



ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ПНСТ
921—
2024

Информационные технологии ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ

Сети связи интернета вещей.
Протокол низкоскоростного обмена данными
по спутниковым каналам связи

Часть 1

Обмен данными по абонентским линиям
низкоорбитальных систем

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным бюджетным учреждением «Ордена Трудового Красного Знамени Российский научно-исследовательский институт радио имени М.И. Кривошеева»

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 194 «Кибер-физические системы»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 июня 2024 г. № 27-пнст

4 В настоящем стандарте реализованы требования Положения о порядке создания, производства и эксплуатации (применения) ракетных и космических комплексов (РК-11-КТ)

Правила применения настоящего стандарта и проведения его мониторинга установлены в ГОСТ Р 1.16—2011 (разделы 5 и 6).

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии собирает сведения о практическом применении настоящего стандарта. Данные сведения, а также замечания и предложения по содержанию стандарта можно направить не позднее чем за 4 мес до истечения срока его действия разработчику настоящего стандарта по адресу: 105064 Москва, ул. Казакова, д. 16, email: info@niir.ru и/или в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии по адресу: 123112 Москва, Пресненская набережная, д. 10, стр. 2.

В случае отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты» и также будет размещена на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.rst.gov.ru)

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

II

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	2
3 Термины и определения	2
4 Сокращения и обозначения	3
5 Общие положения	4
5.1 Особенности применения низкоорбитальных многоспутниковых систем	4
5.2 Архитектура сети интернета вещей на основе многоспутниковой системы передачи данных	5
5.3 Абонентские средства потребителей	8
5.4 Полезная нагрузка космического аппарата	9
5.5 Региональная станция сопряжения	10
6 Физический уровень	11
6.1 Формат пакетов	11
6.2 Модуляция	13
6.3 Помехоустойчивое кодирование	13
7 Канальный уровень	13
7.1 Формат пакета данных канального уровня	13
7.2 Активация и адресация АСП	18
7.3 Выбор частоты передачи пакета	23
7.4 Повторная передача пакета	24
7.5 MAC-команды	24
8 Режимы работы абонентских средств потребителя	35
8.1 Прием и передача сообщений в АСП класса А	35
8.2 Прием и передача сообщений в АСП класса В	37
8.3 Прием и передача сообщений в АСП класса С	38
Приложение А (справочное) Эффект Доплера в низкоорбитальной спутниковой системе	41
Приложение Б (справочное) Энергетический бюджет абонентских радиолиний	45
Приложение В (справочное) Потенциальная емкость абонентского канала	48
Приложение Г (обязательное) Региональные параметры RU864-870	55
Библиография	59

Введение

Настоящий стандарт определяет типовое техническое решение организации низкоскоростной спутниковой сети передачи данных на основе многоспутниковой низкоорбитальной группировки для предоставления услуг интернета вещей (ИВ), аналогичных услугам в наземных сетях. Ключевой основой типового технического решения является условие бесшовной работы низкоскоростной спутниковой сети передачи данных и наземных энергоэффективных сетей дальнего радиуса действия (LPWAN), что подразумевает идентичность технических параметров абонентских средств потребителей (стационарных и мобильных) и использование полос радиочастот на совместной основе. Учитывая, что в сетях LPWAN массово используются абонентские средства потребителей (АСП), их нормативные технические параметры являются исходными для аналогов в спутниковой сети передачи данных с целевой функцией ИВ (спутниковой сети ИВ), если используется совместная полоса радиочастот.

Базовая конфигурация спутниковой сети ИВ имеет звездообразную топологию, на основе которой создаются сети ИВ (на национальном и региональном уровнях). Такая сеть ИВ может быть сопряжена с внешними сетями общего пользования или функционировать как выделенная сеть без сопряжения с сетями связи общего пользования.

Центральным элементом национальной или региональной спутниковой сети ИВ является наземная региональная станция сопряжения (РСС), которая поддерживает взаимодействие со всеми видимыми низкоорбитальными спутниками (космическими аппаратами, КА) и обслуживает АСП в рабочей зоне РСС (диаметром несколько тысяч км). Сетевой сервер, входящий в состав РСС, обеспечивает маршрутизацию пакетов данных каждого АСП на соответствующий сервер приложений и формирует сеть ИВ, работа которой поддерживается средствами РСС.

Размещение РСС и создание на ее основе национальных и региональных сетей ИВ предусматривается в любом регионе Земли, доступном для обслуживания многоспутниковой низкоорбитальной группировкой.

Расширение рабочей зоны региональной (национальной) сети ИВ возможно путем объединения нескольких РСС между собой (в том числе по наземным каналам на основе межоператорских соглашений и с учетом национальных правил маршрутизации трафика).

Взаимодействие между АСП и низкоорбитальными спутниками осуществляется по абонентским радиоприемам (КА→АСП/АСП→КА), которые имеют множество частотных каналов, обеспечивающих требуемую емкость и энергетику радиоприемов.

Низкоскоростная сеть спутниковой связи на основе многоспутниковой низкоорбитальной группировки для предоставления услуг ИВ имеет ряд специфических технических особенностей:

- объем трафика от АСП в направлении КА (АСП→КА) существенно превышает трафик в обратном направлении (КА→АСП);
 - проявляется выраженный эффект Доплера (статический и динамический) даже для стационарных АСП в процессе сеанса связи;
 - изменение энергетики радиоприемов между КА и АСП происходит очень быстро и может достигать десятка дБ за время сеанса связи;
 - задержка распространения пакетов существенно изменяется за время сеанса связи и зависит не только от физического расстояния радиоприема, но и от эквивалентной скорости абонентского канала;
 - частотный план абонентских линий полезной нагрузки (ПН) КА должен изменяться в зависимости от обслуживаемого региона Земли для соблюдения условия бесшовной работы сети ИВ и требований национальных администраций связи.
- Кроме того, налагается ряд технических ограничений на параметры АСП, которые аналогичны ограничениям в наземных сетях LPWAN с учетом рабочего диапазона частот и частот каналов, принятых национальными администрациями связи:
- значение эффективно излучаемой изотропной мощности (ЭИИМ);
 - рабочий цикл (DutyCycle).

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Информационные технологии

ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ

Сети связи интернета вещей.

Протокол низкоскоростного обмена данными по спутниковым каналам связи

Часть 1

Обмен данными по абонентским линиям низкоорбитальных систем

Information technology. Internet of things. IoT communication networks.
Protocol for low-speed data exchange over satellite communication channels.
Part 1. Data exchange via subscriber lines of low-orbit systems

Срок действия — с 2024—07—01
до 2027—07—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования к структуре, формату и правилам применения протокола низкоскоростного обмена данными по абонентским линиям спутниковых каналов связи. Протокол подходит для использования в сетях связи интернета вещей, развернутых на основе низкоорбитальной многоспутниковой группировки для предоставления услуг интернета вещей (ИВ).

Протокол предоставляет возможности для получения данных с конечных устройств интернета вещей (абонентских средств потребителя, АСП), управления их режимами работы и передачи данных.

Настоящий стандарт распространяется на сетевую инфраструктуру для предоставления услуг интернета вещей с прямым подключением АСП к сети спутниковой связи в части абонентских линий низкоорбитальных систем. Данный стандарт не распространяется на фидерные линии этих систем.

Целью настоящего стандарта является предоставление технических рекомендаций для скоординированной разработки архитектуры и физической среды сетевой инфраструктуры, обеспечивающей предоставление услуг ИВ на основе низкоорбитальной многоспутниковой системы передачи данных (МСПД), интегрированной с сетями LPWAN (или с сотовыми сетями), в том числе для предоставления бесшовных услуг ИВ с использованием унифицированных абонентских средств потребителей.

Областью применения, представленной в настоящем стандарте технологии связи, является обмен данными по абонентским линиям с бытовым и промышленным оборудованием (приборы, датчики, пломбы, исполнительные устройства и т. п.), имеющим следующие свойства:

- низкие требования к пропускной способности каналов связи;
- высокие требования к помехоустойчивости каналов связи;
- высокие требования к времени автономной работы;
- предназначены для хранения и/или передачи общедоступной информации и информации ограниченного доступа, не содержащей сведений, относимых к государственной тайне (конфиденциальной информации);
- не предназначены для хранения и/или передачи информации, содержащей сведения, составляющие государственную тайну.

В настоящем стандарте используются следующие форматы записей:

- MAC-команды записываются курсивом в формате *LinkCheckReq*;
- константы записываются прописными (заглавными) буквами в формате RECEIVE_DELAY1;
- переменные записываются курсивом в формате *N*.

В настоящем стандарте структура сообщений изложена с учетом:

- порядка следования байтов и битов для всех полей — «от старшего к младшему» (big-endian);
- бита RFU (Reserved For Future), обозначающего поле для будущего использования. По умолчанию данный бит должен быть установлен на ноль передатчиком сообщения и должен быть проигнорирован на приемной стороне.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1 Информационная технология. Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель. Часть 1. Базовая модель

ГОСТ Р 71168 Информационные технологии. Интернет вещей. Спецификация LoRaWAN RU

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по [1], а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 абонентская линия: Радиолиния между абонентским средством потребителя и полезной нагрузкой космического аппарата.

3.2 абонентское средство потребителя; АСП: Оконечное устройство сети, сопряженное с датчиками физических процессов и осуществляющее обмен сообщениями с сетевым сервером.

3.3 активация: Процедура присоединения АСП к сети.

3.4 активация «по воздуху»: Способ активации АСП в сети через запрос-ответ по специально назначенному радиоканалу; может использоваться только при условии связи АСП с региональной станцией сопряжения в режиме реального времени.

3.5 активация через персонализацию: Способ активации АСП в сети через предустановленные параметры контекста сеанса связи.

3.6 восходящий канал: Канал передачи пакетов (сообщений) от АСП к ПН КА.

3.7 контекст сеанса связи: Набор параметров сетевого сеанса и параметров сеанса приложения.

3.8 многоадресная рассылка: Режим передачи нисходящего сообщения нескольким АСП одновременно.

3.9 нисходящий канал: Канал передачи пакетов (сообщений) от ПН КА к АСП.

3.10 полезная нагрузка космического аппарата; ПН КА: Телекоммуникационное оборудование, размещенное на борту космического аппарата и обеспечивающее обмен данными с обработкой, маршрутизацией и регенерацией сигнала по абонентским и фидерным линиям.

3.11 рабочий цикл: Безразмерная величина, обратная скважности и равная отношению длительности передаваемого радиосообщения к периоду передачи. По умолчанию нормируется к одному часу.

3.12 региональная станция сопряжения; РСС: Узел национальной или региональной сети интернета вещей.

3.13 сеть: Региональная или национальная сеть интернета вещей, узлом которой является РСС.

3.14 **фидерная линия:** Радиолиния между полезной нагрузкой космического аппарата и наземной станцией, в данном случае РСС.

4 Сокращения и обозначения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения и обозначения:

- АМ — антенный модуль;
- АПК — аппаратно-программный комплекс;
- АФС — антенно-фидерная система;
- БМ — банк модемов;
- ВОЛС — волоконно-оптические линии связи;
- ГКРЧ — Государственная комиссия по радиочастотам;
- КА — космический аппарат (спутник);
- НКО — низкая круговая орбита;
- ПН — полезная нагрузка;
- ПНОД — протокол низкоскоростного обмена данными;
- СКК — сигнально-кодовая конструкция;
- ЭИИМ — эффективно излучаемая изотропная мощность;
- ABP — активация через персонализацию;
- ACK — подтверждение получения сообщения;
- CRC — циклическая контрольная сумма;
- D2D — прямой доступ (Direct-to-Device) к типовым абонентским средствам потребителей;
- DevAddr — короткий адрес АСП;
- DevEUI — идентификатор АСП;
- DevNonce — идентификатор запросов на присоединение АСП к сети;
- DutyCycle — рабочий цикл;
- FEC — параметр кода, означающий его избыточность для возможности исправления ошибок (Forward Error Correction);
- Join-Accept — подтверждение присоединения (переприсоединения) АСП к сети;
- JoinEUI — идентификатор сервера присоединения, отвечающего за присоединение АСП к сети;
- JoinNonce — идентификатор подтверждений присоединения (переприсоединения) АСП к сети;
- Join-Request — запрос на присоединение к сети;
- LLC — управление логической связью;
- LPWAN — энергоэффективная сеть дальнего радиуса действия (Low-power Wide-area Network);
- LSCP — протокол низкоскоростного обмена данными;
- NbTrans — установленное число передач пакета;
- NetID — сетевой адрес АСП;
- MAC — управление доступом АСП к радиоканалу;
- MIC — код целостности сообщения (message integrity code);
- ОТАА — способ активации АСП в сети через запрос-ответ по специально назначенному радиоканалу;
- Rejoin-Request — запрос на переприсоединение к сети;
- RFU — зарезервировано для будущих применений;
- SF — коэффициент расширения спектра сигнала;
- TDD — полудуплексный режим работы (time division duplex);
- «||» — знак конкатенации строк;
- «х...у» — последовательность бит, где «х» — старший бит, а «у» — младший бит.

5 Общие положения

5.1 Особенности применения низкоорбитальных многоспутниковых систем

Низкоорбитальные многоспутниковые системы передачи данных с целевой функцией интернета вещей должны обеспечивать прямой доступ¹⁾ к типовым абонентским средствам потребителей. Все АСП должны реализовывать базовую функциональность класса А, определенного в настоящем стандарте.

Для создания глобально-распределенных бесшовных сетей ИВ должна обеспечиваться интеграция МСПД на региональных (национальных) уровнях с наземными сетями LPWAN на основе использования соответствующих диапазонов частот [2], видов модуляции и протоколов, приемлемых для спутниковых каналов связи (см. рисунок 1).

Приложение АСП					Приложение
Канальный уровень					MAC
Классы АСП					Опции MAC
Физический уровень					Модуляция
Линейно-частотная модуляция					
RU 864	EU 868	EU 433	US 915	...	Региональные параметры

Рисунок 1 — Частотные диапазоны для создания бесшовных сетей

5.1.1 Основы построения низкоорбитальных многоспутниковых систем

При построении низкоорбитальной МСПД создается орбитальная группировка из космических аппаратов на круговых орбитах с высотой относительно поверхности Земли от 100 до 2000 км. Для систем спутниковой связи и передачи данных рекомендуемые высоты НКО лежат в диапазоне от 300 до 1500 км.

Период обращения космического аппарата вокруг Земли составляет от 90 мин (при высоте орбиты 300 км) до 115 мин (при высоте орбиты 1500 км), скорость его движения вдоль орбиты — от 7,7 до 7,1 км/с соответственно.

Скорость движения КА относительно АСП изменяется от 0 км/с до максимальной скорости движения спутника вдоль орбиты, что приводит к возникновению эффекта Доплера (статического и динамического), выражающегося в непрерывном изменении центральной частоты сигнала в радиолинии и скорости ее изменения (Гц/с) пропорционально изменению наклонной дальности от КА до АСП (см. приложение А). Это вызывает необходимость применять устойчивые к эффекту Доплера сигнально-кодовые конструкции в абонентских линиях между АСП и КА.

Минимальная наклонная дальность равна высоте орбиты (АСП видит КА в зените), а максимальная наклонная дальность определяется принятым минимальным рабочим углом места видимости КА относительно местного горизонта. За время сеанса связи потери в радиолинии изменяются пропорционально квадрату отношения максимальной наклонной дальности к высоте орбиты спутника. Для рекомендуемых высот орбит и минимального рабочего угла места, равного 25°, изменения потерь в радиолинии за счет изменения наклонной дальности составляют от 5 дБ (орбита 1500 км) до 6,7 дБ (орбита 300 км).

Минимальное число КА в составе орбитальной группировки при условии непрерывности глобального обслуживания зависит от высоты и наклонения орбиты КА, а также от принятого минимального рабочего угла места.

Каждый космический аппарат в составе орбитальной группировки должен обеспечить трехосную ориентацию и удержание в заданной точке орбитальной плоскости с целью обеспечения устойчивости ее заданной архитектуры в пределах срока активного существования КА (не менее пяти лет).

Архитектура орбитальной группировки может быть одноэшелонной (все плоскости орбит имеют одинаковое наклонение и высоту) или многоэшелонной (разные наклонения плоскостей орбит и высоты

¹⁾ В зарубежных нормативных документах и публикациях обозначается как Direct-to-Device (D2D).

при необходимости). Выбор архитектуры орбитальной группировки определяется заданным условием непрерывности обслуживания рабочей зоны на Земле и минимизацией затрат на пусковые услуги КА.

5.1.2 Рабочая зона обслуживания КА

Размер рабочей зоны обслуживания на поверхности Земли определяется принятым минимальным рабочим углом места АСП и высотой орбиты. Для рекомендуемых высот орбит угловой сектор обслуживания каждого КА составляет от 120° (высота 300 км, угол места 25°) до $94,4^\circ$ (высота орбиты 1500 км, угол места 25°), что обеспечивает рабочую зону на поверхности Земли с максимальным диаметром 1127 км и 3962 км соответственно. Рабочая зона на поверхности Земли для АСП обычно состоит из локальных рабочих зон, формируемых антенной системой полезной нагрузки КА.

Баллистическое построение орбитальной группировки определяется выбором наклона (i) круговых орбитальных плоскостей (экваториальные $i \approx 0^\circ \dots 15^\circ$, наклонные $i \approx 15^\circ \dots 85^\circ$, приполярные $i \approx 85^\circ \dots 90^\circ$, солнечно-синхронные $i \approx 97^\circ \dots 100^\circ$) исходя из заданной приоритетной зоны обслуживания АСП на поверхности Земли.

Переход обслуживания АСП от одного КА к другому эквивалентен организации роуминга в сетях LPWAN. Для успешного процесса его реализации рекомендуется иметь запас бюджета по энергетике сигнала в абонентских линиях более 6 дБ относительно принятого порогового уровня отношения сигнал/шум (см. приложение Б).

Переход обслуживания между КА и РСС должен осуществляться без ограничений на географическое расположение РСС с учетом обеспечения пространственной и частотной развязки КА, работающих с РСС в период сеанса связи с целью минимизации внутрисистемных помех.

5.2 Архитектура сети интернета вещей на основе многоспутниковой системы передачи данных

5.2.1 Общая архитектура

Архитектура сети интернета вещей определяет организацию глобально-распределенной МСПД (см. рисунок 2), в которой обеспечивается бесшовное предоставление услуги ИВ на основе ее интеграции с наземными сетями LPWAN.

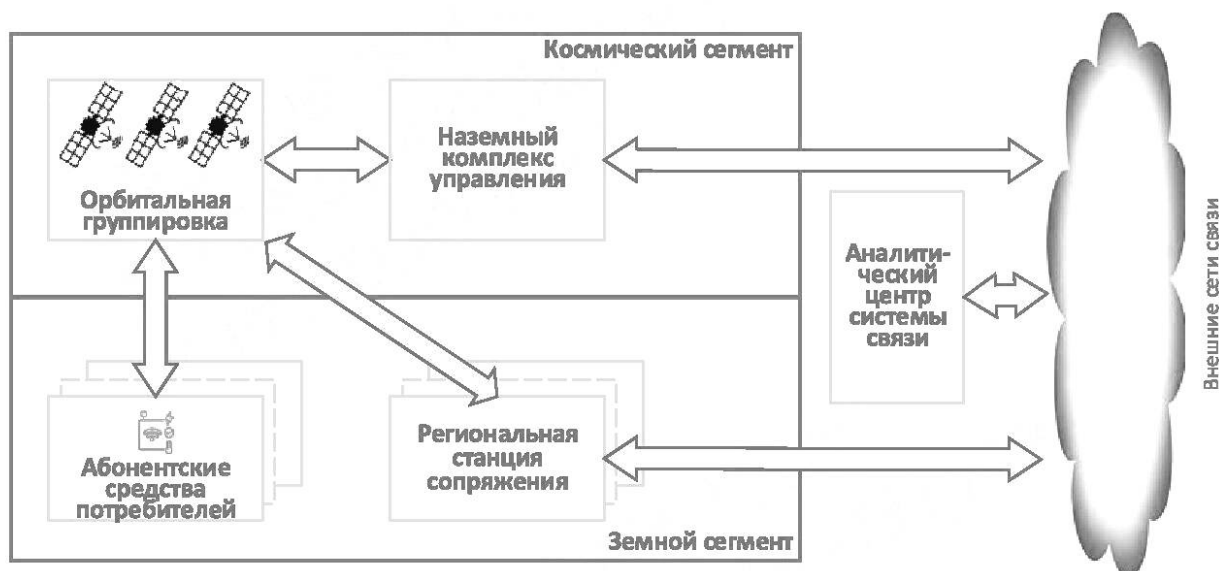


Рисунок 2 — Глобально-распределенная МСПД

Глобально-распределенная МСПД предусматривает возможность создания региональных и национальных сетей, обеспечивающих предоставление услуг ИВ (см. рисунок 3). Сопряжение между региональной (национальной) сетью ИВ и МСПД обеспечивает региональная станция сопряжения.

