

- Если требуется установить или прочитать параметры модуля, требуется специальная операция для перехода в командный режим.
- В системах «точка – точкам», приложение должно посылать дополнительную информацию, чтобы принимающий модуль мог различить данные, приходящие от различных источников.

Как альтернатива стандартному прозрачному режиму, доступен режим API (программируемый интерфейс приложения). Режим API требует, чтобы связь с модулем осуществлялась через структурированный интерфейс (данные находятся в структурах в определенном порядке). API определяет, как команды, ответы на команды и сообщения о статусе модуля посылаются и получаются от модуля, используя структуру данных UART.



### 3.2.1. Структура кадра данных API

Поддерживаются два режима API, и оба можно включить, используя команду AP. Используйте следующие значения параметра AP, для конфигурации модуля:

AP = 0 (по умолчанию): прозрачный режим, режимы API отключены

AP = 1: режим API

AP = 2: режим API (с исключением символов)

Любые данные, полученные до стартового разделителя отклоняются. Если кадр неверно принят или если контрольная сумма несовпадает, данные также отклоняются.

**Режим API (AP = 1)** В этом режиме структура кадра данных UART выглядит следующим образом:



Рис. 3.1. Структура кадра данных UART

На рис. 3.1: СЗБ – старший значащий байт, МЗБ – младший значащий байт.

**Режим API с исключением символов (AP = 2)** В этом режиме структура кадра данных UART выглядит следующим образом:



Рис. 3.2. Структура кадра данных UART (AP = 2)

**Исключение символов.** При отправке или получении кадра данных UART определенные значения данных должны быть исключены (помечены), таким образом, что они не будут сталкиваться с UART или операцией кадра данных UART. Чтобы избежать столкновения байтов данных, вставьте 0x7D и следуйте этому байту, чтобы избежать исключаемого ИЛИ (XOR) с 0x20.

Байты данных, которые должны быть исключены:

- 0x7E – Стартовый разделитель
- 0x7D – Escape
- 0x11 – XON
- 0x13 – XOFF

Пример – необработанный кадр данных UART (прежде исключения смешивающихся байтов):

0x7E 0x00 0x02 0x23 0x11 0xCB

0x11 необходимо исключить, что приводит к следующей структуре:

0x7E 0x00 0x02 0x23 0x7D 0x31 0xCB

Примечание: в вышеупомянутом примере, длина необработанных данных (исключая контрольную сумму) - 0x0002, и контрольная сумма неисключенных данных (исключая стартовый разделитель и длину) вычислена как:  $0xFF - (0x23 + 0x11) = (0xFF - 0x34) = 0xCB$ .

### Контрольная сумма

Чтобы проверять целостность данных, контрольная сумма вычисляется и проверяется на неисключенных данных.

*Вычисление:* не включая стартовых разделителей и длины, сложите все байты, сохраняя только младшие 8 битов результата и вычитите из 0xFF.

*Проверка:* сложите все байты (включая контрольную сумму, но не стартовый разделитель и длину). Если контрольная сумма будет правильна, то сумма будет равняться 0xFF.

### 3.2.2. Типы API

Кадр данных UART формирует свою специфическую структуру следующим образом:

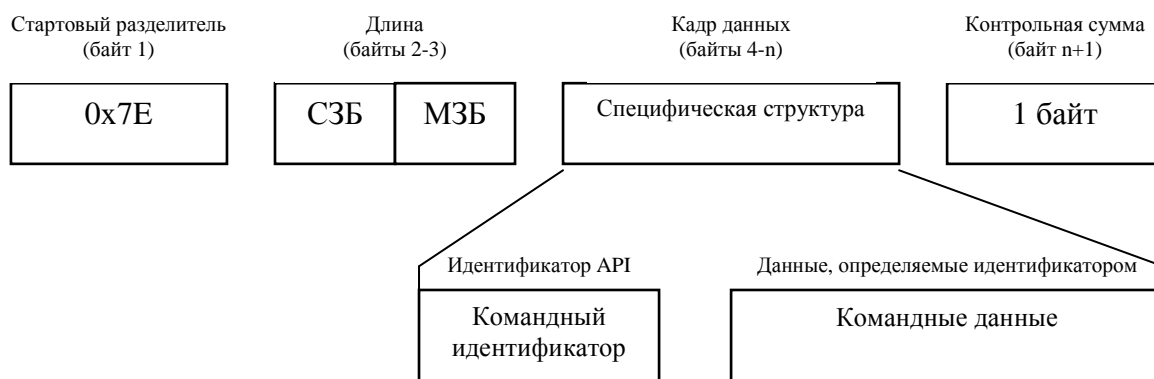


Рис. 3.3. Структура кадра данных UART и специфическая структура API

Командный идентификатор (cmdID) указывает, какие API сообщения будут содержаться в кадре командных данных (cmdData).

### Статус модема

API идентификатор: 0x8A

Сообщения о статусе посылаются модулем в ответ на определенные условия.

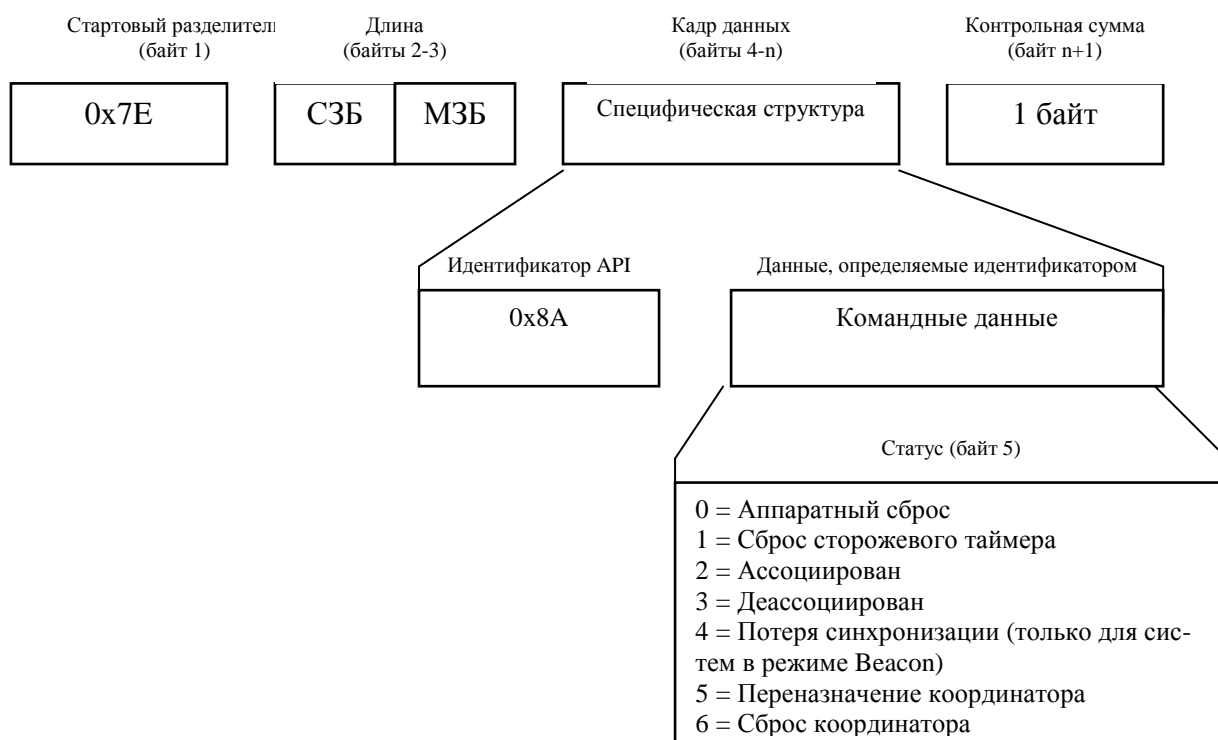


Рис. 3.4. Кадр статуса модема

## АТ команда

Значение API идентификатора: 0x08

Тип API «АТ команда» позволяет запросить или изменить параметры модуля. Используя этот командный идентификатор, новые значения параметров могут быть применены немедленно. Это включает любой набор регистров с «АТ команда - очередь значений параметров» (0x09) типом API.