Архитектура региональной (национальной) сети ИВ имеет звездообразную топологию, в которой узлом сети является РСС. Работу АСП, зарегистрированных в региональной (национальной) сети, должна контролировать и поддерживать РСС. Зарегистрированные в региональной (национальной) сети АСП должны иметь возможность одновременной работы в наземной сети LPWAN.

Параметры АСП (частотный план каналов, ЭИИМ канала, цикличность работы) региональной (национальной) сети должны соответствовать параметрам, согласованным с региональной (национальной) администрацией связи. При необходимости региональные сети должны предусматривать возможность их объединения по выделенным наземным каналам связи на основе межоператорских соглашений и национальных правил маршрутизации трафика. При объединении региональных сетей по наземным каналам допускается использование общего сетевого сервера и сервера присоединения на условиях межоператорского соглашения и выполнения национальных правил маршрутизации трафика.

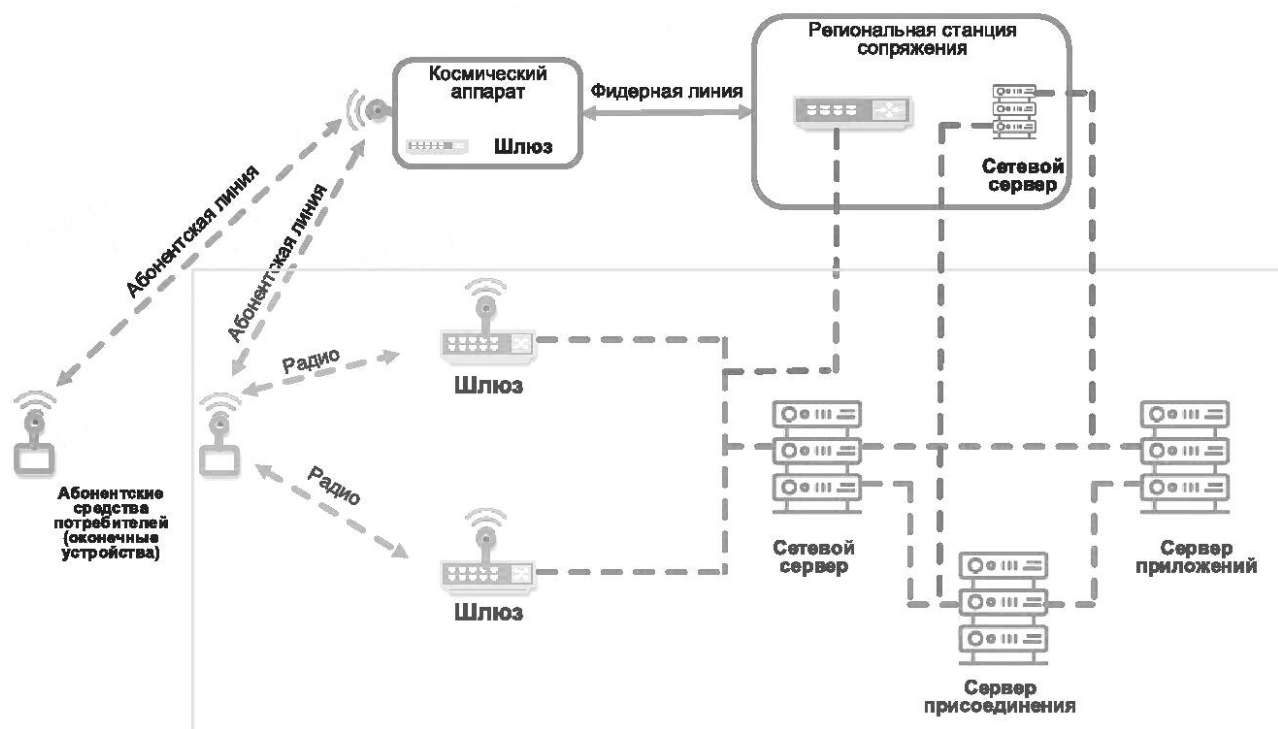


Рисунок 3 — Архитектура региональной (национальной) сети интернета вещей

Региональные сети должны иметь возможность сопряжения по наземным или спутниковым каналам связи с центром системы связи МСПД (см. рисунок 2) для удаленной их поддержки со стороны оператора МСПД в процессе создания и эксплуатации на основе полномочий и условий, определенных в соглашении между оператором региональной (национальной) сети и оператором МСПД.

АСП передают пакеты данных по радиоканалу в соответствии с настоящим стандартом. Получателями пакетов являются ПН КА и базовые станции наземных сетей LPWAN, находящиеся в зоне радиовидимости АСП.

Архитектура сети удовлетворяет требованиям международных стандартов, описывающих архитектуру глобальных беспроводных сетей LPWAN с линейной частотной модуляцией (см., например, [3]).

Сеть ИВ предусматривает три уровня сетевого взаимодействия:

- физический уровень;
- канальный уровень;
- уровень приложений.

В соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1 на остальных уровнях эталонной модели взаимодействия открытых систем преобразование передаваемых данных осуществляется в соответствии с протоколами обмена данными на них и на архитектуру сетей ИВ не влияет.

5.2.2 Функции физического уровня

Физический уровень протокола определяет прием и передачу пакетов канального уровня по абонентской линии, в том числе и формат пакетов. Передача пакетов является двунаправленной в режиме временного разделения приема и передачи (TDD). Передатчик и приемник физического уровня реализуются на АСП и ПН КА (аналог базовой станции наземной сети LPWAN).

Функции АСП при передаче сообщений по абонентской линии:

- формирование пакетов;

- помехоустойчивое кодирование данных канального уровня;
- модуляция радиосигнала.

Функции АСП при приеме сообщений по абонентской линии:

- прием радиосигнала;
- демодуляция радиосигнала;
- помехоустойчивое декодирование данных канального уровня;
- выполнение MAC-команд (при их получении).

Функции ПН КА при приеме сообщений по абонентской линии:

- демодуляция радиосигнала;
- обнаружение пакетов, передаваемых АСП;
- помехоустойчивое декодирование принятых пакетов;
- пересылка успешно принятых пакетов на сетевой сервер по фидерной линии в едином цифровом потоке.

Функции ПН КА при передаче сообщений по абонентской линии:

- прием информации от РСС по фидерной линии;
- формирование пакетов данных канального уровня, передаваемых на АСП;
- помехоустойчивое кодирование сформированных пакетов;
- модуляция радиосигнала;
- передача сообщения в заданном луче и канале абонентской линии.

5.2.3 Функции канального уровня

Канальный уровень определяет управление доступом АСП к радиоканалу (Media Access Control, MAC) и управление логической связью (Logical Link Control, LLC) между АСП и сетевым сервером.

На канальном уровне стандарт устанавливает:

- формат пакетов (кадров) канального уровня;
- схему адресации АСП;
- механизм множественного доступа АСП к радиоканалу;
- механизм повторных передач пакетов;
- процедуру активации АСП на сетевом сервере.

Канальный уровень протокола реализуется на АСП и сетевом сервере.

5.2.4 Функции абонентского средства потребителя на канальном уровне

Функции АСП:

- формирование и отправка пакетов активации;
- формирование и отправка пакетов данных.

5.2.5 Функции сетевого сервера

Сетевой сервер должен управлять всеми АСП, зарегистрированными в зоне обслуживания РСС, и выполнять следующие основные функции:

- проверка адреса АСП;
- формирование ответов на запросы от АСП;
- квитирование приема пакетов от АСП (при необходимости);
- перенаправление потоков пакетов в зависимости от приложения (сервиса);
- регулировка очередей пакетов, поступающих от серверов приложений в направлении АСП;
- передача на сервер присоединения пакетов с запросом на присоединение АСП;
- назначение класса АСП;
- установка уровня ЭИИМ АСП;
- назначение частотных каналов для АСП (в зависимости от обслуживаемого региона);
- назначение полосы частот канала для АСП;
- назначение коэффициента расширения спектра сигнала (SF) для АСП;
- установка ограничения объема пакета АСП;
- назначение цикличности передачи пакетов АСП.

Сетевой сервер должен обеспечивать контроль подлинности каждого АСП, его соответствие сетевому адресу (NetID) и целостность каждого пакета, поступающего от АСП.

Сетевой сервер должен устанавливать безопасное соединение для передачи пакетов как в направлении к АСП, так и в направлении от АСП.

Сетевой сервер должен выполнять проверку соответствия параметров АСП региональным (национальным) параметрам в части ЭИИМ, частоты канала и рабочего цикла.

Сетевой сервер должен идентифицировать все пакеты, поступающие от АСП, по отношению к КА из всей группы КА, с которыми РСС работает в период сеанса связи.

В момент перехода обслуживания АСП с одного КА на другой могут наблюдаться сбои при передаче пакета от АСП или квитировании пакета. Сетевой сервер должен фиксировать эти моменты времени и запрашивать повторную передачу пакета (при необходимости).

5.2.6 Функции уровня приложений

Сервер приложений отвечает за хранение и обработку прикладных данных, полученных от АСП. Описание уровня приложений выходит за рамки настоящего стандарта.

5.2.7 Каналы связи

Абонентская линия формируется между АСП и ПН КА с обеспечением двунаправленной передачи данных между ними. В абонентской линии обеспечивается работа нескольких каналов связи в соответствии с региональными (национальными) параметрами. Характеристики абонентской линии определяются требованиями настоящего стандарта.

Фидерная линия формируется между ПН КА и РСС с обеспечением двунаправленного обмена данными для доставки данных на сетевой сервер и получения команд управления АСП. Описание параметров фидерной линии выходит за рамки настоящего стандарта.

Канал связи «сетевой сервер — сервер приложений» обеспечивает двусторонний обмен данными между сетевым сервером и сервером приложений. Описание параметров данного канала выходит за рамки настоящего стандарта.

5.3 Абонентские средства потребителей

Типовая архитектура АСП приведена на рисунке 4.

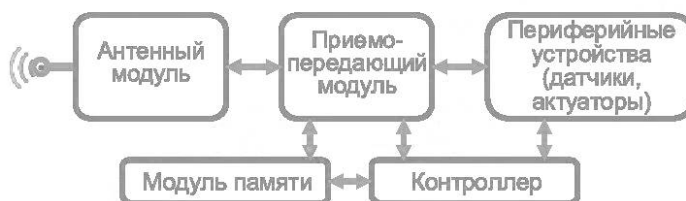


Рисунок 4 — Типовая архитектура АСП

Запас энергии в абонентских линиях должен обеспечивать возможность работы АСП по своему целевому назначению в пределах временного интервала сеанса связи. Рекомендуемый запас энергии в абонентских линиях должен быть не менее 6 дБ относительно принятого порогового уровня отношения сигнал/шум (см. приложение Б).

Для соблюдения условий радиочастотной совместимости АСП с радиоэлектронными средствами иных систем рекомендуется принять минимальный рабочий угол места более 25°.

В качестве антенны рекомендуется использовать антенные излучатели с круговой поляризацией, диаграмма направленности которых ориентирована во внешнюю полусферу, а коэффициент усиления не превышает 3 дБи. Не исключается применение и антенных излучателей с линейной поляризацией при обеспечении достаточного уровня энергии в абонентских линиях.

Рекомендуемое максимальное значение ЭИИМ АСП составляет 16,1 дБм в канале 125 кГц, если иное не оговорено в нормативно-технических требованиях национальной администрации связи.

Мощность передатчика АСП и его рабочий цикл регулируются подачей управляющих сигналов от сетевого сервера.

В зависимости от реализации режима (механизма) приема данных АСП разделяются на классы.

5.3.1 Абонентские средства потребителя класса А

АСП с короткими регламентированными окнами приема данных (класс А) предназначены для обеспечения двунаправленной связи, в которой за каждой передачей сообщения АСП в восходящий канал следуют два коротких окна приема для нисходящего канала. Передача пакета каждого АСП происходит случайно (протокол типа АLOHA). Класс А обеспечивает экономичный расход энергии и подходит в случаях, когда приемлема связь по нисходящему каналу только после передачи по восходящему каналу. Сетевой сервер для передачи сообщения по нисходящему каналу должен дожидаться следующего сообщения от АСП по восходящему.

Любое АСП должно поддерживать совместимость с классом А.

5.3.2 Абонентские средства потребителя класса В

АСП с дополнительными окнами приема данных (класс В) предназначены для обеспечения двунаправленной связи, в которой дополнительно к окнам приема АСП класса А могут быть запланированы окна приема для нисходящего канала в установленное время. Чтобы АСП открывало свои окна приема в установленное время, оно получает синхронизированный по времени сигнал (маяк) от ПН КА. Это позволяет сети знать и планировать время, когда АСП готово принимать данные от сетевого сервера, транслируемые по абонентским линиям через ПН КА.

5.3.3 Абонентские средства потребителя класса С

АСП с максимальными окнами приема (класс С) предназначены для обеспечения двунаправленной связи, в которой большую часть времени открыто одно из окон приема (за исключением времени передачи сообщения по восходящему каналу). АСП класса С будет расходовать больше энергии по сравнению с АСП класса А, но при этом иметь минимальную задержку передачи сообщения от сетевого сервера к АСП.

5.4 Полезная нагрузка космического аппарата

Полезная нагрузка КА обеспечивает формирование рабочей зоны на поверхности Земли, в которой размещаются АСП сети ИВ, обслуживаемые РСС.

Типовая архитектура ПН КА приведена на рисунке 5 и представляет собой ретрансляционный комплекс с обработкой, маршрутизацией и регенерацией сигналов.

К особенностям функционирования ПН КА относятся:

- гибкое изменение частотного плана работы абонентских линий в зависимости от обслуживаемой рабочей зоны, в том числе по MAC-командам от наземного комплекса управления;
- возможность изменения частотного плана абонентских линий при изменении радиочастотной обстановки (наличии мешающих помех) или официальных претензий со стороны операторов иных систем о фиксировании мешающих помех;
- способность ведения отложенной передачи. Наличие модуля памяти обеспечивает запоминание информации, поступающей от АСП, и ее передачу на заданную РСС по фидерной линии при нахождении этой РСС в рабочей зоне КА;
- применение оперативной памяти для парирования возможных небольших интервалов времени отсутствия связи с АСП в процессе движения КА при изменении номера луча антенной системы абонентской линии, обслуживающего данное АСП;
- необходимость регулирования ЭИИМ по MAC-командам наземного комплекса управления;
- антенно-фидерная система фидерной линии ПН должна иметь диаграмму направленности, обеспечивающую рабочую зону на поверхности Земли с учетом минимально заданного рабочего угла места антенных модулей РСС.



Рисунок 5 — Типовая архитектура полезной нагрузки космического аппарата

Для функционирования ПН КА при обработке пакетов должна быть предоставлена метка времени от системы ГЛОНАСС, поступающая от служебной аппаратуры космической платформы КА.

Дополнительным элементом к типовой архитектуре ПН КА может быть модуль межспутниковой связи с иными спутниковыми системами, как правило, размещенными на более высоких орбитах, обеспечивающий непрерывность управления орбитальной группировкой, а при ее неполном составе — и для ретрансляции информации, поступающей от АСП.

Целевая полезная нагрузка космического аппарата должна быть выполнена с обработкой сигналов на борту, возможностью их регенерации и объединения в единый поток для передачи по фидерной линии и гибкой адаптации частотного плана в зависимости от обслуживаемого региона Земли.

Антенная система полезной нагрузки космического аппарата с целевой функцией ИВ должна формировать группу приемо-передающих лучей в угловом секторе обслуживания, смежные лучи которой пересекаются между собой по уровню выше минус 6 дБ (относительно максимума диаграммы направленности).

5.5 Региональная станция сопряжения

Региональная станция сопряжения является составной частью МСПД, обеспечивающей взаимодействие с ее низкоорбитальной группировкой по фидерным радиолиниям в направлении КА→РСС и РСС→КА и является узлом спутниковой компоненты региональной (национальной) сети ИВ (см. рисунок 2).

РСС должна одновременно взаимодействовать со всеми КА из состава орбитальной группировки системы, которые наблюдаются из географической точки ее расположения при условии, что время сеанса связи составляет не менее 60 с.

Типовая структура РСС приведена на рисунке 6.

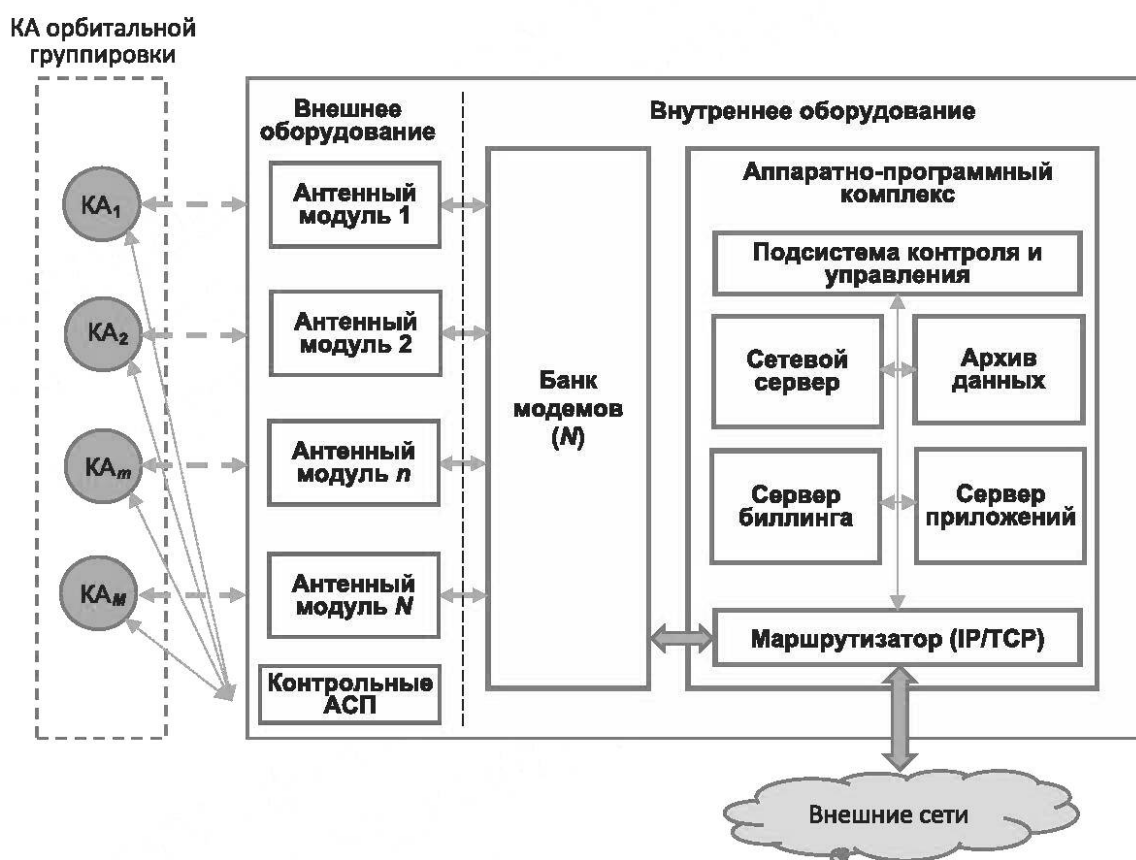


Рисунок 6 — Типовая структура региональной станции сопряжения

Внешнее оборудование РСС представляет собой совокупность полноповоротных АМ, конструктивно объединенных в антенный пост, который должен обеспечивать незатененную работу каждого АМ. Минимальный рабочий угол места составляет 7°.

Примечание — Допускается выполнение АМ на основе активной фазированной решетки (в том числе многолучевой), при этом минимальный рабочий угол должен быть увеличен.

Сопряжение АМ с внутренним оборудованием РСС осуществляется по радиочастотным кабелям на промежуточной частоте L-диапазона при расположении внутреннего оборудования на удалении не более 70 м или с использованием ВОЛС (с оптическими преобразователями) при большем удалении.

Питание и управление АМ (в том числе наведение и сопровождение КА) осуществляется от внутреннего оборудования РСС. Питание АМ также может осуществляться по отдельному кабелю.

Внешнее оборудование должно обеспечивать работоспособность РСС в условиях окружающей среды, соответствующей климатической зоне ее географического расположения.

Внутреннее оборудование РСС включает в свой состав БМ и АПК.

БМ должен содержать *N* модемов, обеспечивающих работу *N* фидерных радиолиний с КА и мультиплексор, обеспечивающий формирование единого цифрового потока для двухстороннего обмена данными с АПК.

В составе РСС необходимо иметь контрольные АСП для выполнения периодической проверки корректности ее функционирования. Технические параметры контрольных АСП должны быть сертифицированы оператором МСПД.

В общем случае в состав АПК РСС входят: сетевой сервер; сервер присоединения; сервер приложений; сервер биллинга; подсистема контроля и управления РСС.

Примечание — При необходимости состав РСС может уточняться по требованию оператора национальной или региональной сети интернета вещей с учетом нормативно-правовых положений страны, в которой размещается РСС.