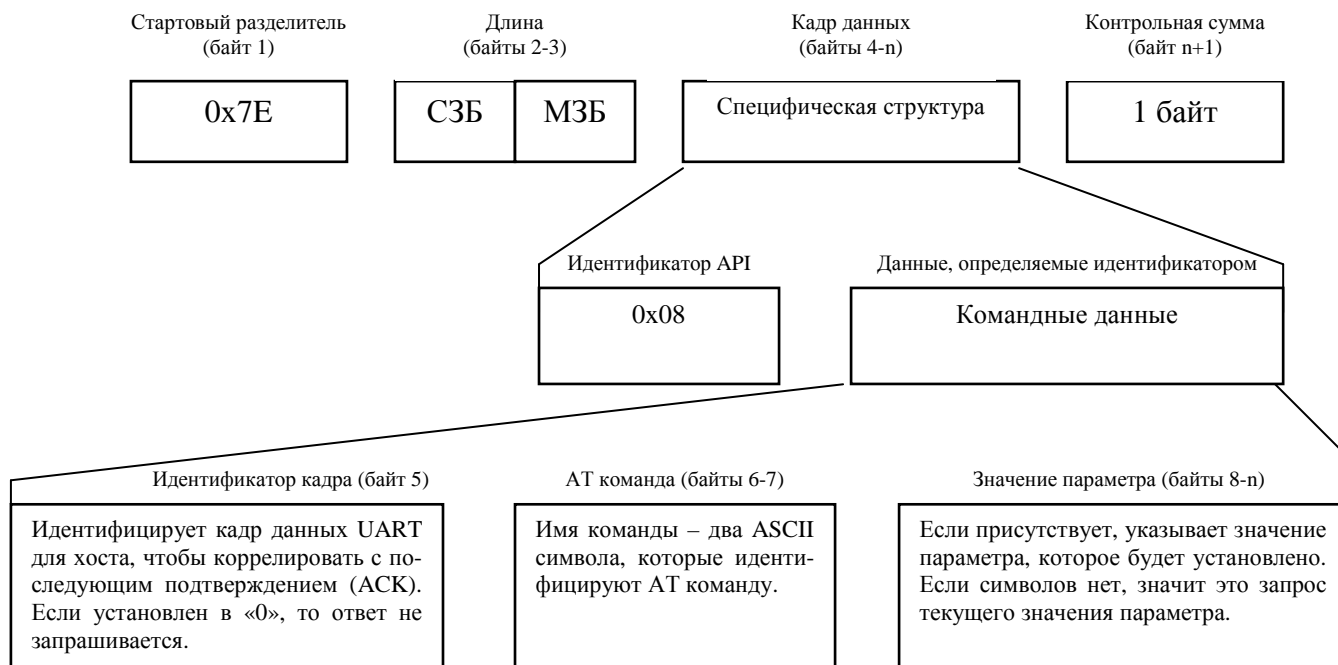


Рис. 3.5. Кадр АТ-команды

Пример кадра API при чтении параметра DL:

Байт 1	Байты 2-3		Байт 4	Байт 5	Байты 6-7		Байт 8
<b>0x7E</b>	<b>0x00</b>	<b>0x04</b>	<b>0x08</b>	<b>0x52 (R)</b>	<b>0x44 (D)</b>	<b>0x4C(L)</b>	<b>0x15</b>
Стартовый разделитель	Длина*		API идентификатор	Идентификатор кадра**	АТ команда		Контрольная сумма

\* Длина (в байтах) = API идентификатор + Идентификатор кадра + АТ команда

\*\* Значение «R» было выбрано произвольно.

Пример кадра API при изменении параметра DL:

Байт 1	Байты 2-3		Байт 4	Байт 5	Байты 6-7		Байты 8-11	Байт 12
<b>0x7E</b>	<b>0x00</b>	<b>0x08</b>	<b>0x08</b>	<b>0x4D (M)</b>	<b>0x44 (D)</b>	<b>0x4C(L)</b>	<b>0x00000FFF</b>	<b>0x0C</b>
Стартовый разделитель	Длина*		API идентификатор	Идентификатор кадра**	АТ команда		Значение параметра	Контрольная сумма

\* Длина (в байтах) = API идентификатор + Идентификатор кадра + АТ команда + Значение параметра

\*\* Значение «M» было выбрано произвольно.

### АТ-команда – очередь параметров

Значение API идентификатора: 0x09

Этот тип API позволяет запросить или изменить параметры модуля. В отличие от API типа «АТ-команда», новые значения параметра строятся в очередь и не применяются, пока не задействован API тип «АТ-команда» (0x08) или не послана команда АС (применить изменения). Запросы регистров (чтение значений параметра) возвращаются немедленно.

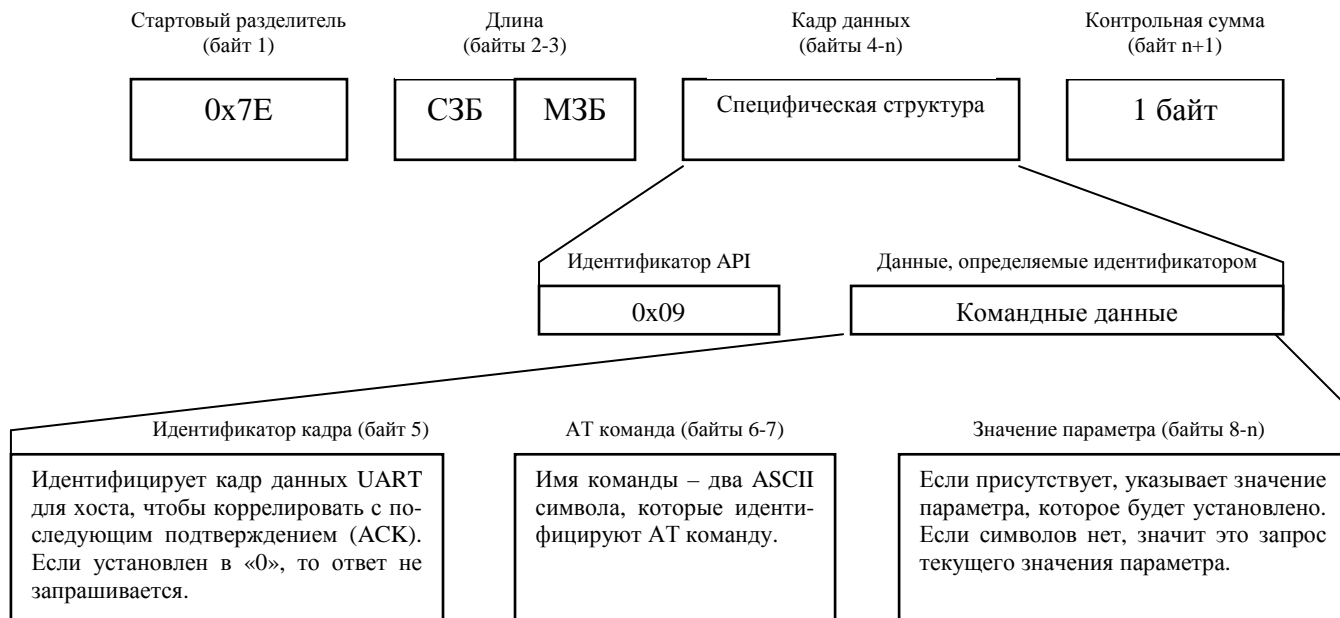


Рис. 3.6. Кадр АТ-команды

### Ответ АТ-команды

Значение API идентификатора: 0x88

Ответ на предыдущую команду.

В ответ на АТ-команду, модуль пошлет сообщение ответа АТ-команды. Некоторые команды отсылают назад множественные кадры (например, команды ND (обнаружение узла) и AS (сканирование активности)). Эти команды заканчиваются, посылкой кадра со статусом ATCMD\_OK и без командных данных.