При организации бесшовной региональной (национальной) сети ИВ за счет интеграции МСПД с наземной сетью LPWAN состав АПК РСС должен быть адаптирован к условиям взаимодействия с ядром наземной сети (с соответствующим изменением аппаратно-программного состава РСС).

6 Физический уровень

В соответствии с типовой структурой OSI (см. ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1) к физическому уровню относится радиоинтерфейс абонентских линий.

Радиоинтерфейс определяет СКК, применяемую для передачи пакетов по абонентским линиям от АСП (восходящие сообщения) и от ПН КА (нисходящие сообщения) на основе протокола множественного доступа.

Протокол множественного доступа обеспечивает организацию адресации и управление маршрутизацией пакетов по радиоканалам в информационной среде [media access control (MAC) или подуровень MAC].

Совместно физический уровень (радиоинтерфейс) и подуровень MAC в данном случае определяют эквивалентные скорости на абонентских линиях, время доставки пакетов по ним, емкость отдельного абонентского канала (см. приложение В), емкость ПН КА и МСПД в целом.

При реализации настоящего протокола рассматривается СКК, основанная на модифицированной линейной частотной модуляции, а в качестве протокола множественного доступа используется модифицированный протокол ALOHA.

Типовые соотношения по оценке параметров радиоинтерфейса (физического уровня) абонентских линий приведены в приложении Б для рекомендуемой полосы канала 125 кГц применительно к диапазону 863—870 МГц (частотные планы RU864, EU868, IN865).

Примечание — Типичным (но не обязательным) решением организации передачи и приема пакетов в абонентских линиях является полудуплексный режим работы (time division duplex, TDD).

6.1 Формат пакетов

Обмен информацией в спутниковой сети ИВ на абонентских линиях осуществляется пакетами, сформированными согласно [3]. Правила формирования пакетов физического уровня представлены в

версиях протокола LoRaWAN 1.02 и 1.1, которые гармонизированы между собой и с настоящим стандартом.

На физическом уровне для передачи данных предусмотрено два типа пакетов: пакет с явным заголовком (explicit header modes) и пакет с неявным заголовком (implicit header modes). Формат пакетов физического уровня с явным заголовком, передаваемых АСП (восходящие радиосообщения), представлен на рисунке 7.

F байт			12...M байт	2 байта
Пр	ФЗ	КС	Данные (Полезная нагрузка физического уровня) (PHYPayload)	Циклическая контрольная сумма (CRC)

Пр — преамбула (preamble); ФЗ — физический заголовок (PHDR);
КС — контрольная сумма физического заголовка (PHDR_CRC)

Рисунок 7 — Формат пакетов, передаваемых АСП, на физическом уровне

Пакет физического уровня с явным заголовком состоит из поля «Преамбула» (Preamble), поля «Физический заголовок» (PHDR), поля «Контрольная сумма физического заголовка» (PHDR_CRC), поля «Данные» (PHYPayload) и поля «Циклическая контрольная сумма» (CRC), которое применяется только в восходящих радиосообщениях.

Поле «Преамбула» (Preamble) по умолчанию имеет длину 8 символов линейной частотной модуляции и предназначено для синхронизации приемного устройства ПН КА перед демодулированием радиосообщения. Длина каждого символа определяется коэффициентом расширения спектра сигнала SF (т.е. эквивалентной скоростью передачи данных). При передаче пакета автоматически добавляется к полю «Преамбула» (Preamble) дополнительное количество символов, зависящее от коэффициента расширения спектра сигнала SF. Для значений SF больше либо равных 7 добавляется 4,25 символа, для значений SF, равных 5 или 6, — 6,25 символа.

Примечание — Длина поля «Преамбула» (Preamble) может принимать другие значения, определяемые региональными параметрами.

В поле «Физический заголовок» (PHDR) передаются: длина поля «Данные» (PHYPayload) в байтах, масштаб кода исправления ошибок, признак наличия или отсутствия поля «Циклическая контрольная сумма» (CRC).

Примечание — Помехоустойчивое кодирование для поля «Физический заголовок» (PHDR) и поля «Контрольная сумма физического заголовка» (PHDR_CRC) установлено по умолчанию с FEC = 1/2, а для поля «Данные» (PHYPayload) — обычно FEC = 4/5 (но не обязательно, можно установить 4/6, 4/7 или 4/8).

В поле «Контрольная сумма физического заголовка» (PHDR_CRC) передается ее вычисленное значение.

Поле «Циклическая контрольная сумма» (CRC) имеет длину 2 байта и предназначено для контроля целостности поля «Данные» (PHYPayload).

Поле «Данные» (PHYPayload) содержит в себе сформированный пакет канального уровня, закодированный помехоустойчивым кодом. Длина этого поля изменяется от 12 до M байт в зависимости от объема полезной нагрузки канального уровня.

В пакете с неявным заголовком отсутствуют поле «Физический заголовок» (PHDR) и поле «Контрольная сумма физического заголовка» (PHDR_CRC). Неявный заголовок применяется в случае, если для сетевого сервера и АСП заранее известен и фиксирован объем поля «Данные» (PHYPayload). При использовании коэффициента расширения спектра сигнала, равного 5 или 6, на физическом уровне должны применяться пакеты с неявным заголовком.

Режим передачи пакетов с неявным заголовком позволяет повысить емкость спутниковой сети ИВ с сохранением заданных параметров качества обслуживания (в частности уровня коллизий пакетов).

Для регистрации АСП в сети ИВ на сервере присоединения они должны пройти процесс присоединения к сети. При реализации различных процессов (исходного присоединения АСП к сети ИВ, подтверждения присоединения или запроса на переприсоединение) объем поля «Данные» (PHYPayload) будет изменяться. Численные значения приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 — Объем поля «Данные» (PHYPayload) при реализации присоединения

Процесс	Объем поля «Данные» (PHYPayload), байт
Запрос на присоединение к сети (Join-Request)	23
Подтверждение присоединения к сети* (Join-Accept)	17 + (0...16)
Запрос на переприсоединение к сети** (Rejoin-Request)	19 или 24
* Опциональное расширение от 0 до 16 байт для передачи списка частот доступных каналов. ** Зависит от типа переприсоединения (замена батарейки, переход АСП между КА и между РСС).	

6.2 Модуляция

Для передачи сформированного пакета физического уровня по радиоканалу используется модифицированная линейная частотная модуляция сигнала. Этот тип модуляции обладает устойчивостью к эффекту Доплера (статического и динамического).

Допускается изменение центральной частоты спектра сигнала за счет статического эффекта Доплера до 25 % от полосы частот канала без ухудшения энергетического бюджета абонентских линий.

Динамический эффект Доплера (Гц/с) не должен превышать допустимого дрейфа частоты (df) за время передачи пакета ($T_{\text{оА}}$).

П р и м е ч а н и е — При оценке статического эффекта Доплера следует учитывать перемещение АСП относительно КА и возможные температурные уходы задающего генератора.

6.3 Помехоустойчивое кодирование

На физическом уровне осуществляется помехоустойчивое кодирование пакетов. Его использование позволяет ПН КА исправлять часть ошибок в принимаемых пакетах физического уровня.

Помехоустойчивое кодирование осуществляется для всего пакета канального уровня, обычно с параметром кода FEC, равным 4/5 (но не обязательно, могут быть установлены и другие значения: 4/6, 4/7 или 4/8).

7 Канальный уровень

7.1 Формат пакета данных канального уровня

Все восходящие и нисходящие сообщения в поле «Данные» (PHYPayload) несут полезную нагрузку физического уровня, начиная с однобайтного поля «MAC-заголовок» (MHDR), за которым следует поле «MAC-сообщение» (MACPayload) и заканчивая 4-байтным полем «Код целостности сообщения» (MIC). Формат пакета канального уровня восходящего сообщения, передаваемого АСП, представлен на рисунке 8.

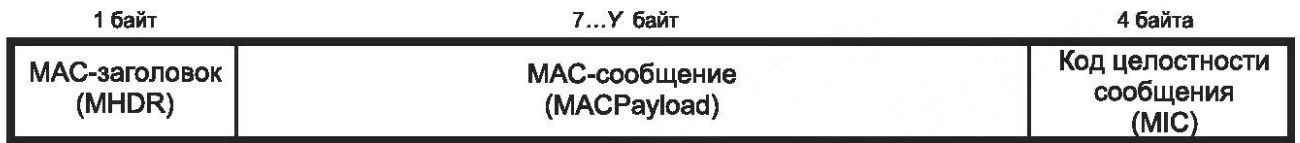


Рисунок 8 — Структура пакета канального уровня восходящего сообщения

Поле «MAC-заголовок» (MHDR) предназначено для указания типа сообщения (FType) и основной версии формата данных (Major). Его длина составляет 1 байт.

Поле «MAC-сообщение» (MACPayload) предназначено для адресации АСП и передачи данных по его целевому назначению. Минимальная длина этого поля составляет 7 байт.

Максимальная длина поля «MAC-сообщение» (MACPayload), обозначенная буквой «Y», зависит от физического уровня и региона регулирования. Данные для конкретного региона (Российской Федерации) приведены в приложении Г.

Ни АСП, ни сетевой сервер не должны отправлять пакет, содержащий поле «МАСсообщение» (MACPayload), превышающее указанную максимальную длину Y . Любой пакет, полученный АСП или сетевым сервером, содержащий поле «МАСсообщение» (MACPayload) с превышением указанной максимальной длины Y , должен быть отброшен без уведомления.

При необходимости отправки пакета объемом больше, чем установлено (250 байт), он должен быть предварительно разделен на пакеты допустимого объема.

Поле «Код целостности сообщения» (MIC) предназначено для передачи значения кода целостности сообщения. Его длина составляет 4 байта.

7.1.1 Поле «МАСзаголовок» (MHDR)

Структура поля «МАС-заголовок» (MHDR) приведена на рисунке 9.

Номера битов	7...5	4...2	1...0
МАС-заголовок (MHDR)	Тип сообщения (FType)	RFU	Основная версия формата данных (Major)

Рисунок 9 — Структура поля «МАС-заголовок»

7.1.2 Поле «Тип сообщения» (FType)

В протоколе применяется восемь различных типов сообщений (см. таблицу 2): запросы на присоединение и на переприсоединение, подтверждение присоединения, неподтвержденные данные по восходящему/нисходящему каналам и подтвержденные данные по восходящему/нисходящему каналам. Отдельным типом являются сообщения собственного протокола.

Сообщения «Запрос на присоединение к сети» (Join-Request), «Подтверждение присоединения к сети» (Join-Accept) и «Запрос на переприсоединение к сети» (Rejoin-Request) используются в процедуре активации «по воздуху» и в целях роуминга (в данном случае при переходе обслуживания от одного КА к другому и от одного луча КА к его смежному лучу).

Таблица 2 — Типы сообщений

Значение поля	Описание
000	Запрос на присоединение к сети (Join-Request)
001	Подтверждение присоединения к сети (Join-Accept)
010	Неподтверждаемые восходящие данные (Unconfirmed data uplink)
011	Неподтверждаемые нисходящие данные (Unconfirmed data downlink)
100	Подтверждаемые восходящие данные (Confirmed data uplink)
101	Подтверждаемые нисходящие данные (Confirmed data downlink)
110	Запрос на переприсоединение к сети (Rejoin-Request)
111	Сообщения собственного протокола (Proprietary protocol messages)

Сообщения с данными используются для передачи МАС-команд и данных приложений (прикладных данных), которые могут быть объединены вместе в одном сообщении. Подтверждаемое сообщение с данными, требующее уведомления о получении сообщения, должно быть подтверждено получателем. Неподтверждаемое сообщение не требует отправки уведомления. Сообщения собственного протокола могут использоваться для реализации нестандартных форматов сообщений, которые не совместимы со стандартными сообщениями, но должны использоваться для поддержки АСП, имеющими общее понимание собственных (нестандартных) расширений. Когда АСП или сетевой сервер получают сообщение неизвестного нестандартного формата, они должны его проигнорировать.

Целостность сообщения обеспечивается разными способами для разных типов сообщений.

7.1.3 Поле «Основная версия формата данных» (Major)

Значения поля «Основная версия формата данных» (Major) и их описание представлены в таблице 3.

Таблица 3 — Значения поля «Основная версия формата данных» (Major)

Значения поля	Описание
00	LoRaWAN RU
01	ПНОД (LSCP)
10..11	RFU

Примечание — Значения поля «Основная версия формата данных» (Major) определяют формат сообщений, которыми обмениваются в ходе процедуры присоединения к сети (активации), и первые четыре байта поля «MAC-сообщение» (MACPayload). Для каждой основной версии формата данных АСП могут реализовывать разные неосновные версии формата данных. Неосновная версия, используемая АСП, должна быть известна сетевому серверу до ее использования (например, как часть информации, персонализирующей АСП). Если АСП или сетевой сервер получают данные неизвестной или неподдерживаемой версии формата данных, то они должны быть проигнорированы.

7.1.4 Поле «MAC-сообщение» (MACPayload)

Поле «MAC-сообщение» (MACPayload) содержит поле «Заголовок MAC-сообщения» (FHDR), за которым следуют необязательные поля «Порт» (FPort) и «Прикладные данные» (FRMPayload) (см. рисунок 10).

Размер (в байтах)	7...22	0...1	0...Z
MAC-сообщение	Заголовок MAC-сообщения (FHDR)	Порт (FPort)	Прикладные данные (FRMPayload)

Рисунок 10 — Структура поля «MAC-сообщение» (MACPayload)

Поле «Заголовок MAC-сообщения» (FHDR) предназначено для адресации АСП.

Поле «Порт» (FPort) предназначено для адресации поля «Прикладные данные» (FRMPayload) на уровне АСП.

Поле «Прикладные данные» (FRMPayload) предназначено для передачи данных по целевому назначению АСП. Это поле имеет размер от 0 до Z байт, определяемый согласно региональным параметрам (см. приложение Г).

Поле «MAC-сообщение» (MACPayload), состоящее только из поля «Заголовок MAC-сообщения» (FHDR), является корректным.

7.1.5 Поле «Заголовок MAC-сообщения» (FHDR)

Поле «Заголовок MAC-сообщения» (FHDR) содержит короткий адрес АСП (DevAddr), однобайтное поле «Управление кадром» (FCtrl), двухбайтное поле «Счетчик кадров» (FCnt) и поле переменной длины «Параметры кадра» (FOpts) для передачи MAC-команд длиной до 15 байт (см. рисунок 11).

Размер (в байтах)	4	1	2	0...15
Заголовок MAC-сообщения (FHDR)	Короткий адрес АСП (DevAddr)	Управление кадром (FCtrl)	Счетчик кадров (FCnt)	Параметры кадра (FOpts)

Рисунок 11 — Структура поля «Заголовок MAC-сообщения»

7.1.6 Структура поля «Управление кадром» (FCtrl)

Для нисходящего сообщения структура поля «Управление кадром» (FCtrl) приведена на рисунке 12.

Номера битов	7	6	5	4	3...0
Управление кадром (FCtrl)	0	RFU	Подтверждение получения сообщения (ACK)	Отложенные кадры (FPending)	Длина параметра кадра (FOptsLen)

Рисунок 12 — Структура поля «Управление кадром» (FCtrl) для нисходящего канала

Для восходящего сообщения структура поля «Управление кадром» (FCtrl) приведена на рисунке 13.

Номера битов	7	6	5	4	3...0
Управление кадром (FCtrl)	0	0	Подтверждение получения сообщения (ACK)	Включение класса В	Длина параметра кадра (FOptsLen)

Рисунок 13 — Структура поля «Управление кадром» (FCtrl) для восходящего канала

Адаптивное управление скоростью передачи данных на абонентских линиях между АСП и ПН КА не применяется из-за постоянного и быстрого изменения затухания сигнала в радиоканале. Сетевой сервер в границах одного сеанса связи не будет управлять скоростью передачи данных и выходной мощностью передатчика АСП независимо от качества принимаемого сигнала. Поэтому седьмой бит поля «Управление кадром» (FCtrl) для нисходящего канала, а также седьмой и шестой биты поля «Управление кадром» (FCtrl) для восходящего канала всегда сброшены (их значения равны 0).

Дополнительно, с целью снижения количества потерянных пакетов, сетевой сервер может посылать MAC-команды, изменяющие количество повторений для каждого восходящего сообщения.

7.1.7 Подтверждение получения сообщения

При получении сообщения, требующего уведомления о получении данных, получатель должен ответить сообщением, в котором установлен бит поля «Подтверждение получения сообщения» (ACK). Если отправителем является АСП, то сетевой сервер (сеть) попытается отправить подтверждение, используя одно из окон приема, открытое АСП после операции отправки. Если отправителем является ПН КА, то АСП передает уведомление по своему усмотрению (см. примечание ниже).

Подтверждение отправляется только в ответ на последнее полученное сообщение и никогда не ретранслируется.

Примечание — АСП разрешено насколько возможно упростить процедуру подтверждения и иметь несколько вариантов ее выполнения. АСП может передавать явное (возможно, пустое) сообщение с подтверждением получения данных сразу после получения сообщения с данными, требующего подтверждения получения. Кроме того, АСП может отложить передачу подтверждения, прикрепив его к следующему сообщению данных.

7.1.8 Поле «Отложенные кадры» (FPending)

Поле «Отложенные кадры» (FPending) используется только в нисходящем сообщении и указывает на то, что сеть имеет данные, ожидающие своей отправки, и поэтому запрашивает АСП максимально быстро открыть еще одно окно приема посредством отправки другого восходящего сообщения.

7.1.9 Поле «Счетчик кадров» (FCnt)

Для каждого АСП имеется два счетчика кадров, чтобы отслеживать и хранить число кадров данных, переданных в восходящий канал сетевому серверу (FCntUp) и отправленных в нисходящий канал сетевым сервером на АСП (FCntDown). Значение счетчика кадров FCntUp увеличивается АСП, когда кадр данных передается на сетевой сервер (восходящий канал). Значение счетчика кадров FCntDown увеличивается сетевым сервером, когда кадр данных передается на АСП (нисходящий канал). Сетевой сервер отслеживает счетчик кадров восходящего канала и генерирует счетчик нисходящего канала для каждого АСП.

Всякий раз, когда АСП с активацией по воздуху успешно обрабатывает подтверждение присоединения (переприсоединения) к сети (Join-Accept), счетчики кадров на нем (FCntUp) и на стороне сети (FCntDown) для этого АСП сбрасываются на 0.

Для АСП с персональной активацией счетчики кадров устанавливаются производителем на 0. Эти АСП не должны сбрасывать счетчики кадров в течение срока службы. Если АСП подвержено потере питания в течение срока службы (например, замена батареи), то значения счетчиков кадров должны сохраняться во время такого события.

Впоследствии счетчик кадров FCntUp увеличивается с каждым восходящим сообщением (кадром), а счетчик FCntDown увеличивается с каждым нисходящим сообщением (кадром). На стороне получателя соответствующий счетчик синхронизируется с полученным значением при условии, что полученное значение было увеличено по сравнению с текущим значением счетчика, а поле «Код целостности сообщения» (MIC) кадра совпадает со значением MIC, вычисленным локально.

Счетчик кадров FCntUp не должен увеличиваться в случае множественных передач подтвержденного или неподтвержденного кадра (см. параметр NbTrans). Сетевой сервер должен отбрасывать полезную нагрузку приложений повторно переданных кадров и перенаправлять только один экземпляр на соответствующий сервер приложений.

Первый восходящий кадр со значением счетчика FCntUp, равным 0, отправленный АСП после успешной процедуры присоединения, должен быть принят сетевым сервером при условии, что значение поля «Код целостности сообщения» (MIC) допустимо. Аналогично первый нисходящий кадр со значением счетчика FCntDown равным 0, отправленный сетевым сервером на АСП после успешной процедуры присоединения, должен быть принят АСП при условии, что значение поля «Код целостности сообщения» (MIC) допустимо.

Счетчики кадров имеют разрядность 32 бита. Поле «Счетчик кадров» (FCnt) должно соответствовать младшим 16 битам 32-битового счетчика кадров.

АСП не должно обрабатывать повторную передачу одного и того же кадра, принятого по нисходящему каналу. Последующие повторные передачи должны игнорироваться без обработки.

Примечания

1 Это означает, что АСП будет отправлять подтверждение единожды, только после приема нисходящего сообщения, требующего подтверждения. Точно так же АСП будет генерировать только одно восходящее сообщение после получения кадра с установленным битом поля «Отложенные кадры» (FPending) до увеличения своего счетчика FCntUp.

2 Поскольку поле «Счетчик кадров» (FCnt) содержит только 16 младших битов 32-битового счетчика кадров, сервер должен вычислить 16 старших битов счетчика кадров, наблюдая за трафиком.

7.1.10 Поле «Параметры кадра» (FOpts)

Поле «Длина параметров кадра» (FOptsLen) в поле «Управление кадром» (FCtrl) обозначает фактическую длину поля «Параметры кадра» (FOpts), включенного в кадр.