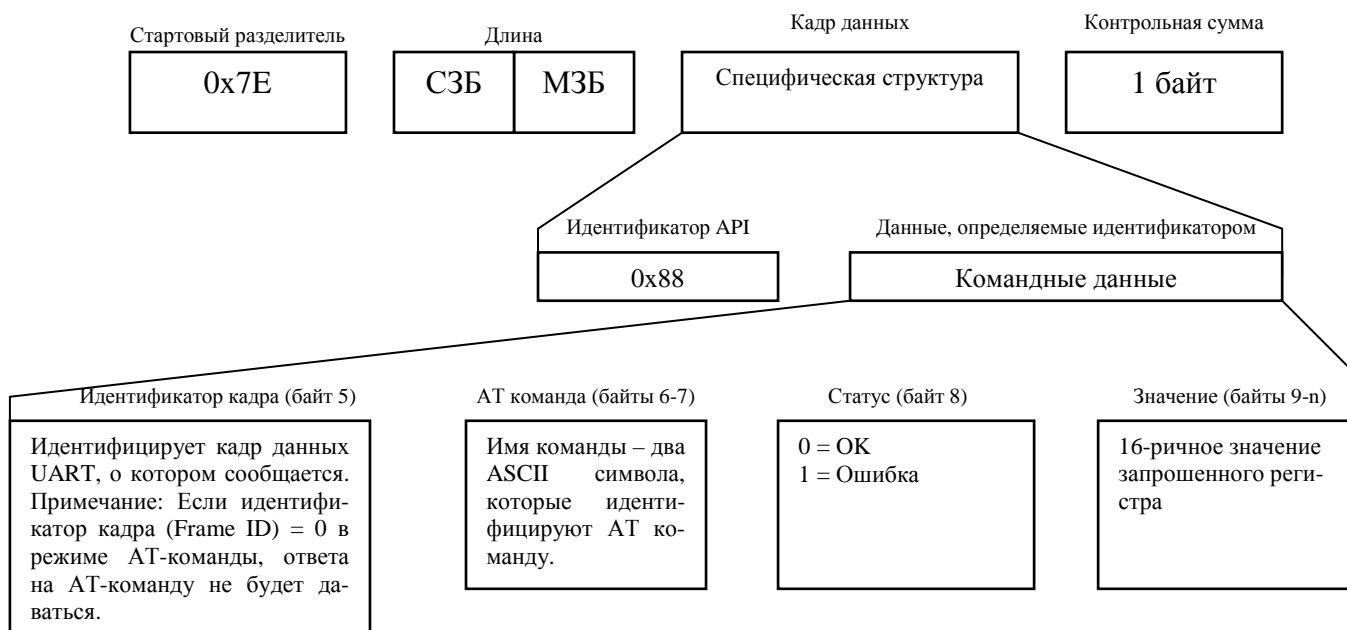


Рис. 3.7. Кадр ответа АТ-команды

### Запрос TX (передача): 64-битный адрес

Значение API идентификатора: 0x00

Сообщение запроса TX заставит модуль послать радиоданные как радиопакет.

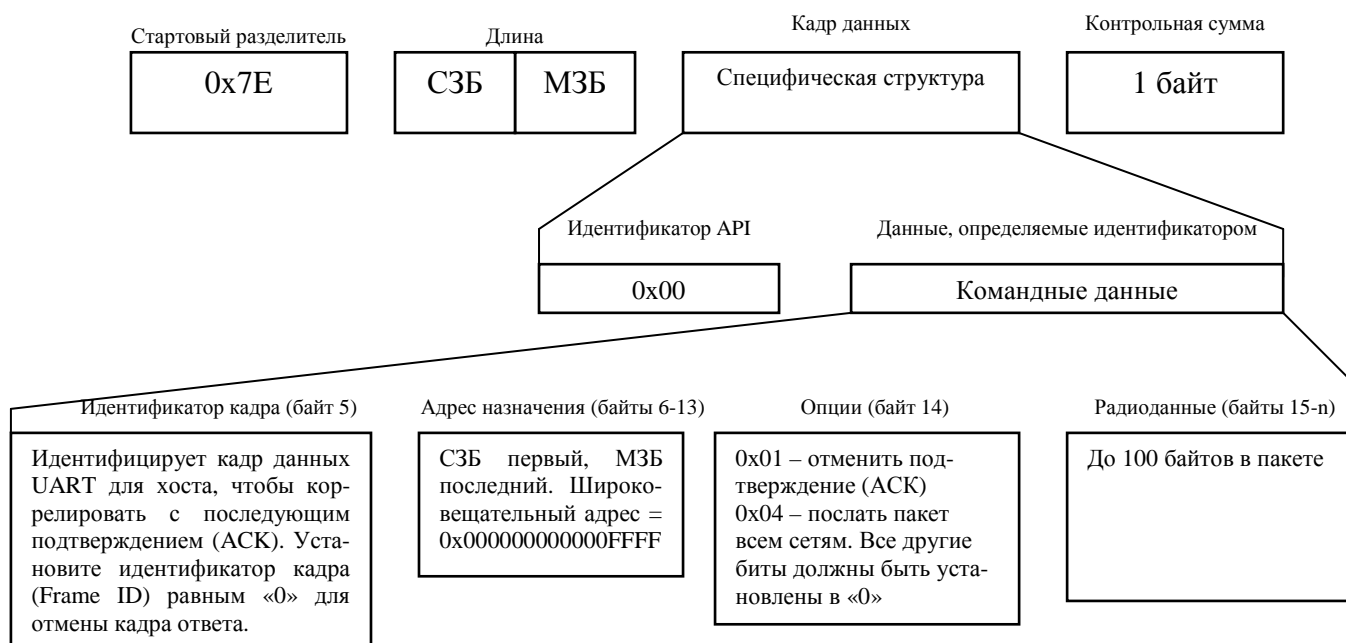


Рис. 3.8. Кадр TX-пакета (64-битный адрес)

### Запрос TX (передача): 16-битный адрес

Значение API идентификатора: 0x01

Сообщение запроса TX заставит модуль послать радиоданные как радиопакет.

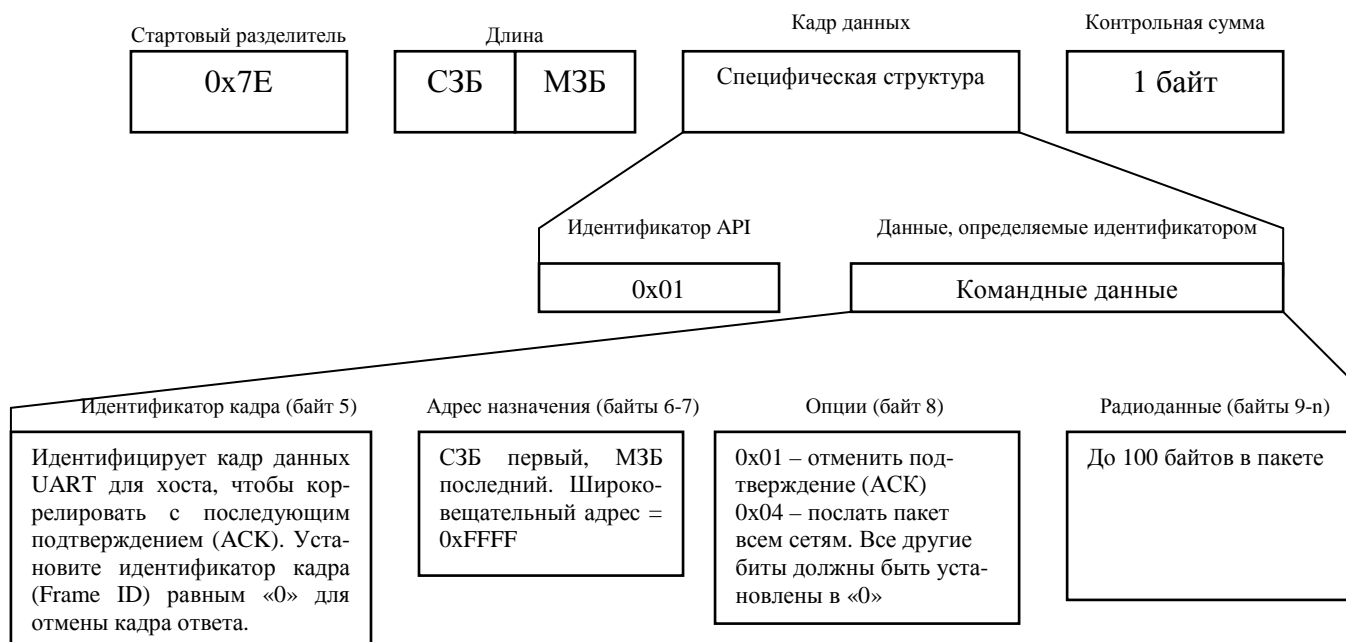


Рис. 3.9. Кадр TX-пакета (16-битный адрес)

### Статус TX (передачи)

Значение API идентификатора: 0x89

Когда закончен запрос TX, модуль посылает сообщение статуса TX. Это сообщение указывает, был ли пакет передан успешно или был отказ.