Если в поле «Длина параметров кадра» (FOptsLen) значение равно 0, то поле «Параметры кадра» (FOpts) должно отсутствовать. Если в поле «Длина параметров кадра» (FOptsLen) значение не равно 0, т. е. если в поле «Параметры кадра» (FOpts) присутствуют MAC-команды, то значение поля «Порт» (FPort) не может быть равным 0 (поле «Порт» (FPort) должно либо отсутствовать, либо его значение должно быть не равным 0).

MAC-команды не должны присутствовать одновременно в поле полезной нагрузки и поле опций кадра. Если это произойдет, то АСП должно отбросить кадр.

7.1.11 Бит включения класса В

Бит включения класса В, имеющий значение 1 в восходящем сообщении, сигнализирует сетевому серверу, что АСП включило класс В и теперь готово получать запланированные запросы по нисходящему каналу.

7.1.12 Поле «Порт» (FPort)

Если поле «Прикладные данные» (FRMPayload) кадра заполнено, то должно присутствовать поле «Порт» (FPort).

Если значение поля «Порт» (FPort) равно 0, то это указывает, что поле «Прикладные данные» (FRMPayload) содержит только MAC-команды.

Значения поля «Порт» (FPort) от 1 до 223 (0x01..0xDF) зависят от приложения.

Значение поля «Порт» (FPort), равное 224, предназначено для протокола тестирования уровня MAC.

Значения поля «Порт» (FPort) от 225 до 255 (0xE0..0xFF) зарезервированы для использования в будущем.

Примечание — Значение поля «Порт» (FPort), равное 224, предназначено для беспроводного запуска сценариев проверки соответствия MAC на окончательных версиях АСП без необходимости полагаться на конкретные версии тестов. Протокол тестирования, работающий на прикладном уровне, определен в [4].

7.1.13 Код целостности сообщения (MIC)

Код целостности сообщения (MIC) рассчитывается по всем полям в кадре:

$$\text{сообщение (msg)} = \text{MHDR} \parallel \text{FHDR} \parallel \text{FPort} \parallel \text{FRMPayload}$$

Код целостности сообщения MIC рассчитывается согласно [3].

7.2 Активация и адресация АСП

Для работы в сети каждое АСП должно быть зарегистрировано и активировано.

Активация АСП может быть выполнена двумя способами: «по воздуху» (Over The Air Activation, ОТАА) или через персонализацию (Activation By Personalization, АВР).

АСП должно иметь возможность реализовать оба способа активации. Активация и адресация АСП осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 71168.

7.2.1 Идентификатор АСП (DevEUI)

Идентификатор АСП (DevEUI) — это глобальный идентификатор АСП в адресном пространстве IEEE EUI-64, который однозначно идентифицирует АСП в сети ИВ (в данном случае при переходе обслуживания от одного КА к другому КА).

Все АСП должны иметь назначенный идентификатор (DevEUI), независимо от того, какая процедура активации используется (например, АВР или ОТАА). Он должен храниться в энергонезависимой памяти АСП.

Идентификатор АСП (DevEUI) рекомендуется использовать сетевым серверам в качестве уникального идентификатора АСП, независимо от используемого способа активации АСП, для идентификации АСП при его перемещении из одного сегмента сети в другой, в том числе и при переходе обслуживания между КА.

Примечание — Рекомендуется, чтобы идентификатор АСП (DevEUI) также был доступен на этикетке АСП для целей администрирования.

7.2.2 Идентификатор сервера присоединения (JoinEUI)

Идентификатор сервера присоединения (JoinEUI) — это глобальный идентификатор приложения в адресном пространстве IEEE EUI-64, который однозначно идентифицирует сервер присоединения (Join Server). Сервер присоединения обеспечивает выполнение процедуры присоединения к сети.

Идентификатор сервера присоединения (JoinEUI) должен быть сохранен в энергонезависимой памяти АСП до начала выполнения процедуры соединения.

7.2.3 Поле «Короткий адрес АСП» (DevAddr)

Короткий адрес АСП DevAddr состоит из 32 бит и идентифицирует АСП в текущей (существующей) сети. Он выделяется домашним сетевым сервером. Формат поля «Короткий адрес АСП» (DevAddr) должен соответствовать приведенному на рисунке 14.

Номера битов	От 31 до 32-N	От 31-N до 0
Короткий адрес АСП (DevAddr)	Префикс AddrPrefix	Сетевой адрес NwkAddr

где N — целое число в диапазоне [7:25].

Рисунок 14 — Формат поля «Короткий адрес АСП» (DevAddr)

Протокол низкоскоростного обмена данными поддерживает различные типы сетевых адресов с разным размером сетевого адресного пространства. Переменный размер поля «Префикс» (AddrPrefix) является производным от уникального идентификатора домашнего сетевого сервера NetID, за исключением значений поля «Префикс» (AddrPrefix), зарезервированных для частных/экспериментальных сетей. Поле «Префикс» (AddrPrefix) позволяет сетевым серверам обнаруживать и в реальном времени управлять АСП в роуминге. АСП, которые не соблюдают это правило, не смогут переключаться между двумя сетями, т. к. будет невозможно найти их домашний сетевой сервер.

Младшие (от 31- N до 0) биты поля «Короткий адрес» (DevAddr) — это сетевой адрес АСП (NwkAddr), который может назначаться по усмотрению администратора сети.

Поле переменного размера «Префикс» (AddrPrefix) должно быть получено из уникального идентификатора сетевого сервера NetID (24-битное число). Поле «Префикс» (AddrPrefix) позволяет обнаружить сетевой сервер, назначивший короткий адрес АСП DevAddr. Определено восемь типов уникального идентификатора сетевого сервера NetID, которые соответствуют разным значениям N и формату поля «Префикс» (AddrPrefix) (см. таблицу 4).

Таблица 4 — Сопоставление значения N и формата поля «Префикс» (AddrPrefix) для каждого типа уникального идентификатора сетевого сервера NetID

Тип уникального идентификатора сетевого сервера NetID	Значение N	Формат поля «Префикс» (AddrPrefix)
0	7	7'b0xx_xxxx
1	8	8'b10xx_xxxx
2	12	12'b110x_xxxx_xxxx
3	15	15b111_0xxx_xxxx_xxxx
4	17	17'b1_1110_xxxx_xxxx_xxxx
5	19	19b111_110x_xxxx_xxxx_xxxx
6	22	22'b11_1111_0xxx_xxxx_xxxx_xxxx
7	25	25b1_1111_110x_xxxx_xxxx_xxxx_xxxx

Значения поля «Префикс» (AddrPrefix), указанные на рисунке 15, могут быть использованы любой частной/экспериментальной сетью и не будут взаимодействовать в роуминге.

Значения поля «Префикс» (AddrPrefix), зарезервированные для частных/экспериментальных сетей
$N = 7$
AddrPrefix = 7'b00000000 или AddrPrefix = 7'b00000001
NwkAddr – это 25 бит, которые назначаются по усмотрению администратора сети

Рисунок 15 — Значения поля «Префикс» (AddrPrefix) для частной/экспериментальной сети

7.2.4 Активация АСП «по воздуху»

При активации «по воздуху», прежде чем участвовать в обмене данными с сетевым сервером, АСП должно пройти процедуру присоединения к сети. АСП должно инициировать новую процедуру присоединения каждый раз, когда оно теряет информацию о состоянии сеанса связи.

Перед началом процедуры присоединения АСП должно быть персонализировано с помощью глобального уникального идентификатора АСП (DevEUI) и идентификатора сервера, отвечающего за присоединение АСП к сети (JoinEUI).

7.2.5 Процедура присоединения к сети

Со стороны АСП процедура присоединения к сети представляет собой отправку АСП запроса на присоединение к сети (Join-Request) или запроса на переприсоединение к сети (Rejoin-Request) и получение подтверждения присоединения к сети (Join-Accept).

7.2.5.1 Запрос на присоединение к сети (Join-Request)

Процедура присоединения всегда иницируется АСП путем отправки запроса на присоединение к сети. Структура сообщения представлена на рисунке 16.

Размер (в байтах)	8	8	2
Запрос на присоединение к сети	JoinEUI	DevEUI	DevNonce

Рисунок 16 — Структура запроса на присоединение к сети

Запрос на присоединение к сети содержит поле «Идентификатор АСП» (DevEUI), поле «Идентификатор сервера присоединения» (JoinEUI) и двухбайтное поле «Идентификатор запроса на присоединение» (DevNonce).

7.2.5.2 Поле «Идентификатор запроса на присоединение» (DevNonce)

Идентификатор запроса на присоединение — это счетчик, значение которого начинается с 0, когда АСП изначально включается и увеличивается с каждым запросом на присоединение JoinRequest. Значение поля «Идентификатор запроса на присоединение» (DevNonce) никогда не должно использоваться повторно для заданного значения поля «Идентификатор сервера присоединения» (JoinEUI). Если АСП может быть выключено, а затем снова включено, то идентификатор запроса на присоединение не должен изменяться (он должен сохраняться в энергонезависимой памяти). Сброс идентификатора запроса на присоединение без изменения идентификатора сервера присоединения вызовет отклонение сетевым сервером запроса АСП на присоединение к сети. Для каждого АСП сетевой сервер отслеживает значения идентификатора запроса на присоединение, использованные АСП, и игнорирует запросы на присоединение к сети, если значение поля «Идентификатор запроса на присоединение» (DevNonce) не изменилось (не увеличилось). Когда счетчик DevNonce переполняется (предыдущее значение счетчика равно 16 777 215), эксплуатация АСП завершается.

Примечание — Этот механизм предотвращает атаки повторного воспроизведения путем отправки ранее записанных запросов на присоединение с целью отключения соответствующего АСП от сети. Сетевой сервер в любое время обрабатывает запрос на присоединение и сформирует пакет с подтверждением присоединения, он должен поддерживать и старые параметры контекста сеанса, и новые, пока не получит первый успешный пакет из восходящего канала, содержащий MAC-команду на использование настроек нового сеанса. После этого настройки старого сеанса могут быть безопасно удалены.

Запрос на присоединение может передаваться на установленной скорости передачи данных и частоте, выбранной из назначенных для присоединения частотных каналов. Интервалы между передачами запросов на присоединение должны соблюдать условия, описанные в 8.1.9. Для каждой следующей передачи запроса на присоединение АСП должно увеличить значение поля «Идентификатор запроса на присоединение» (DevNonce).

7.2.5.3 Сообщение с подтверждением присоединения (Join-Accept)

Сетевой сервер отвечает на запрос на присоединение (переприсоединение) сообщением с подтверждением присоединения, если АСП разрешено присоединение к сети. Сообщение с подтверждением присоединения отправляется как обычное нисходящее сообщение, но использует задержки JOIN_ACCEPT_DELAY1 или JOIN_ACCEPT_DELAY2 (вместо RECEIVE_DELAY1 и RECEIVE_DELAY2, соответственно). Частота канала и скорость передачи данных, используемых для получения этих двух окон приема, идентичны тем, которые используются для окон приема RX1 и RX2.

Ответ АСП не передается, если запрос на присоединение не принят.

Сообщение с подтверждением присоединения содержит поле «Счетчик повторных присоединений» (JoinNonce) из 3 байт, поле «Сетевой идентификатор» (NetID), поле «Короткий адрес АСП» (DevAddr), поле «Параметры нисходящего канала» (DLSettings), поле «Задержка между TX и RX» (RxDelay), поле «Список сетевых параметров» (CFList) и поле «Тип списка сетевых параметров» (CFListType) для сети, к которой присоединилось АСП (см. рисунок 17). Дополнительные поля «Список сетевых параметров» (CFList) и «Тип списка сетевых параметров» (CFListType) содержат региональные параметры и определены в приложении Г.

Размер (в байтах)	3	3	4	1	1	15 опц.	1 опц.
Подтверждение присоединения	JoinNonce	NetID	DevAddr	DLSettings	RxDelay	CFList	CFListType

Рисунок 17 — Структура сообщения с подтверждением присоединения

Поле «Счетчик повторных присоединений» (JoinNonce) содержит значение счетчика повторных присоединений для конкретного АСП, предоставленное сервером присоединения. Значения счетчика увеличиваются на единицу при каждом присоединении и никогда не повторяются.

АСП отслеживает значение поля «Счетчик повторных присоединений» (JoinNonce), использованное в последнем успешно обработанном подтверждении присоединения JoinAccept. АСП принимает подтверждение, только если в поле «Код целостности сообщения» (MIC) корректное значение и значение поля «Счетчик повторных присоединений» (JoinNonce) строго больше, чем записанное ранее. В этом случае новое значение заменяет ранее сохраненное.

Если АСП подвергается периодическому выключению/включению питания, то значение поля «Счетчик повторных присоединений» (JoinNonce) при этом меняться не должно (оно должно сохраняться в энергонезависимой памяти).

Уникальный идентификатор сети (NetID) составляет 24 бита, за исключением значений, отведенных для частных/экспериментальных сетей, управление которыми не осуществляется.

Выделяется 2¹⁵ зарезервированных значений уникального идентификатора сети для частных/экспериментальных сетей, формируемых согласно рисунку 18.

Номера битов	23...21	20...7	6...0
Значение	000	XXXXXXXXXXXXXX Произвольное 14-битное значение	0000000 или 0000001

Рисунок 18 — Формирование значений уникального идентификатора сети для частных/экспериментальных сетей

Значение поля «Сетевой идентификатор» (NetID) в сообщении с подтверждением присоединения соответствует уникальному идентификатору домашней сети АСП.

Сеть, которая присваивает короткий адрес АСП, и домашняя сеть могут быть разными в состоянии роуминга.

Поле «Параметры нисходящего канала» (DLsettings) содержит конфигурацию нисходящего канала согласно рисунку 19.

Номера битов	7	6...4	3...0
DLsettings	OptNeg	RX1DROffset	RX2 Data rate

Рисунок 19 — Структура поля DLsettings

Бит OptNeg указывает, какую версию протокола реализует сетевой сервер: LoRaWAN v.1.0 (бит не установлен), v.1.1 и выше (бит установлен).

Типы запроса на присоединение (переприсоединение) и их кодировка соответствуют ГОСТ Р 71168.

7.2.6 Запрос на переприсоединение к сети (Rejoin-Request)

После активации АСП может периодически передавать запрос на переприсоединение к сети (Rejoin-Request) (помимо обмена данными, определенного приложением). Это сообщение с запросом на переприсоединение к сети дает возможность периодически, на стороне сервера, инициализировать новый сеанс для АСП. С этой целью сеть (сетевой сервер) отвечает сообщением подтверждения присоединения к сети (Join-Accept).

Сетевой сервер может также использовать окна приема RX1/RX2 (см. 8.1.2) после запроса на переприсоединение к сети для передачи нормальных подтвержденных или неподтвержденных нисходящих сообщений, дополнительно передавая MAC-команды. Эта возможность полезна для сброса параметров приема АСП в случае, если состояние MAC-уровня рассинхронизовалось между АСП и сетевым сервером.

Процедура переприсоединения всегда инициируется АСП путем отправки сообщения с запросом на переприсоединение к сети.

Примечание — В любое время сетевой сервер обрабатывает запросы на переприсоединение к сети (типа 0, 1 или 2) и генерирует сообщения с подтверждением присоединения к сети. Он должен поддерживать как старый сеанс, так и новый, пока не получит первый успешный пакет из восходящего канала, используя новый сеанс, после чего старый сеанс следует удалить. Во всех случаях обработка сообщения с запросом на переприсоединение к сети сетевым сервером похожа на обработку стандартного сообщения с запросом на присоединение к сети, в котором сетевой сервер в начале обработки сообщения определяет, должен ли он передать его серверу присоединения (Join Server), для формирования подтверждения присоединения (Join-Accept) в ответ.

Существует три типа запросов на переприсоединение к сети, которые могут быть переданы АСП и соответствуют трем различным целям. Первый байт запроса на переприсоединение к сети называется «Тип переприсоединения» (Rejoin Type) и используется для кодирования типа запроса на переприсоединение к сети. В таблице 5 описано назначение каждого типа сообщения с запросом на переприсоединение к сети.

Т а б л и ц а 5 — Типы запроса на переприсоединение к сети

Тип запроса	Описание и назначение
0	Содержит NetID+DevEUI. Используется для закрытия соединения на уровне сеанса с АСП, включая параметры: DevAddr, счетчики кадров. Такие сообщения могут направляться АСП только на домашние сетевые сервера, не на сервер присоединения (Join Server). Код целостности этого сообщения может быть проверен только при транзитном обслуживании или домашним сетевым сервером
1	Содержит JoinEUI+DevEUI. В точности эквивалентно исходному запросу присоединения Join-Request, но может передаваться поверх обычного прикладного трафика без отключения АСП. Получающий сетевой сервер может перенаправить этот запрос на соответствующий АСП сервер присоединения. Используется для восстановления утерянного контекста сеанса
2	Содержит NetID+DevEUI. Используется для изменения его DevAddr. Параметры радиосвязи остаются неизменными. Эти сообщения могут направляться на домашний сетевой сервер только посещаемыми сетями (из роуминга). Они не могут быть отправлены сервером присоединения

а) Запрос на переприсоединение к сети типа 0 или 2

Запрос на переприсоединение к сети типа 0 или 2 содержит идентификатор домашней сети АСП NetID, идентификатор АСП DevEUI и значение 16битного счетчика (RJcount0) (см. рисунок 20).

Размер (в байтах)	1	3	8	2
ReJoin-Request	Rejoin Type = 0 или 2	NetID	DevEUI	RJcount0

Рисунок 20 — Структура запроса на переприсоединение

RJcount0 — счетчик, значение которого увеличивается с каждым переданным запросом на переприсоединение к сети типа 0 или 2. RJcount0 инициализируется в 0 каждый раз, когда подтверждение присоединения успешно обработано АСП. Для каждого АСП сетевой сервер должен отслеживать и хранить последнее значение RJcount0 (так называемый RJcount0_last), использованное АСП. Он игнорирует запросы на переприсоединение к сети, если (RJcount0 <= RJcount0_last).

RJcount0 никогда не повторяется (не должен использоваться в цикле при переполнении). Если RJcount0 достигает значения $2^{16} - 1$, то АСП должно прекратить передачу запроса на переприсоединение к сети типа 0 или 2. АСП может вернуться к состоянию присоединения к сети.

Рабочий цикл (DutyCycle) АСП при передаче запросов на переприсоединение к сети типа 0 или 2 должен быть менее 0,1 %.

Примечание — Запрос на переприсоединение к сети типа 0 предполагается передавать с требуемой периодичностью в зависимости от варианта использования АСП. Это сообщение также может быть передано MAC-командой *ForceRejoinReq*.

б) Запрос на переприсоединение к сети типа 1

Аналогично запросу на присоединение к сети запрос на переприсоединение к сети типа 1 содержит идентификатор сервера присоединения JoinEUI и идентификатор АСП DevEUI (см. рисунок 21). Поэтому сообщение с запросом на переприсоединение к сети типа 1 может быть направлено серверу присоединения любым сетевым сервером, принявшим его. Запрос на переприсоединение к сети типа 1 может использоваться для восстановления связи с АСП в случае полной потери сетевого сервера.

Размер (в байтах)	1	8	8	2
ReJoin-Request	Rejoin Type = 1	JoinEUI	DevEUI	RJcount1

Рисунок 21 — Структура запроса на переприсоединение к сети типа 1

RJcount1 — счетчик, значение которого увеличивается с каждым переданным запросом на переприсоединение к сети типа 1. Для каждого АСП сервер присоединения отслеживает и хранит последнее значение RJcount1 (так называемый RJcount1_last), использованное АСП. Он игнорирует запросы на переприсоединение к сети, если RJcount1 $\leq$ RJcount1_last.

RJcount1 никогда не повторяется для выданного идентификатора сервера присоединения JoinEUI. Периодичность отправки запроса на переприсоединение к сети типа 1 должна быть такой, чтобы не могло произойти переполнение счетчика и повторное использование его значений в период жизни АСП с заданным значением JoinEUI.

Рабочий цикл (DutyCycle) АСП при передаче запросов на переприсоединение к сети типа 1 всегда должен быть менее 0,1 %.

Примечание — Запрос на переприсоединение к сети типа 1 используется только в случае полной потери сервером контекста уровня сеанса. Это событие очень маловероятно, поэтому повторное подключение АСП с периодичностью от одного раза в день до одного раза в неделю считается приемлемым.

в) Передача запроса на переприсоединение к сети

В таблице 6 приведены возможные условия для передачи каждого типа запроса на переприсоединение к сети.

Т а б л и ц а 6 — Возможные условия для передачи каждого типа запроса на переприсоединение к сети

Тип запроса на переприсоединение к сети (RejoinReq)	Передается автономно и периодически АСП	Передается с MAC-командой <i>ForceRejoinReq</i>
0	x	x
1	x	—
2	—	x

Запрос на переприсоединение к сети типов 0 и 1 должно передаваться по частотному каналу, определенному для этой процедуры.

Запрос на переприсоединение к сети типа 2 должен передаваться по любому, включенному в настоящий момент, каналу на соответствующих случайно переключаемых (выбираемых) частотах.

Запросы на переприсоединение к сети типов 0 и 2, передаваемые с использованием MAC-команды *ForceRejoinReq*, должны использовать скорость передачи данных, указанную в MAC-команде.

Запросы на переприсоединение к сети типа 0 [передаются периодически и автономно АСП (с максимальной периодичностью, установленной MAC-командой *RejoinParamSetupReq*)] и запросы на переприсоединение типа 1 должны использовать скорость передачи данных и выходную мощность передатчика, используемые для передачи прикладных данных.

г) Обработка запроса на переприсоединение к сети

Для всех трех типов запроса на переприсоединение к сети сетевой сервер может реагировать:

- сообщением с подтверждением присоединения, если он хочет изменить сетевой идентификатор АСП (роуминг);

- обычным нисходящим кадром (сообщением), дополнительно содержащим MAC-команды. Этот нисходящий кадр должен быть отправлен в тот же канал, с той же скоростью передачи данных и с той же задержкой, что была задана для сообщения с подтверждением подключения, которое он заменяет.

В большинстве случаев на попутные запросы на переприсоединение к сети типа 0 или 1 сеть не будет реагировать.

7.3 Выбор частоты передачи пакета

Для обеспечения множественного доступа АСП к радиоканалу в сети используется неслотированная ALOHA. Частота канала передачи каждого пакета должна выбираться АСП в соответствии с заранее назначенными номиналами центральных частот каналов, предусмотренных в полосе рабочих частот приема ПН КА для соответствующего региона обслуживания на Земле. В случае если передача пакета осуществляется с повторами (см. 7.4), для каждой очередной передачи рекомендуется выбирать частоту, отличную от предыдущей частоты передачи пакета.

7.4 Повторная передача пакета

Нисходящий пакет (требующий или не требующий подтверждения от АСП) не должен повторно отправляться сетевым сервером с использованием одного и того же счетчика значения нисходящих пакетов. Если после отправки нисходящего сообщения, требующего подтверждения, сетевой сервер не получил от АСП уведомление о доставке, то он должен уведомить об этом сервер приложения. Сервер приложения принимает решение о целесообразности повторной передачи нисходящего сообщения, требующего подтверждения.

Восходящие пакеты (требующие и не требующие подтверждения) передаются от одного до пятнадцати раз. После каждого повторения АСП должно ждать, пока не закроется окно приема. Задержка между повторными передачами остается на усмотрение АСП и может быть различной для каждого АСП.

АСП должно остановить любую дальнейшую передачу восходящих пакетов, требующих подтверждения, если получен соответствующий нисходящий пакет с подтверждением.

АСП класса С должны прекратить любую дальнейшую передачу восходящих пакетов, когда нисходящее сообщение получено в окно приема RX1.

АСП класса В должны прекратить любую дальнейшую передачу восходящих пакетов, когда нисходящее сообщение получено в установленные окна приема.

АСП класса А должны прекратить любую дальнейшую передачу восходящих пакетов, когда нисходящее сообщение получено в окно приема RX1 или RX2.

Если сетевой сервер получает один и тот же восходящий пакет более установленного числа передач (NbTrans), то это может быть признаком атаки на сервер или неисправности АСП. В этом случае сетевой сервер не должен обрабатывать избыточные пакеты.

Необходимость использования повторных передач определяется индивидуально для каждого АСП.

7.5 MAC-команды

Набор MAC-команд предназначен для сетевого администрирования и может быть использован для обмена между сетевым сервером и АСП на MAC-уровне (см. таблицу 7). MAC-команды MAC-уровня не обрабатываются сервером приложений и приложением, запущенным на АСП.

Один кадр данных может содержать любую последовательность MAC-команд, вставленную в поле «Параметры кадра» (FOpts) или отправленную в отдельном кадре данных в поле «Прикладные данные» (FRMPayload) со значением поля «Порт» (FPort), равным 0.

Таблица 7 — MAC-команды

CID	MAC-команда	Передается		Краткое описание
		от АСП	на АСП	
0x01	<i>ResetInd</i>	x	—	Используются АСП при активации через персонализацию для индикации сброса и согласования версий протокола
0x01	<i>ResetConf</i>	—	x	Подтверждает MAC-команду <i>ResetInd</i>
0x02	<i>LinkCheckReq</i>	x	—	Используется АСП для проверки его подключения к сети
0x02	<i>LinkCheckAns</i>	—	—	Ответ на MAC-команду <i>LinkCheckReq</i> . Содержит оценку мощности полученного сигнала, указывающую на качество приема АСП (устойчивость связи)
0x03	<i>LinkADRRReq</i>	—	x	Запрашивает АСП изменить скорость передачи данных, мощность передачи, количество повторений или канал
0x03	<i>LinkADRAns</i>	x	—	Подтверждает MAC-команду <i>LinkADRRReq</i>
0x04	<i>DutyCycleReq</i>	—	x	Устанавливает максимальное значение рабочего цикла АСП на передачу

Окончание таблицы 7

CID	MAC-команда	Передается		Краткое описание
		от АСП	на АСП	
0x04	<i>DutyCycleAns</i>	x	—	Подтверждает MAC-команду <i>DutyCycleReq</i>
0x05	<i>RXParamSetupReq</i>	—	x	Устанавливает параметры окон приема
0x05	<i>RXParamSetupAns</i>	x	—	Подтверждает MAC-команду <i>RXParamSetupReq</i>
0x06	<i>DevStatusReq</i>	—	x	Запрашивает статус АСП
0x06	<i>DevStatusAns</i>	x	—	Передает статус (состояние) АСП, а именно уровень заряда его батареи и отношение сигнал/шум
0x07	<i>NewChannelReq</i>	—	x	Изменяет частоты каналов
0x07	<i>NewChannelAns</i>	x	—	Подтверждает MAC-команду <i>NewChannelReq</i>
0x08	<i>RXTimingSetupReq</i>	—	x	Устанавливает временные интервалы для окон приема
0x08	<i>RXTimingSetupAns</i>	x	—	Подтверждает MAC-команду <i>RXTimingSetupReq</i>
0x09	<i>TxParamSetupReq</i>	—	x	Используется сетевым сервером, чтобы установить максимально допустимое время задержки (dwell time) и максимальную эффективную изотропную излучаемую мощность (ЭИИМ) АСП, на основе локальных соглашений и нормативных актов
0x09	<i>TxParamSetupAns</i>	x	—	Подтверждает MAC-команду <i>TxParamSetupReq</i>
0x0A	<i>DChannelReq</i>	—	x	Изменяет частоту нисходящего канала для окна приема RX1 по отношению к частоте восходящего канала
0x0A	<i>DChannelAns</i>	x	—	Подтверждает MAC-команду <i>DChannelReq</i>
0x0D	<i>DeviceTimeReq</i>	x	—	Используется АСП для запроса текущей даты и времени
0x0D	<i>DeviceTimeAns</i>	—	x	Сеть отправляет ответ на запрос <i>DeviceTimeReq</i>
0x0E	<i>ForceRejoinReq</i>	—	x	Посылается сетью для запроса немедленного переприсоединения АСП, дополнительно указывается количество и периодичность повторов
0x0F	<i>RejoinParamSetup Req</i>	—	x	Используется сетью для установки периодичности отправки АСП запросов на переприсоединение
0x0F	<i>RejoinParamSetup Ans</i>	x	—	Подтверждает MAC-команду <i>RejoinParamSetupReq</i>
От 0x80 до 0xFF	Проприетарные MAC-команды	x	x	Зарезервировано для команд, действующих только в региональных сетях ИВ

MAC-команды, передаваемые в поле «Параметры кадра» (FOpts), отправляются в кодированном виде и не должны превышать 15 байт. MAC-команды, отправляемые в поле «Прикладные данные» (FRMPayload), всегда кодируются и их длина не должна превышать максимальную длину поля «Прикладные данные» (FRMPayload).

MAC-команда состоит из поля «Идентификатор MAC-команды» (CID) размером 1 байт и поля «Атрибуты MAC-команды» размером от 0 до 14 байт. Для некоторых команд поле «Атрибуты MAC-команды» может быть пустым.

MAC-команды со значениями идентификаторов MAC-команды от 0x01 до 0x7F предназначены для использования во всех сетях.

Приемная сторона отвечает/подтверждает получение MAC-команд в том же порядке, как они передаются. Ответ для каждой MAC-команды последовательно добавляется в буфер. На все MAC-команды, полученные в одном кадре, ответы должны быть переданы в одном кадре (т.е. буфер, содержащий ответы на MAC-MAC-команды, должен быть отправлен в одном кадре). Если длина буфера с MAC-ответами больше, чем максимальная длина поля «Параметры кадра» (FOpts), АСП должно отправить буфер в поле «Прикладные данные» (FRMPayload) на порт 0. Если АСП надо отправить прикладные данные и MAC-ответы, но они не помещаются в один кадр, то MAC-ответы должны быть отправлены в первую очередь. Если длина буфера превышает максимальный используемый размер поля «Прикладные данные» (FRMPayload), АСП перед сборкой кадра должно уменьшить буфер до максимального размера поля «Прикладные данные» (FRMPayload). Поэтому ответы на последние MAC-команды могут быть неполными. В любом случае, полный список MAC-команд выполняется, даже если буфер, содержащий MAC-ответы, должен быть обрезан. Сетевой сервер не должен генерировать последовательность MAC-команд, на которые АСП не может ответить одним восходящим кадром.

Примечания

1 В основном АСП будет отвечать только один раз на любую полученную MAC-команду. Если ответ потерян, то сеть вынуждена будет снова послать MAC-команду. Сетевой сервер решает, что MAC-команда должна быть отправлена повторно, когда он получает новое восходящее сообщение, которое не содержит ответа.

Только MAC-команды *RxParamSetupReq*, *RxTimingSetupReq* и *DIChannelReq* имеют другой механизм подтверждения, описанный в соответствующих разделах, так как они влияют на параметры нисходящего канала.

2 Когда MAC-команда инициируется АСП, сеть делает все возможное для отправки подтверждения/ответа в окне приема RX1/RX2 сразу после запроса.

3 Длина MAC-команды не задается явно и должна быть неявно известной по MAC-реализации. Поэтому неизвестные MAC-команды не могут быть пропущены, и первая неизвестная MAC-команда завершает обработку последовательности MAC-команд.

7.5.1 MAC-команды индикации сброса (*ResetInd*, *ResetConf*)

Данная MAC-команда доступна только при активации через персонализацию в сети с сетевым сервером, поддерживающим LoRaWAN v.1.1. На сетевом сервере, поддерживающем только LoRaWAN v.1.0, данная MAC-команда не реализована.

При активации «по воздуху» АСП не должны отправлять эту MAC-команду. Сетевой сервер должен игнорировать MAC-команду *ResetInd*, поступившую от АСП с активацией «по воздуху».

С помощью MAC-команды *ResetInd* АСП с активацией через персонализацию извещает сеть, что оно было повторно инициализировано, и что оно переключено на свои MAC и радионастройки по умолчанию (т.е. параметры, изначально запрограммированные в АСП при изготовлении, за исключением трех счетчиков кадров). MAC-команда *ResetInd* должна добавляться в поле «Параметры кадра» (FOpts) всех восходящих кадров, пока не будет получена MAC-команда *ResetConf*.

Данная MAC-команда не является сигналом сетевому серверу, что были сброшены счетчики кадров. Счетчики кадров нисходящих и восходящих сообщений не должны сбрасываться в АСП при активации через персонализацию.

Примечание — Данная MAC-команда предназначена для АСП с активацией через персонализацию, питание которых может быть отключено в какой-то момент времени (например, замена батареи). АСП может потерять настройки соединения текущего сеанса связи, хранящиеся в ОЗУ (кроме счетчиков кадров, которые должны быть сохранены в энергонезависимой памяти). В этом случае АСП нуждается в том, чтобы как-то сообщить сетевому серверу о потере настроек соединения сеанса связи. В будущем эта MAC-команда может также использоваться для согласования некоторых параметров протокола между АСП и сетевым сервером.

MAC-команда *ResetInd* включает в себя указание на используемый протокол низкоскоростного обмена данными, поддерживаемый АСП (см. рисунки 22, 23).

Размер (в байтах)	1
Данные <i>ResetInd</i> (<i>ResetInd</i> Payload)	Версия протокола, поддерживаемая АСП (Dev Protocol version)

Рисунок 22 — Структура MAC-команды *ResetInd*

Номера битов	7...4	3...0
Версия протокола, поддерживаемая АСП (Dev Protocol version)	RFU	Дополнительный номер версии (Minor)=2

Рисунок 23 — Структура MAC-команды *ResetInd*

Поле «Дополнительный номер версии» (Minor) указывает на дополнительный номер версии протокола, поддерживаемый АСП (см. таблицу 8).

Таблица 8 — Значения поля «Дополнительный номер версии» (Minor)

Дополнительный номер версии (Minor)	Значение поля
RFU	0
1 (LoRaWAN RU)	1
2 (ПНОД)	2
RFU	От 3 до 15

Когда сетевой сервер получает MAC-команду *ResetInd*, он отвечает MAC-командой *ResetConf*.
MAC-команда *ResetConf* содержит один байт данных, закодированных с использованием формата, поддерживаемого сетевым сервером (см. рисунок 24).

Размер (в байтах)	1
Данные <i>ResetConf</i> (<i>ResetConf</i> Payload)	Версия протокола, поддерживаемая сетевым сервером (Serv Protocol version)

Рисунок 24 — Структура MAC-команды *ResetConf*

Версия сетевого сервера, которую несет *ResetConf*, должна совпадать с версией АСП. Любое другое значение является недопустимым.

Если версия сервера не совпадает с версией АСП, устройство должно отбросить MAC-команду *ResetConf* и повторно отправить MAC-команду *ResetInd* в следующем восходящем кадре.

7.5.2 MAC-команды проверки подключения к сети (*LinkCheckReq*, *LinkCheckAns*)

С помощью MAC-команды *LinkCheckReq* АСП может проверить свое подключение к сети. MAC-команда не имеет полезных данных.

Когда сетевой сервер получает *LinkCheckReq* через ПН КА, он отвечает MAC-командой *LinkCheckAns*. Структура MAC-команды *LinkCheckAns* представлена на рисунке 25.

Размер (в байтах)	1	1
Данные <i>LinkCheckAns</i> (<i>LinkCheckAns</i> Payload)	Устойчивость демодуляции (Margin)	Число КА (GwCnt)

Рисунок 25 — Структура MAC-команды *LinkCheckAns*

Поле «Устойчивость демодуляции» (Margin) представляет собой 8-битовое целое число без знака в диапазоне от 0 до 254 и указывает значение устойчивости связи в дБ, полученное по факту успешного приема последней MAC-MAC-команды *LinkCheckReq*. Значение, равное 0, означает, что пакет был получен на минимальном уровне отношения сигнал/шум (0 дБ или отсутствии значения), а значение, равное 20, например, означает, что пакет достиг ПН КА с 20 дБ запаса относительно минимального уровня. Значение, равное 255, зарезервировано для будущего использования.

Поле «Число КА» (GwCnt) определяет число КА, ПН которых успешно получила последнюю MAC-команду *LinkCheckReq*.

Значения минимального усредненного уровня отношения сигнал/шум (C/N) для демодуляции пакета представлены в таблице 9. Более детальные значения C/N приведены в приложении Б.

Т а б л и ц а 9 — Значения усредненного уровня отношения C/N для демодуляции пакета

Скорость передачи	Коэффициент расширения SF	Отношение сигнал/шум минимального уровня демодуляции пакета (дБ)
DR0	12	–20
DR1	11	–17,5
DR2	10	–15
DR3	9	–12,5
DR4	8	–10
DR5	7	–7,5
DR12	6	–5,0
DR13	5	–2,5

7.5.3 MAC-команды установки рабочего цикла АСП (*DutyCycleReq*, *DutyCycleAns*)

MAC-команда *DutyCycleReq* используется сетевым сервером, чтобы ограничить АСП время на передачу сообщений в радиоэфире. Структура MAC-команды представлена на рисунках 26 и 27.



Рисунок 26 — Структура MAC-команды *DutyCycleReq*

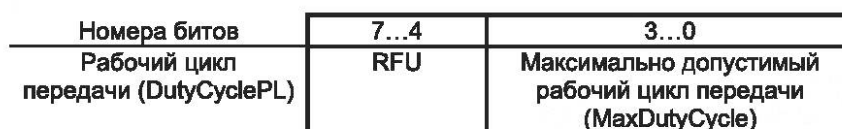


Рисунок 27 — Структура поля «Рабочий цикл передачи» (*DutyCyclePL*)
MAC-команды *DutyCycleReq*

Значения максимально допустимого рабочего цикла передачи *MaxDutyCycle* находятся в диапазоне от 0 до 15. Значение 0 соответствует «нет ограничений», если в региональных параметрах не указано иначе.

АСП отвечает на MAC-команду *DutyCycleReq* MAC-командой *DutyCycleAns*. Она не содержит никаких полезных данных.

Максимально допустимый рабочий цикл передачи вычисляется:

$$\text{aggregated duty cycle} = \frac{1}{2^{\text{MaxDCycle}}}.$$

7.5.4 MAC-команда установки параметров окон приема (RXParamSetupReq)

MAC-команда *RXParamSetupReq* позволяет изменять частоту при передаче данных, установленную для второго окна приема (RX2) после каждого восходящего сообщения. Структура MAC-команды приведена на рисунке 28.

Размер (в байтах)	1	3
Данные RXParamSetupReq (RXParamSetupReq Payload)	RFU	Частота (Frequency)

Рисунок 28 — Структура MAC-команды *RXParamSetupReq*

Поле «Частота» (Frequency) соответствует частоте, используемой для второго окна приема RX2, при этом частота кодируется аналогично описанию MAC-команды *NewChannelReq*.

MAC-команда *RXParamSetupAns* используется АСП, чтобы подтвердить прием MAC-команды *RXParamSetupReq*. MAC-команда *RXParamSetupAns* должна добавляться в поле «Параметры кадра» (FOpts) всех восходящих сообщений, пока АСП не получит нисходящее сообщение в окно RX1 или RX2 (с длительностью RX2, характерной для АСП класса А). Это гарантирует, что даже при наличии потери восходящих пакетов сеть всегда в курсе параметров нисходящего канала, используемых АСП.

Данные включают однобайтовое поле «Статус» (Status) (см. рисунок 29).

Размер (в байтах)	1
RXParamSetupAns Payload	Status

Рисунок 29 — Структура поля «Статус» (Status)

Биты поля «Статус» (Status) имеют значение согласно рисунку 30 и таблице 10.

Номера битов	7...3	2	1	0
Статус (Status)	RFU	RFU	RFU	Channel ACK

Рисунок 30 — Структура поля «Статус» (Status)

Т а б л и ц а 10 — Кодировка поля «Статус» (Status)

Атрибут	Бит = 0	Бит = 1
Channel ACK	Запрашиваемая частота не применима для АСП	Канал для окна приема RX2 успешно установлен

Если значения всех битов равны 0, то АСП сохраняет прежнее состояние.

7.5.5 MAC-команда запроса статуса АСП (DevStatusReq)

С помощью MAC-команды *DevStatusReq* сетевой сервер может запросить информацию о состоянии АСП. MAC-команда не имеет атрибутов. Если АСП получило MAC-команду *DevStatusReq*, то оно должно ответить MAC-командой *DevStatusAns*. Структура MAC-команды представлена на рисунке 31.

Размер (в байтах)	1	1
DevStatusAns Payload	Battery	Status

Рисунок 31 — Структура MAC-команды *DevStatusReq*

Уровень заряда батареи (Battery) кодируется в соответствии с таблицей 11.

Таблица 11 — Кодировка значений поля «Уровень заряда батареи» (Battery)

Уровень заряда батареи	Описание
0	АСП подключено к внешнему источнику питания
От 1 до 254	Уровень заряда батареи: 1 — находится на минимуме; 254 — находится на максимуме
255	АСП не смогло измерить уровень заряда батареи

Поле «Устойчивость демодуляции» (Margin) содержит значение отношения сигнал/шум (C/N), измеренное в дБ при приеме последней MAC-команды *DevStatusReq*. Значение поля «Устойчивость демодуляции» (Margin) округляется до ближайшего целого значения. Это целое 6-битовое число со знаком с минимальным значением минус 32 дБ и максимальным значением плюс 31 дБ. Формат поля «Статус АСП» (Status) представлен на рисунке 32.

Номера битов	7...6	5...0
Status	RFU	Margin

Рисунок 32 — Формат поля «Статус АСП» (Status)

7.5.6 MAC-команды создания и модификации канала (*NewChannelReq*, *DIChannelReq*)

АСП, работающие в регионе, для которого определен фиксированный частотный план каналов, не должны выполнять эти MAC-команды (т.е. АСП не должно отвечать на MAC-команды). Задаваемые каналы должны соответствовать требованиям региональных (национальных) параметров. Например, для Российской Федерации они приведены в приложении Г.