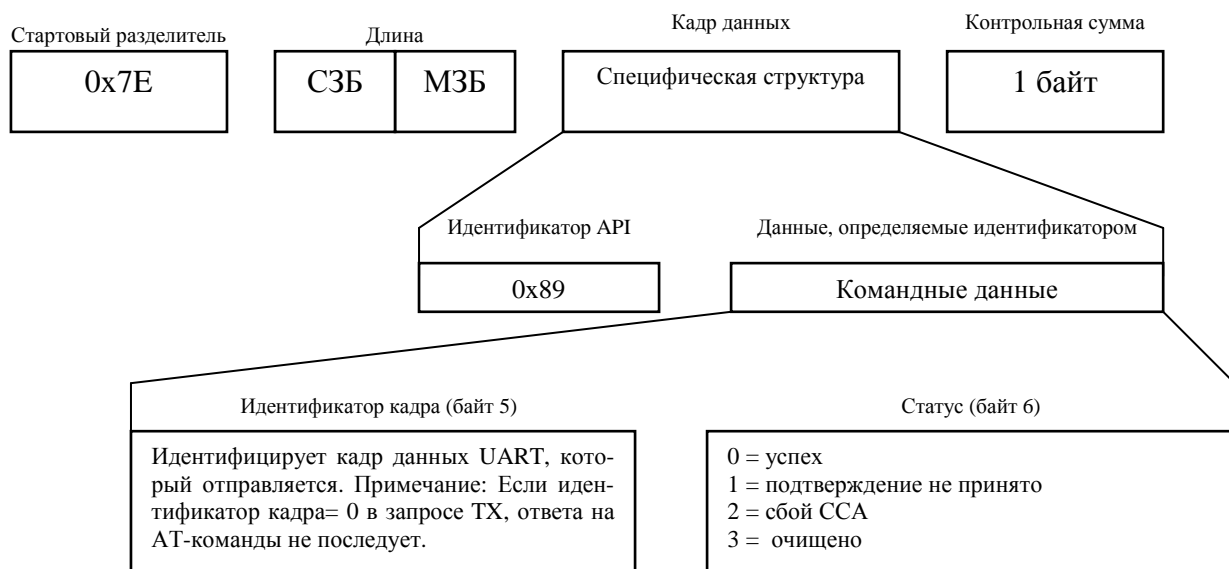


Рис. 3.10. Кадр TX-статуса

#### ПРИМЕЧАНИЯ:

- Статус = 1 в том случае, когда после всех повторений передачи не получено подтверждение (ACK).
- Если передатчик использует широковещательный адрес (0x000000000000FFFF), будет возвращен только Статус = 0 или 2.
- Статус = 3 в том случае, когда на координаторе заканчивается время косвенной передачи. Перерыв определен как (2.5 x SP (период циклического сна)).

#### Пакет RX (прием): 64-битный адрес

Значение API идентификатора: 0x80.

Когда модуль получает радиопакет, он отправляет его на UART, используя этот тип сообщений.