MAC-команда *NewChannelReq* может использоваться для изменения параметров существующего двунаправленного канала или создания нового. MAC-команда задает центральную частоту нового канала и скорость передачи данных в восходящем канале (см. рисунок 33).

Размер (в байтах)	1	3	1
<i>NewChannelReq</i> Payload	Индекс каналов (ChIndex)	Частота (Freq)	Скорость передачи данных (DrRange)

Рисунок 33 — Структура MAC-команды *NewChannelReq*

Индекс каналов (ChIndex) — это индекс вновь созданного или измененного канала. Для каждого региона или страны (см. приложение Г) устанавливаются каналы «по умолчанию», которые не могут быть изменены с помощью MAC-команды *NewChannelReq*.

Если число каналов «по умолчанию» равно N , то нумероваться каналы «по умолчанию» будут от 0 до $[N-1]$, а от N до 15 будут нумероваться редактируемые каналы. Таким образом, индекс каналов (ChIndex) может принимать значение от N до 15. АСП должно быть в состоянии обрабатывать по меньшей мере 16 различных каналов. В определенном регионе АСП может хранить параметры более 16 каналов.

Поле «Частота» (Freq) содержит 24-битовое целое число без знака. Фактическая частота канала в Гц считается $100 \cdot \text{Freq}$, где значения, представляющие частоты ниже 100 МГц, зарезервированы для использования в будущем. Это позволяет устанавливать частоту канала в диапазоне от 100 МГц до 1,67 ГГц с шагом 100 Гц. Значение Freq, равное 0, отключает канал. АСП должно проверить, что частота на самом деле разрешена (обеспечивается) на аппаратном уровне радиомодуля. В противном случае послать сообщение об ошибке.

Поле «Скорость передачи данных» (DrRange) определяет разрешенную скорость передачи данных для восходящего канала. Поле разделено на два 4-битных индекса (см. рисунок 34). В поле «DR» указывается разрешенная скорость передачи данных для восходящего канала.

Номера битов	7...4	3...0
DrRange	RFU	DR

Рисунок 34 — Структура поля «Скорость передачи данных» (DrRange)

Измененный канал включается и сразу может быть использован для взаимодействия с сетевым сервером.

В окне приема RX1 частота в нисходящем канале устанавливается равной частоте в восходящем канале.

АСП подтверждает получение MAC-команды *NewChannelReq* отправкой в ответ MAC-команды *NewChannelAns*. Эта MAC-команда содержит атрибут (см. рисунок 35).

Размер (в байтах)	1
NewChannelAns Payload	Status

Рисунок 35 — Атрибут MAC-команды *NewChannelAns*

Биты поля «Статус» (Status) имеют значение согласно рисунку 36 и таблице 12.

Номера битов	7...2	1	0
Status	RFU	Data rate ok	Channel frequency ok

Рисунок 36 — Значения битов поля «Статус» Status

Таблица 12 — Кодировка значений поля «Статус» (Status)

Атрибут	Бит = 0	Бит = 1
Data rate ok	АСП не может использовать указанную скорость передачи данных	АСП имеет возможность использовать указанную скорость передачи данных
Channel frequency ok	АСП не может использовать данную частоту	АСП имеет возможность использовать эту частоту

Если любой из этих 2 битов равен 0, то MAC-команда не выполнена и новый канал не создан.

MAC-команда *DIChannelReq* позволяет ассоциировать различные частоты нисходящего канала с окном приема RX1. Эта MAC-команда применяется для всех спецификаций физического уровня, поддерживающих MAC-команду *NewChannelReq* (поддерживается для региональных параметров Российской Федерации, Европы (EU) и Китая и не поддерживается для США и Австралии).

MAC-команда задает центральную частоту, используемую для нисходящего канала в окне приема RX1, согласно рисунку 37.

Размер (в байтах)	1	3
DIChannelReq Payload	Индекс канала (ChIndex)	Частота (Freq)

Рисунок 37 — Структура MAC-команды *DIChannelReq*

Поле «Индекс канала» (ChIndex) содержит значение индекса канала, для которого изменяется частота нисходящего канала.

АСП подтверждает получение MAC-команды *DIChannelReq* отправкой в ответ MAC-команды *DIChannelAns*. MAC-команда *DIChannelAns* должна добавляться в поле «Параметры кадра» (FOpts) всех восходящих сообщений, пока АСП не получит нисходящий пакет. Это гарантирует, что даже при наличии потери пакетов в восходящем канале сеть всегда будет в курсе частот, используемых АСП в нисходящем канале. Эта MAC-команда содержит атрибут согласно рисунку 38.

Размер (в байтах)	1
DIChannelAns Payload	Status

Рисунок 38 — Атрибут MAC-команды *DIChannelAns*

Биты поля «Статус» (Status) имеют значение согласно рисунку 39 и таблице 13.

Номера битов	7...2	1	0
Status	RFU	Uplink frequency exists	Channel frequency ok

Рисунок 39 — Биты поля Status

Т а б л и ц а 13 — Кодировка значений поля «Статус» (Status)

Атрибут	Бит = 0	Бит = 1
Channel frequency ok	АСП не может использовать эту частоту	АСП имеет возможность использовать эту частоту
Uplink frequency exists	Частота восходящего канала не определена, частота нисходящего канала может быть установлена только при наличии допустимой частоты восходящего	Частота восходящего канала допустима (корректна)

7.5.7 MAC-команда настройки задержки между TX и RX (*RXTimingSetupReq*)

MAC-команда *RXTimingSetupReq* позволяет настраивать задержку между окончанием передачи восходящего сообщения и открытие первого окна приема (RX1). По умолчанию эта задержка составляет 1 (одну) секунду. Второе окно приема (RX2) открывается по умолчанию через 2 (две) секунды после окончания передачи восходящего сообщения. Атрибут MAC-команды представлен на рисунке 40.

Размер (в байтах)	1
RXTimingSetupReq Payload	Settings

Рисунок 40 — Атрибут MAC-команды *RXTimingSetupReq*

Поле «Установки» (Settings) определяет время задержки. Поле разделено на два 4-разрядных индекса в соответствии с рисунком 41. Кодировка индекса Del представлена в таблице 14.

Биты	[7:4]	[3:0]
Settings	RFU	Del

Рисунок 41 — Структура поля Settings

Т а б л и ц а 14 — Кодировка индекса Del

Del	Задержка (с)
0	1
1	1
2	2
3	3
...	...
15	15

Задержка (Del) указывается в секундах. Значение Del, равное 0, соответствует 1 секунде.

АСП отвечает на MAC-команду *RXTimingSetupReq* отправкой MAC-команды *RXTimingSetupAns* без атрибутов.

MAC-команда *RXTimingSetupAns* должна добавляться в поле «Параметры кадра» (FOpts) всех восходящих сообщений, пока АСП не получит нисходящий пакет в окно RX1 или RX2 (с длительностью RX2, характерной для АСП класса А). Это гарантирует, что даже при наличии потери пакетов в восходящем канале сеть будет всегда в курсе параметров нисходящего канала, используемых АСП.

7.5.8 MAC-команда установки параметров передачи АСП (*TxParamSetupReq*)

Эта MAC-команда должна выполняться с соблюдением региональных (национальных) параметров (см. приложение Г).

MAC-команда *TxParamSetupReq* может быть использована для уведомления АСП о максимально допустимом времени задержки (dwell time), т. е. максимальном времени непрерывной передачи пакета по радиозфиру, а также максимально допустимой эффективно излучаемой изотропной мощности АСП (EIRP). Атрибут MAC-команды представлен на рисунке 42.

Размер (в байтах)	1
<i>TxParamSetupReq</i> Payload	EIRP_DwellTime

Рисунок 42 — Атрибут MAC-команды *TxParamSetupReq*

Структура поля «ЭИИМ и время передачи» (EIRP_DwellTime) представлена на рисунке 43.

Номера битов	7...6	5	4	3...0
EIRP_DwellTime	RFU	DownlinkDwellTime	UplinkDwellTime	MaxEIRP

Рисунок 43 — Структура поля EIRP_DwellTime

Биты [3...0] MAC-команды *TxParamSetupReq* кодируют максимальное значение мощности излучения (ЭИИМ) — MaxEIRP. Значения MaxEIRP охватывают широкий диапазон, включающий параметры всех возможных регионов. При установлении MaxEIRP следует соблюдать региональные (национальные) параметры. Значения поля «ЭИИМ» (MaxEIRP) кодируются согласно рисунку 44.

Кодируемое значение	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
MaxEIRP (dBm)	8	10	12	13	14	16	18	20	21	24	26	27	29	30	33	36

Рисунок 44 — Кодировка поля «ЭИИМ» (MaxEIRP)

Значение поля «ЭИИМ» (MaxEIRP) соответствует верхней границе выходной мощности передатчика АСП. АСП не обязано передавать на этой мощности, но никогда не должно превышать указанное значение.

Биты UplinkDwellTime и DownlinkDwellTime определяют максимальное время задержки в восходящем и нисходящем каналах соответственно, которые кодируются согласно таблице 15.

Таблица 15 — Кодирование значений задержки

Кодируемое значение	Время задержки
0	Не ограничено
1	400 мс

Если в соответствии с региональными параметрами данная MAC-команда поддерживается, то АСП отвечает на MAC-команду *TxParamSetupReq* отправкой MAC-команды *TxParamSetupAns*. Ответная MAC-команда *TxParamSetupAns* не содержит атрибутов.

Если региональные параметры не допускают использование данной MAC-команды, то АСП не обрабатывает ее и не передает подтверждения.

7.5.9 MAC-команда запроса даты и времени (*DeviceTimeReq*)

Данная MAC-команда доступна, только если АСП активировано в сети с сетевым сервером, поддерживающим LoRaWAN 1.1. Сетевой сервер, поддерживающий только LoRaWAN 1.0, не реализует эту MAC-команду.

С помощью MAC-команды *DeviceTimeReq* АСП может запрашивать у сети текущие дату и время сети. Запрос не имеет никаких полезных данных.

С помощью MAC-команды *DeviceTimeAns* сетевой сервер предоставляет АСП дату и время сети. Предоставленное время — это время сети, зафиксированное в конце передачи восходящего сообщения. MAC-команда имеет 5 байт полезных данных, заданных согласно рисунку 45.

Размер (в байтах)	4	1
DeviceTimeAns Payload	32-битное целое без знака: число секунд с начала эпохи*	8-битное целое без знака: доли секунды с шагом в $1/2^8$ секунды

* В качестве начальной точки отсчета времени (эпохи) используется 6 января 1980 года, полночь. Поле «Секунды» — это количество секунд, прошедшее с момента начала эпохи. Это поле монотонно увеличивается каждую секунду на 1. Чтобы преобразовать это поле в UTC время, високосные секунды должны быть приняты во внимание.

Рисунок 45 — Структура MAC-команды *DeviceTimeAns*

Время, предоставленное сетью, должно иметь точность не хуже ± 100 миллисекунд.

7.5.10 Вынужденное переприсоединение к сети (*ForceRejoinReq*)

С помощью MAC-команды *ForceRejoinReq* сеть запрашивает у АСП немедленно передать запрос на переприсоединение к сети 0-го или 2-го типа с установленным числом и периодичностью попыток присоединения, и скоростью передачи данных. Этот запрос может быть использован сетью для инициирования процедуры передачи АСП в другой сетевой сервер в соответствии с межоператорским соглашением.

MAC-команда имеет два байта полезных данных. Параметры MAC-команды представлены на рисунке 46.

Номера битов	15...14	13...11	10...8	7	6...4	3...0
ForceRejoinReq	RFU	Period	Max_Retries	RFU	RejoinType	DR

Рисунок 46 — Структура MAC-команды *ForceRejoinReq*

Параметры кодируются следующим образом.

Период — задержка между повторами передачи, должна быть равна:

$$\text{Период} = 32 \cdot 2^{\text{Period}} + \text{Rand32},$$

где Rand32 — это псевдослучайное число в диапазоне [0...32].

Max_Retries — общее количество попыток, которые выполнит АСП, чтобы отправить запрос на переприсоединение к сети (Rejoin-Request):

- 0: запрос на переприсоединение к сети будет отправлен только 1 раз (без повтора);
- 1: запрос на переприсоединение к сети должен быть отправлен 2 раза в общей сложности (1 + 1 повтор);
- ...7: запрос на переприсоединение к сети должен быть отправлен 8 раз (1 + 7 повторов).

Поле «Тип запроса» (RejoinType) указывает тип запроса, который будет передан АСП:

- 0 или 1: должен быть передан запрос на переприсоединение к сети типа 0;
- 2: должен быть передан запрос переприсоединение к сети типа 2;
- ... 7: зарезервированы для последующего использования.

DR-кадр с запросом на переприсоединение к сети должен быть передан с указанной скоростью передачи данных.

MAC-команда не имеет ответа, так как АСП должно отправить запрос на переприсоединение к сети при получении MAC-команды. Первая передача сообщения с ним должна быть осуществлена сразу же после приема MAC-команды (но сеть может не получить его). Если АСП получает новую MAC-команду *ForceRejoinReq*, прежде чем оно достигнет максимального числа повторных передач, то АСП должно продолжить передачу запроса с новыми параметрами.

7.5.11 Параметры переприсоединения к сети (*RejoinParamSetupReq*, *RejoinParamSetupAns*)

С помощью MAC-команды *RejoinParamSetupReq* сеть может запросить АСП периодически отправлять запрос на переприсоединение к сети типа 0 (*RejoinRequest* type 0) с заданной периодичностью отправки, определенной как время или число восходящих кадров.

И время, и число кадров предлагаются для использования АСП, которые могут не иметь возможности измерять время. Заданная периодичность устанавливает максимальное время и количество восходящих кадров между двумя отправками запроса на переприсоединение к сети. АСП может передавать этот запрос чаще заданной периодичности.

MAC-команда имеет единственный байт полезных данных (см. рисунок 47).

Номера битов	7...4	3...0
<i>RejoinParamSetupReq</i>	MaxTimeN	MaxCountN

Рисунок 47 — Структура MAC-команды *RejoinParamSetupReq*

Параметры определены следующим образом:

MaxCountN = C = от 0 до 15.

АСП должно отправлять запрос на переприсоединение к сети типа 0 не реже чем каждое $2C+4$ исходящее сообщение.

MaxTimeN = T = от 0 до 15.

АСП должно отправлять запрос на переприсоединение к сети типа 0 не реже чем каждые $2T+10$ секунд. Значение $T = 0$ соответствует примерно 17 минутам, а значение $T = 15$ — около одного года.

АСП должно обеспечивать переприсоединение к сети по достижении порогового значения количества восходящих кадров. Периодичность переприсоединения, основанная на времени, является необязательной. АСП, которое не может реализовать подсчет временного интервала, должно известить об этом в ответе. Ответ содержит один байт полезных данных (см. рисунок 48).

Номера битов	7...1	0
<i>RejoinParamSetupReq</i>	RFU	TimeOK

Рисунок 48 — Структура MAC-команды *RejoinParamSetupReq*

Если бит 0 равен 1, то АСП приняло установку периодичности в формате времени и количества восходящих кадров, в противном случае оно принимает установку периодичности только в виде ограничения количества восходящих кадров.

8 Режимы работы абонентских средств потребителя

8.1 Прием и передача сообщений в АСП класса А

8.1.1 Передача восходящего сообщения

Пакеты восходящих сообщений отправляются АСП на сетевой сервер по абонентской линии на ПН КА и далее по фидерной линии на РСС.

8.1.2 Прием нисходящего сообщения

После каждой передачи восходящего сообщения АСП должно открыть два коротких окна приема. Момент открытия окон RX1 и RX2 приема нисходящих сообщений задается относительно времени окончания передачи восходящего сообщения (см. рисунок 49).

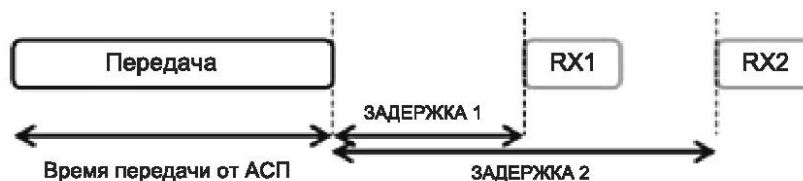


Рисунок 49 — Временные окна приема АСП

8.1.3 Канал, скорость передачи данных и время открытия первого окна приема

Первое окно приема RX1 использует частоту, значение которой зависит от частоты в восходящем канале, и скорость приема данных в окне RX1, которая зависит от скорости передачи данных последнего восходящего сообщения. Окно приема RX1 открывается через интервал времени ЗАДЕРЖКА 1 (+/- 20 микросекунд) после окончания передачи восходящего сообщения. Значения интервалов времени ЗАДЕРЖКА 1 и ЗАДЕРЖКА 2 определяются региональными параметрами. Для Российской Федерации эти значения приведены в приложении Г. По умолчанию скорость передачи нисходящего сообщения в первом окне приема RX1 равна скорости передачи данных, использованной при передаче восходящего сообщения.

8.1.4 Канал, скорость передачи данных и время открытия второго окна приема

Второе окно приема RX2 использует фиксированно заданные частоту приема и скорость передачи данных и открывается через интервал времени ЗАДЕРЖКА 2 (+/-20 микросекунд) после окончания модуляции восходящего сообщения. Частота и скорость передачи данных, используемые в окне RX2, могут быть изменены с помощью MAC-команд. Значения частоты и скорости передачи данных по умолчанию являются региональными параметрами и указаны в приложении Г.

8.1.5 Продолжительность окон приема

Продолжительность окна приема должна быть не менее времени, необходимого радиоприемнику АСП для эффективного распознавания преамбулы нисходящего сообщения.

Продолжительность окна приема АСП должна учитывать максимально возможное отклонение времени АСП. Задержку между окончанием передачи и началом окон приема можно изменить от 1 до 15 с для RX1 (и, таким образом, от 2 до 16 с для RX2).

8.1.6 Активность АСП во время окна приема

Если поле «Преамбула» (Preamble) обнаружено во время одного из окон приема, то радиоприемник АСП остается активным до окончания демодуляции нисходящего сообщения. Если сообщение распознано и затем демодулировано в пределах первого окна приема RX1 и кадр был адресован этому АСП после проверки адреса и MIC, то АСП не должно открывать второе окно приема RX2.

8.1.7 Отправка сообщения на АСП

Если необходимо передать на АСП нисходящее сообщение, то сетевой сервер должен инициировать передачу точно в начале хотя бы одного из двух окон приема. Если нисходящее сообщение передается в течение обоих окон, то должны передаваться идентичные пакеты в каждое окно.

8.1.8 Примечание об окнах приема

АСП не должно передавать следующее восходящее сообщение до того, как получит нисходящее сообщение в первом или втором окне приема, открытых по факту предыдущей передачи, или пока не закроется второе окно приема, открытое по факту предыдущей передачи.

8.1.9 Задержка повторных передач

Для восходящих кадров, для которых одновременно выполняются условия (1) и (3) или (2) и (3), существует ограничение на загрузку радиозфира восходящими сообщениями. Условия, при которых действуют ограничения:

- 1) требующих подтверждения или ответа от сетевого сервера или сервера приложений;
- 2) являющихся повторной передачей по причине отсутствия ответа (подтверждения) от сервера;
- 3) объединенных внешним событием (отключение электричества, отключение сети и т. д.), которое может инициировать одновременную синхронизацию большого количества устройств (> 100), что может вызвать катастрофическую, тяжело восстанавливаемую ситуацию перегрузки радиосети.

Примечание — Примером такого восходящего кадра является запрос на присоединение к сети, когда он выполняется группой АСП, решивших осуществить сброс MAC-уровня в случае сбоя сети. Вся группа АСП начинает отправлять эти запросы и прекращает только после получения от сети подтверждения присоединения АСП к сети.

Для таких повторных отправок кадров интервал между окончанием окна приема RX2 и следующей повторной передачей в восходящий канал должен быть случайным для каждого АСП (например, рекомендуется использование генератора псевдослучайных чисел с адресом АСП). Рекомендуется, чтобы рабочий цикл передачи таких сообщений соответствовал региональным параметрам (см. приложение Г) и приведенным в таблице 16 ограничениям, в зависимости от того, чьи ограничения более строгие.

Т а б л и ц а 16 — Требования к допустимой загрузке радиозэфира

Описание периода	Момент передачи очередного кадра (t)	Допустимая загрузка радиозэфира
В течение первого часа после включения питания или сброса	$T_0 < t < T_0 + 1h$	Время передачи менее 36 секунд за 1 час
После первого часа, в течение следующих 10 часов	$T_0 + 1h < t < T_0 + 11h$	Время передачи менее 36 секунд за 11 часов
После первых 11 часов, в течение следующих 24 часов и за каждые последующие 24 часа	$T_0 + 11h + N < t < T_0 + 35h + N$, $N \geq 0$	Время передачи менее 8,7 секунд за 24 часа

8.2 Прием и передача сообщений в АСП класса В

Абонентские средства потребителя с поддержкой класса В могут быть как мобильными, так и стационарными с батарейным питанием. Они обеспечивают открытие окон приема через фиксированные интервалы времени с целью получения иницируемых сетью кадров по нисходящему каналу. АСП с поддержкой класса В не должны обеспечивать одновременную работу классов В и С.

8.2.1 Цель применения АСП класса В

Цель применения АСП класса В состоит в том, чтобы АСП было доступно для приема в предсказуемое время, в дополнение к окнам приема, которые следуют за случайной передачей по восходящему каналу от АСП класса А. Одним из ограничений класса А является метод отправки данных с АСП: он не допускает известного времени реакции, когда клиентское приложение или сервер хотят обратиться к АСП.

Класс В достигается за счет того, что ПН КА отправляет сигнал маяка для синхронизации всех АСП в сети, чтобы они могли открыть короткое дополнительное окно приема (называемое интервалом проверки связи) в предсказуемое время с установленной периодичностью.

8.2.2 Условия применения АСП класса В

Одним из главных условий использования класса В является синхронизация времени со всеми АСП. Это позволяет АСП открывать дополнительные окна приема данных (т.н. «пингслот») в соответствующие периоды времени.

Для поддержки АСП класса В сеть должна передавать в широковещательном режиме сигнал маяка, который обеспечивает временную привязку к АСП. Основываясь на этой временной привязке, АСП с поддержкой класса В должны периодически открывать интервалы проверки связи, которые могут использоваться сетью для иницирования передачи по нисходящему каналу.

При включении режима класса В АСП должно использовать определенные значения для следующих параметров: периодичность пинг-слота по умолчанию, скорость передачи данных пинг-слота по умолчанию, канал пинг-слота по умолчанию.

Эти параметры должны иметь значения по умолчанию и могут быть обновлены с помощью MAC-команд класса В.

8.2.3 Присоединение АСП класса В

Все АСП запускаются и присоединяются к сети как АСП класса А с отключенным классом В. АСП с поддержкой класса В по-прежнему реализуют все функции АСП класса А. В частности, АСП с поддержкой класса В должны соблюдать определение окон приема RX1 и RX2 класса А после каждого восходящего сообщения.

Процессы включения класса В и передачи кадров по нисходящему каналу осуществляются в соответствии с [3].

8.2.4 Кадр восходящего сообщения

Кадры восходящего сообщения связи в АСП класса В такие же, как и в АСП класса А. Бит включения класса В должен быть установлен в 1 в восходящем сообщении, чтобы сигнализировать сете-

вому серверу, что АСП поддерживает класс В и готово принимать запланированные нисходящие эхо-запросы.

8.2.5 Кадр проверки связи

Кадр проверки связи нисходящего канала использует тот же формат, что и кадр нисходящего сообщения класса А, но может передаваться на другой частоте.

8.2.6 Полезная нагрузка MAC-запроса по нисходящему каналу

Полезная нагрузка MAC-запроса по нисходящему каналу использует формат, определенный в спецификации класса А.

8.3 Прием и передача сообщений в АСП класса С

АСП класса С применяются там, где есть возможность использовать внешний источник питания (питаются от сети постоянного питания) и, следовательно, не требуется минимизировать время приема.

АСП класса С большую часть времени прослушивает радиоэфир с параметрами окна приема RX2. АСП должно слушать в окне приема RX2, когда оно не передает (а), либо не принимает в окне приема RX1 (b), в соответствии с описанием класса А. Для этого ему необходимо открыть короткое окно, использующее параметры RX2 между концом передачи в восходящем канале и началом окна приема RX1. Затем необходимо переключиться на параметры окна приема RX2, как только окно приема RX1 закроется. Окно приема RX2 должно оставаться открытым до тех пор, пока АСП не потребует послать еще одно сообщение.

Примечания

1 Если АСП находится в процессе демодуляции нисходящего сообщения, используя параметры RX2, в момент, когда должно быть открыто окно приема RX1, то оно должно прекратить демодуляцию и переключиться на прием в окне RX1.

2 АСП класса С не может сообщить серверу, что оно поддерживает класс С. Сведения о принадлежности АСП к классу С должны попадать в сервер с прикладного уровня.

В случае если сообщение принимается АСП, работающим в режиме класса С, и требуется передача восходящего сообщения [нисходящая MAC-команда (запрос) или нисходящее сообщение, требующее подтверждения], АСП должно ответить в течение периода времени, известного как АСП, так и сетевому серверу.

До истечения этого периода (тайм-аута) сеть не должна направлять какие-либо новые сообщения, требующие подтверждения, или MAC-команды на АСП. После истечения этого периода или после приема любого восходящего сообщения сети разрешено посылать новое нисходящее сообщение.

8.3.1 Длительность второго окна приема для класса С

АСП класса С реализуют те же два окна приема, что и АСП класса А, но они не закрывают окно приема RX2 до момента отправки очередного восходящего сообщения (см. рисунок 50). Поэтому они могут получать нисходящие сообщения в окне приема RX2 почти в любое время, в том числе нисходящие сообщения, отправленные с целью передачи MAC-команды или подтверждения получения сообщения (ACK). Короткое окно прослушивания на частоте и скорости передачи данных RX2 так же открывается между окончанием передачи и началом приема в окне RX1.

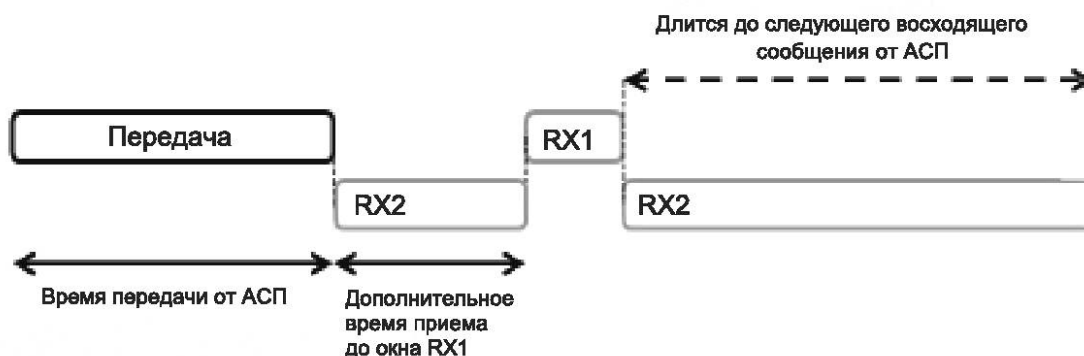


Рисунок 50 — Временной график приема сообщений для класса С

8.3.2 Многоадресная рассылка для класса С

АСП класса С могут принимать многоадресные нисходящие пакеты. Адрес многоадресной рассылки должен приходить на уровне приложения.

Примечание — Многоадресная рассылка может использоваться для многоадресной передачи следующих данных: обновление встроенного программного обеспечения, единое время, альманах и эфемериды GPS/GLONASS-спутников (для ускоренного определения координат АСП) и т. д.

Ограничения, распространяющиеся на многоадресные нисходящие сообщения для класса С:

- сообщения передаются только в нисходящем канале;
- сообщения не должны нести MAC-команды, ни в поле «Параметры кадра» (FOpts), ни в поле «Прикладные данные» (FRMPayload) на порт 0;
- биты ACK и ADDRACKReq должны быть равны 0;
- поле «Тип сообщения» (FType) должно нести значение, соответствующее нисходящему сообщению, не требующему подтверждения (FType = Unconfirmed Data Down);
- бит FPending должен указывать на то, что имеются еще многоадресные данные для отправки.

Примечание — Учитывая, что АСП класса С сохраняет активным свой приемник большую часть времени, то бит FPending не вызывает какого-либо конкретного поведения АСП.

8.3.3 Дополнительные MAC-команды для АСП класса С

Все MAC-команды, описанные для АСП класса А, должны быть реализованы в АСП класса С. Для устройств класса С дополнительно определены MAC-команды, указанные в таблице 17.

Таблица 17 — MAC-команды для АСП класса С

CID	MAC-команда	Передается		Краткое описание
		АСП	ПН КА	
0x20	DeviceModelInd	x	—	Используется АСП для обозначения его текущего режима работы (класс А или С)
0x20	DeviceModeConf	—	x	Используется сетью для подтверждения MAC-команды DeviceModelInd

8.3.4 Режим работы устройства

С помощью MAC-команды DeviceModelInd АСП извещает сеть о режиме своей работы в классе А или классе С. MAC-команда имеет данные размером один байт (см. рисунок 51).

Размер (в байтах)	1
DeviceModelInd Payload	Класс (Class)

Рисунок 51 — Атрибут MAC-команды DeviceModelInd

Значения классов для MAC-команды DeviceModelInd представлены в таблице 18.

Таблица 18 — Значения классов для MAC-команды DeviceModelInd

Поле «Класс» (Class)	Значение
Класс А (Class A)	0x00
Класс В (Class B)	0x01
Класс С (Class C)	0x02

Когда сетевой сервер получает MAC-команду DeviceModelInd, он отвечает на нее MAC-командой DeviceModeConf. АСП должно включать MAC-команду DeviceModelInd во все восходящие сообщения, пока не получит MAC-команду DeviceModeConf.

АСП должно переключить режим работы, как только первая MAC-команда DeviceModelInd будет передана.

Примечание — Для устройств с батарейным питанием рекомендуется при переходе от класса А к классу С реализовать механизм тайм-аутов на прикладном уровне, чтобы гарантировать, что АСП не задержится на неопределенный срок в режиме класса С при отсутствии связи с сетью.

MAC-команда *DeviceModeConf* содержит один байт данных (см. рисунок 52).

Размер (в байтах)	1
<i>DeviceModeConf</i> Payload	Class

Рисунок 52 — Структура MAC-команды *DeviceModeConf*

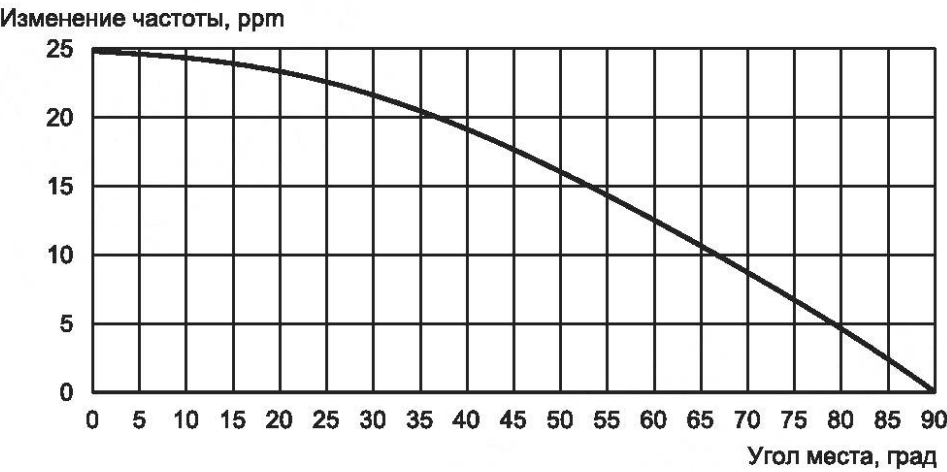
Параметр Class определяется так же, как для MAC-команды *DeviceModelnd*.

Приложение А
(справочное)

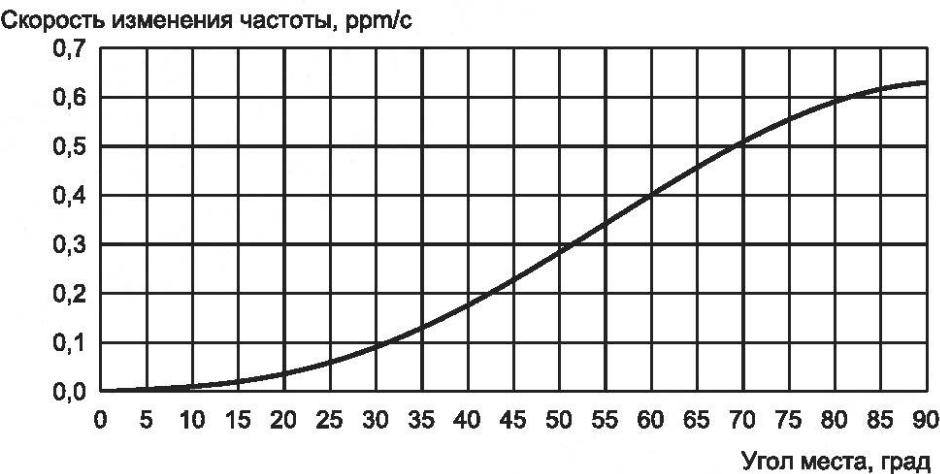
Эффект Доплера в низкоорбитальной спутниковой системе

Эффект Доплера проявляется в изменении частоты сигнала при его передаче по радиолинии между взаимно быстро перемещающимися объектами. Следует учитывать также и скорость изменения частоты сигнала (Гц/с). В настоящем стандарте эти явления обозначены как статический и динамический эффект Доплера, соответственно.

Низкоорбитальные спутники имеют очень высокие скорости относительно точки на Земле, поэтому необходимо учитывать влияние эффекта Доплера (6.2). На рисунках А.1—А.3 приведены численные значения статического и динамического эффекта Доплера для высот орбит 300 км, 750 км и 1500 км.

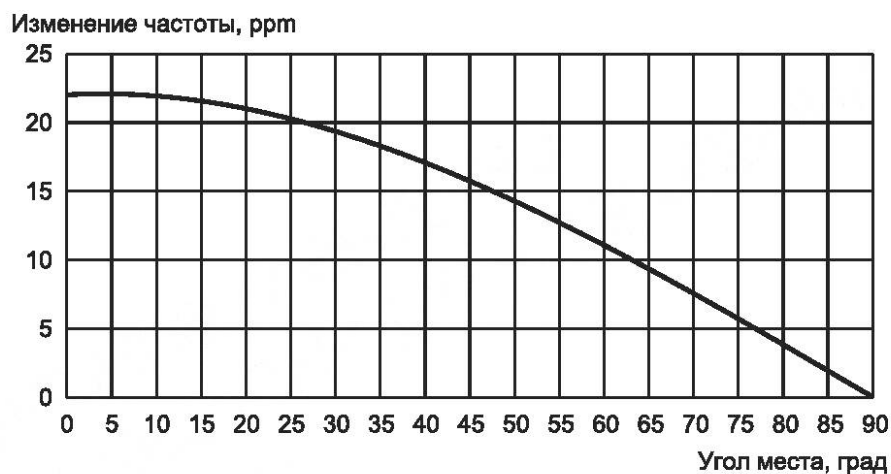


а) Изменение центральной частоты канала за счет статического эффекта Доплера

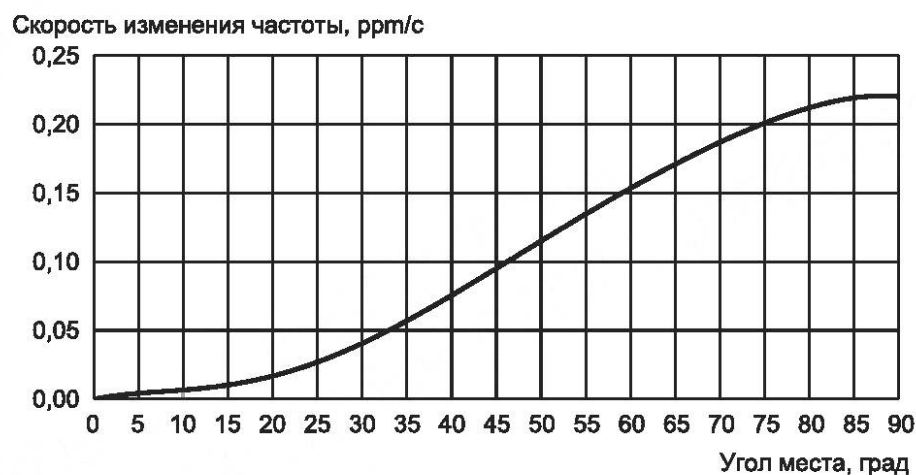


б) Скорость изменения центральной частоты канала (df) за счет динамического эффекта Доплера

Рисунок А.1 — Проявление эффекта Доплера для КА на орбите 300 км за половину максимального времени сеанса связи (255 с)

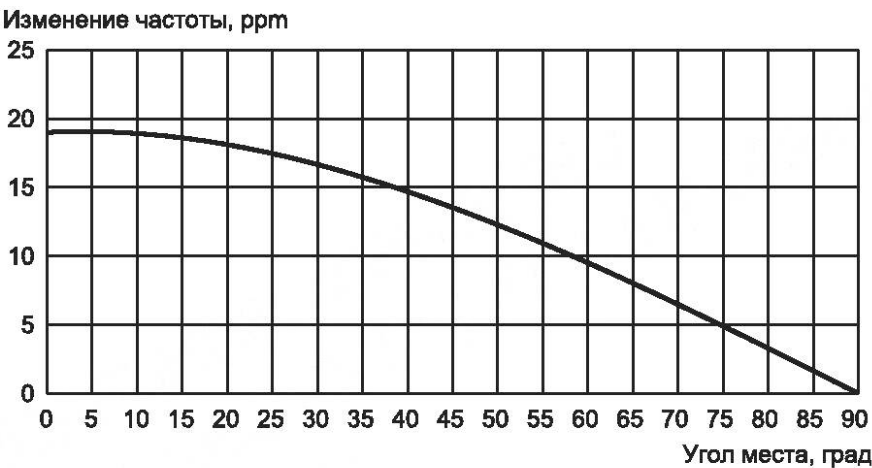


а) Изменение центральной частоты канала за счет статического эффекта Доплера

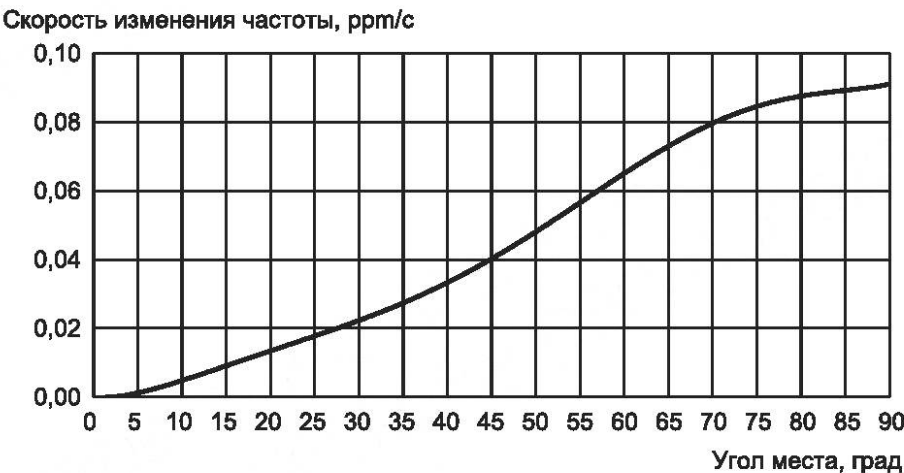


б) Скорость изменения центральной частоты канала (df) за счет динамического эффекта Доплера

Рисунок А.2 — Проявление эффекта Доплера для КА на орбите 750 км за половину максимального времени сеанса связи (700 с)



а) Изменение центральной частоты канала за счет статического эффекта Доплера



б) Скорость изменения центральной частоты канала (df) за счет динамического эффекта Доплера

Рисунок А.3 — Проявление эффекта Доплера для КА на орбите 1500 км за половину максимального времени сеанса связи (900 с)

Статический эффект приводит к изменению центральной частоты сигнала в зависимости от высоты орбиты КА и рабочего угла места АСП и частоты канала. В таблице А.1 приведены минимально рекомендуемые полосы частот канала в зависимости от высоты орбиты и рабочей частоты канала в диапазонах частот ISM и S-диапазоне при рекомендуемом минимальном рабочем угле АСП, равном 25°.

Т а б л и ц а А.1 — Минимально допустимые полосы частот каналов

Высота орбиты, км	Минимально допустимые полосы частот каналов (кГц) для рабочей частоты			
	433 МГц	868 МГц	915 МГц	2200 МГц
300	39,0	78,1	82,4	198,0
750	34,8	69,8	76,3	176,9
1500	30,3	60,8	64,1	154,0

Динамический эффект Доплера может повлиять на достоверность передачи пакетов в радиолинии, поскольку нарушается устойчивость циклического сдвига символов по времени (CV) и устойчивость символов к циклическому смещению по частоте $dF = W/2^{SF}$.

Динамический эффект, обусловленный скоростью изменения частоты (Гц/с) df [см. рисунки А.1б) — А.3б)], достигает своего максимума в области подспутниковой точки. В период сеанса связи значение df есть функция от угла места β (см. рисунок В.1).