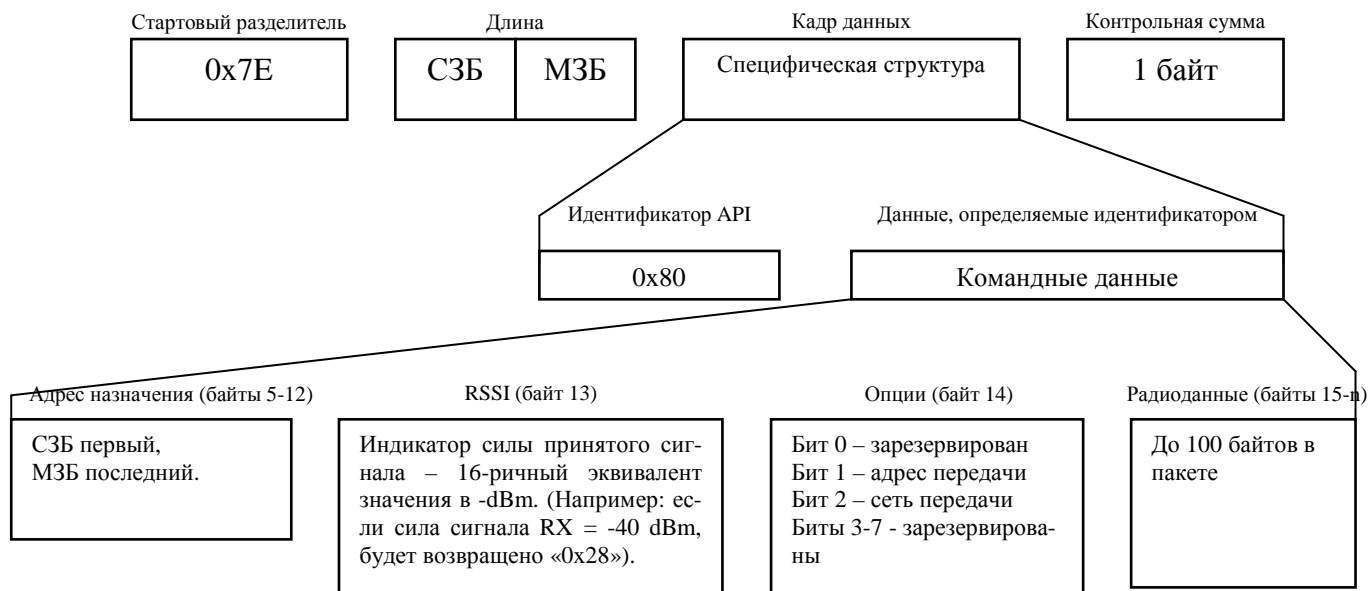


Рис. 3.11. Кадр RX-пакета (64-битный адрес)

### Пакет RX (прием): 16-битный адрес

Значение API идентификатора: 0x81.

Когда модуль получает радиопакет, он отправляет его на UART, используя этот тип сообщений.

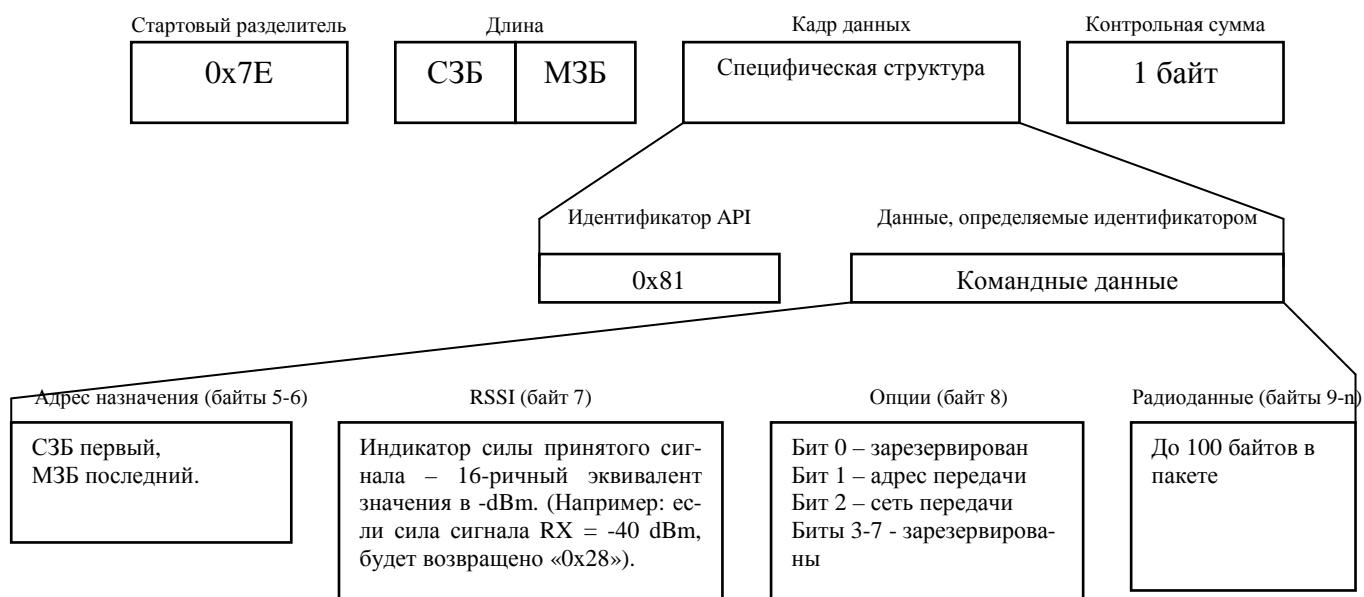


Рис. 3.12. Кадр RX-пакета (16-битный адрес)