Рекомендуемое допустимое значение дрейфа частоты сигнала $df = \delta f < 0,33dF$ для $SF = 5 \dots 10$ за время распространения пакета $T_{оА}$ (см. таблицу В.1). Для $SF = 11$ и $SF = 12$ следует включить функцию LowDataRateOptimize (при передаче и приеме). В этом случае допустимый дрейф увеличивается до $df = \delta f < 5,8dF$. Указанные выше условия для рекомендуемого значения δf могут привести к ограничению допустимого объема пакета на физическом уровне ниже максимального их объема, указанного в таблице Г.5 для соответствующего коэффициента расширения спектра сигнала SF , в зависимости от высоты орбиты КА и рабочей частоты канала.

Приложение Б
(справочное)

Энергетический бюджет абонентских радиолиний

В данном случае подразумевается, что ПН КА выполнена с обработкой и регенерацией информации. Ошибка на бит (P_b) при передаче информации в канале фидерной линии ($P_{бФЛ}$) принята много меньше ошибки в канале абонентской радиолинии $P_{бАЛ}$ (КА→АСП/АСП→КА).

Значение C/N (дБ) на линии КА → АСП:

$$C/N = P_{КА} + G_{КА} + G_{АСП} - L - 10\lg(kT_{АСП}W) - L_m.$$

Значение C/N (дБ) на линии АСП → КА:

$$C/N = P_{АСП} + G_{АСП} + G_{КА} - L - 10\lg(kT_{КА}W) - L_m,$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ — постоянная Больцмана, Дж/К;

$L = 32,45 + 20\lg(f) + 20\lg(d)$ — потери в радиолинии с учетом наклонной дальности d , дБ;

$P_{КА}$ — мощность передатчика канала в луче КА, дБм;

$G_{КА}$ — усиление луча антенны КА в направлении АСП, дБи;

$P_{АСП}$ — мощность передатчика АСП, дБм;

$G_{АСП}$ — усиление антенны АСП в направлении КА, дБи;

$T_{КА}$ — эквивалентная температура шума приемного канала КА, К;

$T_{АСП}$ — эквивалентная температура шума приемного канала АСП, К;

f — частота, МГц;

d — наклонная дальность между КА и АСП, км;

L_m — дополнительные потери (поляризационные, ионосферные, климатические и т.п.);

W — полоса частот канала, Гц.

Взаимосвязь между C/N и E_b/N_0 :

$$C/N = E_b/N_0 - 10\lg(2^{SF}/SF) - 10\lg(4/(4+CR)).$$

Запас энергетического бюджета составляет $\Delta A = C/N - (C/N)_n$ (без учета внутрисистемных и межсистемных помех). Пороговые значения $(C/N)_n$ для разных параметров внутреннего помехоустойчивого кодирования (FEC) приведены в таблице Б.1.

Т а б л и ц а Б.1 — Пороговые значения $(C/N)_n$

SF	$(C/N)_n$ для $P_b = 10^{-4}$, дБ			
	FEC = 4/5	FEC = 4/6	FEC = 4/7	FEC = 4/8
12	−21,2	−22,0	−22,6	−23,2
11	−18,4	−19,2	−19,8	−20,4
10	−15,6	−16,4	−17,0	−17,6
9	−12,7	−13,5	−14,1	−14,7
8	−9,9	−10,7	−11,3	−11,9
7	−7,1	−7,9	−8,5	−9,1
6	−5,0	−5,8	−6,4	−7,0
5	−2,5	−3,3	−3,9	−4,5

В таблицах Б.2—Б.4 представлены примеры оценки энергетического бюджета абонентских радиолиний при референсных значениях усиления антенно-фидерной системы ПН КА и мощности передатчика ПН КА на один канал 1Вт при условии применения АСП, параметры которого идентичны параметрам АСП в сети LPWAN LoRa. Референсное усиление антенно-фидерной системы ПН КА принято равным усилению луча, угловой сектор обслужи-

вания которого 120° ; $108,4^\circ$; $94,4^\circ$ (в последовательности увеличения высоты орбиты КА) обеспечивает формирование гарантированной рабочей зоны на Земле при условии значения рабочего угла места для АСП не менее 25° .

Таблица Б.2 — Пример оценки энергетического бюджета абонентской радиолинии для высоты орбиты КА 300 км

Параметры радиолинии	КА→АСП		АСП→КА	
	В надире	Граница	В зените	Граница
Полоса частот канала (W), кГц	125	125	125	125
Частота, МГц	868	868	868	868
Усиление антенны, дБи	3,1	0,1	0,0	0,0
ЭИИМ на канал, дБм	33,1	30,1	16,1	16,1
Наклонная дальность d (орбита 300 км, угол 25°), км	300	648	300	648
Потери в радиолинии в свободном пространстве (L), дБ	140,8	147,4	140,8	147,4
Поляризационные потери (L_M), дБ	3,0	3,0	3,0	3,0
Эквивалентная температура шума приемного канала, К	1200	1200	500	500
Добротность приемного канала $G_{\text{прм}}/T_{\text{ш}}$, дБ/К	−30,8	−30,8	−23,9	−26,9
Отношение C/N , дБ	6,1	−3,5	−4,0	−13,6

Таблица Б.3 — Пример оценки энергетического бюджета абонентской радиолинии для высоты орбиты КА 750 км

Параметры радиолинии	КА→АСП		АСП→КА	
	В надире	Граница	В зените	Граница
Полоса частот канала (W), кГц	125	125	125	125
Частота, МГц	868	868	868	868
Усиление антенны, дБи	3,9	0,8	0,0	0,0
ЭИИМ на канал, дБм	33,9	30,8	16,1	16,1
Наклонная дальность d (орбита 750 км, угол 25°), км	750	1475	750	1475
Потери в радиолинии в свободном пространстве (L), дБ	148,7	154,6	148,7	154,6
Поляризационные потери (L_M), дБ	3,0	3,0	3,0	3,0
Эквивалентная температура шума приемного канала, К	1200	1200	500	500
Добротность приемного канала $G_{\text{прм}}/T_{\text{ш}}$, дБ/К	−30,8	−30,8	−23,0	−26,1
Отношение C/N , дБ	−1,0	−9,9	−11,0	−20,0

Таблица Б.4 — Пример оценки энергетического бюджета абонентской радиолинии для высоты орбиты КА 1500 км

Параметры радиолинии	КА→АСП		АСП→КА	
	В надире	Граница	В зените	Граница
Полоса частот канала (W), кГц	125	125	125	125
Частота, МГц	868	868	868	868
Усиление антенны, дБи	5,2	2,2	0,0	0,0

Окончание таблицы Б.4

Параметры радиолинии	КА→АСП		АСП→КА	
	В надире	Граница	В зените	Граница
ЭИИМ на канал, дБм	35,2	32,2	16,1	16,1
Наклонная дальность d (орбита 1500 км, угол 25°), км	1500	2657	1500	2657
Потери в радиолинии в свободном пространстве (L), дБ	154,7	159,7	154,7	159,7
Поляризационные потери (L_m), дБ	3,0	3,0	3,0	3,0
Эквивалентная температура шума приемного канала, К	1200	1200	500	500
Добротность приемного канала $G_{\text{прм}}/T_{\text{ш}}$, дБ/К	−30,8	−30,8	−21,8	−24,8
Отношение C/N , дБ	−5,8	−13,7	−15,8	−23,8

Как следует из анализа значений C/N , представленных в таблицах Б.2—Б.4, дефицит бюджета имеет место на линии АСП→КА. Увеличение C/N на линии АСП→КА рекомендуется обеспечивать за счет использования приемной многолучевой антенно-фидерной системы ПН КА. Причем все лучи имеют идентичный частотный и поляризационный план распределения частотных каналов в выделенной полосе рабочих частот. Если принять число лучей равным K , то увеличение C/N будет достигать $10\lg K$ относительно значений C/N , приведенных в таблицах Б.2—Б.4.

Увеличение числа лучей КА повышает его емкость в K раз, уменьшает вероятность коллизии пакетов и потенциальных источников внешних помех за счет уменьшения локальных рабочих зон в пределах зоны обслуживания КА.

Примечания

1 Не учтены потери за счет мерцаний (сцинтилляций в ионосфере), которые могут составлять для 1 % времени наихудшего месяца наивысшего по солнечной активности года в пределах от 0 дБ примерно до 28,5 дБ в зависимости от обслуживаемого региона Земли (дополнительные сведения приведены в [5]).

2 С учетом статистической обработки для 99 % времени дополнительные потери в абонентской радиолинии за счет мерцаний рекомендуется принять 3,4 дБ в диапазоне частот 863.....928 МГц для экваториальной зоны обслуживания (+/−20°).

3 Поляризационные потери приняты 3 дБ (наихудший случай с учетом, что АФС ПН КА формирует сигналы круговой поляризации в пределах ширины диаграммы направленности основного лепестка).

4 При расчете не учтены внешние помехи от РЭС иных систем и внутрисистемные помехи, оценка которых является отдельной задачей, решение которой зависит от конкретных системных и технических условий реализации и эксплуатации МСПД.

Приложение В
(справочное)

Потенциальная емкость абонентского канала

Параметры абонентского канала на физическом уровне и соотношения для их численной оценки представлены в таблице В.1. Эквивалентная скорость передачи данных в абонентском канале R_b зависит от принятой полосы частот канала W и назначенного коэффициента расширения спектра сигнала SF, который в свою очередь определяется достигнутым значением C/N на входе демодулятора и требуемой величиной запаса энергетического бюджета ΔA относительного принятого порогового значения отношения сигнал/шум $(C/N)_n$.

Емкость абонентского канала взаимосвязана с эквивалентной скоростью передачи информации. В данном случае используется режим TDD, поэтому емкость канала следует оценивать отдельно для направлений АСП→КА и КА→АСП, обозначенных соответственно $C_{\uparrow}$ и $C_{\downarrow}$. Для сетей ИВ трафик на линии АСП→КА значительно превышает трафик на линии КА→АСП и всегда выполняется соотношение $\xi = (C_{\downarrow}/C_{\uparrow}) \ll 1$ (обычно максимальное значение $\xi < 0,1$). В качестве численного значения предельной емкости абонентского канала $C_0 \approx C_{\uparrow}$ рекомендуется принять число пакетов $N_{\uparrow}$ физического уровня, которое можно передать по абонентскому каналу в направлении АСП→КА за максимальное время сеанса связи $T_{\max}$. Время сеанса связи — это время, которое отдельный КА из состава орбитальной группировки МСПД наблюдается в зоне обслуживания на Земле, границы которой определены заданным минимальным рабочим углом места АСП (β_m), что поясняется на рисунке В.1. На рисунке В.2 в качестве примера приведено время оборота КА вокруг земли, а на рисунке В.3 показаны значения $T_{\max}$ для $\beta_m = 25^\circ$ применительно к приполярным орбитам.

Орбитальные параметры, указанные на рисунке В.1, имеют между собой следующую взаимосвязь:

$$d = R_3 \cdot \sin\gamma / \sin\alpha; \sin\gamma = \cos(\alpha + \beta); \beta = \arccos[\sin\alpha \cdot (R_3 + h) / R_3]; \alpha + \beta + \gamma = 90^\circ,$$

где α — текущий угол видимости АСП из точки расположения КА на орбите;

γ — текущий геоцентрический угол для КА при его движении по орбите;

β — текущий угол места видимости КА из точки расположения АСП;

h — высота орбиты КА над Землей;

$R_3 = 6371$ км — средний радиус Земли.

Таблица В.1 — Параметры абонентского канала на физическом уровне и соотношения для их численной оценки

Обозначение	Параметр	Размерность	Соотношение или значение
W	Полоса частот канала (рекомендуемые для спутниковой системы)	кГц	62,5; 125; 250; 500
SF	Коэффициент расширения спектра сигнала	разы	5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12
R_b	Битовая скорость в канале	бит/с	$= SF \cdot (W/2^{SF}) \cdot FEC$
R_s	Символьная скорость в канале	символ/с	$= W/2^{SF}$
R_c	Циповая скорость	чип/с	$= R_s \cdot 2^{SF}$
N_s	Число битов в символе	бит	$= SF$
T_s	Длительность символа	с	$= (2^{SF}/W) \cdot CR$
n	Число символов в преамбуле пакета на физическом уровне	символ	6 или 8
SV	Число признаков символа	число	От 0 до $2^{SF} - 1$
CV	Циклический сдвиг символов во времени	с	$= (SV/2^{SF}) \cdot T_s$
dF	Циклический сдвиг символов по частоте	Гц	$W/2^{SF}$
C/N	Отношение мощности сигнал к мощности шума на входе демодулятора	дБ	$= E_b/N_o (R_b/W)$
E_b/N_o	Отношение энергии бита к спектральной плотности мощности шума	дБ	$= C/N(2^{SF}/SF)/FEC$
E_s/N_o	Отношение энергии символа к спектральной плотности мощности шума	дБ	$= E_b/N_o + 10\lg(SF)$
FEC	Коэффициент внутреннего кодирования	разы	$= 4/(4+CR)$
CR	Коэффициент скорости кодирования	число	$= 1, 2, 3, 4$
T_{oA}	Время передачи пакета в узкополосном канале (без учета задержки распространения сигнала в радиополосе)	с	$\approx [8(Q + 13) + (n + 4,25) SF]/R_b$, для $SF \geq 7$, $\approx [8(Q + 13) + (n + 6,25) SF]/R_b$, для $SF \leq 6$
δf	Допустимый дрейф частоты сигнала за время T_{oA} При включении LowDataRateOptimize для $SF = 11$ и $SF = 12$	Гц	$< W/(3 \cdot 2^{SF})$ до $16 \cdot \delta f$
NF	Коэффициент шума приемника (при нормальной температуре среды)	дБ	$= 10\lg(T_{ш}/290 + 1)$
$T_{ш}$	Собственная температура шума приемника	К	$= (ant \lg NF - 1) \cdot 290$
P_b	Вероятность ошибки на бит (рекомендуемая)	—	Не более 10^{-3}
S	Чувствительность приемника	дБм	$S = C/N - 205 + 10\lg W + NF$
Q	Объем пакета приложения (FRMPayload)	байт	До 242

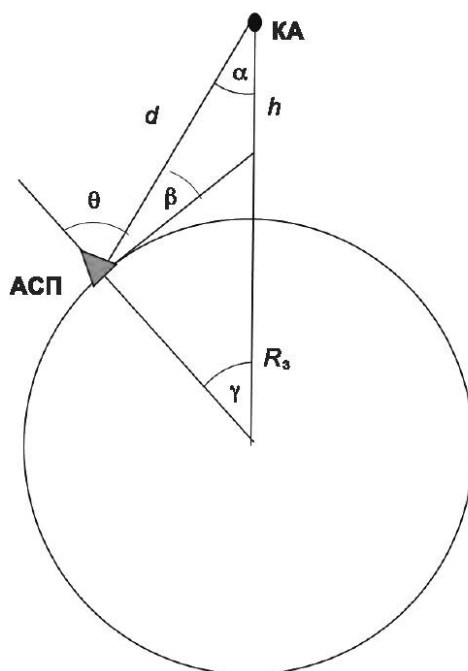


Рисунок В.1 — Взаимное расположение КА и АСП в процессе сеанса связи

КА оборачивается вокруг Земли за время T_o , а максимальное время сеанса связи с АСП $T_{\max}$ составляет:

$$T_{\max} \approx T_o (2\gamma_{\max} / 3600),$$

где $T_o = 84,4 \{[(R_3+h)/R_3]^3\}^{1/2}$ — время оборота КА вокруг Земли, мин;

$\gamma_{\max}$ — максимальный геоцентрический угол для минимальных β_m и α_m .

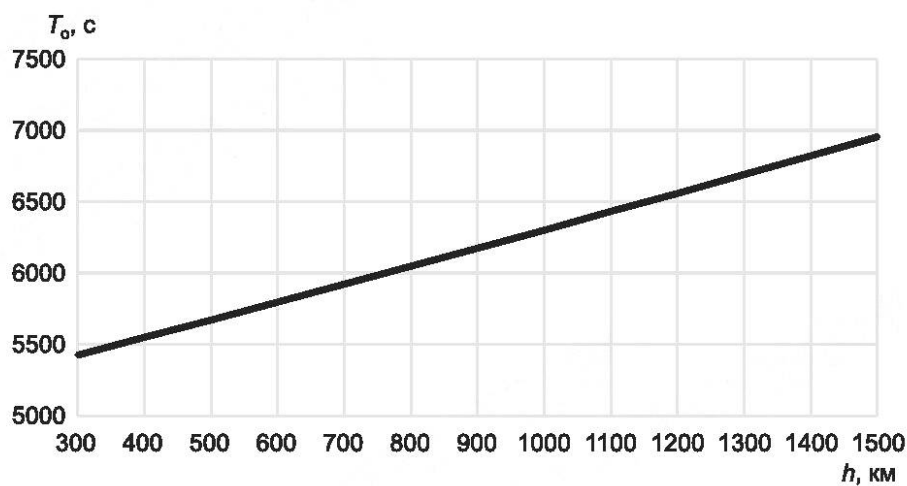


Рисунок В.2 — Время оборота КА вокруг Земли в зависимости от высоты орбиты

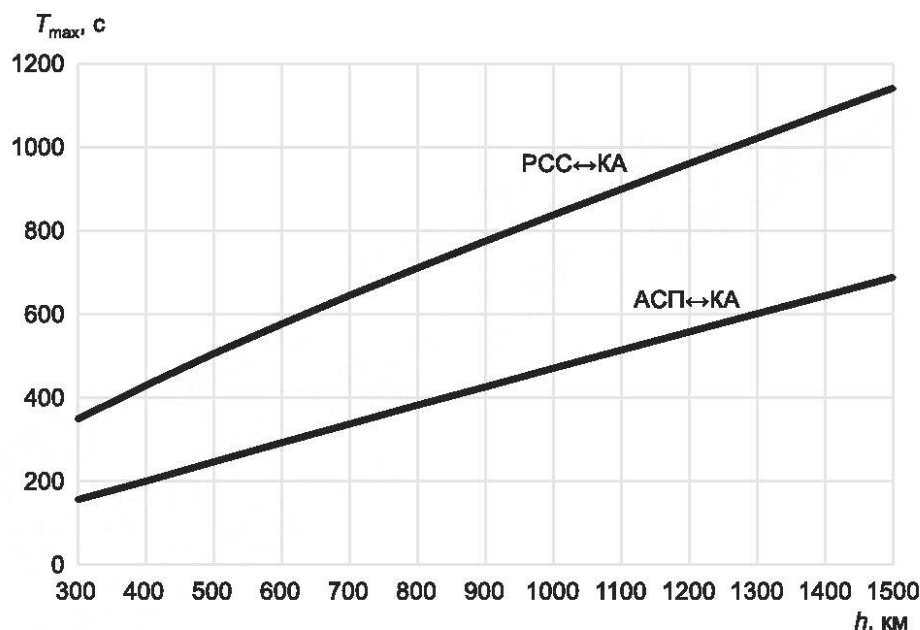


Рисунок В.3 — Максимальное время сеанса связи АСП ↔ КА для угла места 25° и РСС↔КА для угла места 7° в зависимости от высоты орбиты

Время, требуемое для передачи одного пакета объемом Q , составляет T_{oA} . Соответственно, за время сеанса связи T_{max} потенциально может быть передано в одном абонентском канале не более $N_o \leq T_{max}/T_{oA}$ пакетов, если все пакеты имеют равный объем Q . Однако, объем пакетов, генерируемых АСП, разный, зависит от заданного сервиса ИВ и назначения пакета. Причем каждый из АСП может генерировать пакеты с интервалом $T_{int} \gg T_{max}$. Соответственно, обобщенное значение емкости абонентского канала, выраженное в числе одновременно обслуживаемых АСП, однозначно указать невозможно.

Следует учитывать, что количество АСП (N_Σ), зарегистрированных в региональной (национальной) сети ИВ, значительно превышает число пакетов $N_\uparrow$, которое может быть передано за время сеанса связи T_{max} . Если принять, что каждый АСП передает на частоте канала не более одного пакета за время сеанса связи и все пакеты одного объема с одинаковым SF, то число таких АСП составляет $N_\Sigma \gg N_\uparrow$. Но АСП передают пакеты случайным образом по мере необходимости (или наличия события).

Для формализации этого случайного процесса введено понятие цикличности работы (DC) АСП:

$$DC = T_{oA}/T_{int},$$

где T_{oA} — время передачи пакета объемом Q в канале с эквивалентной битовой скоростью R_b ;

T_{int} — интервал времени между передачей пакетов ($T_{int} \gg T_{oA}$).

Значение максимально допустимой цикличности устанавливается в нормативно-правовых материалах национальных администраций связи. Цикличность передачи пакетов DC на линии АСП→КА не должна превышать значения, установленного национальной администрацией связи для сетей LPWAN, которое выражено в %.

Вероятность коллизии пакетов (при $N_\Sigma \gg 1$) в одном абонентском канале:

$$P_c = 1 - (1 - 2DC)^{N_\Sigma},$$

где N_Σ — число АСП в региональной (национальной) сети при условии, что за время T_{int} каждый АСП генерирует не более одного пакета.

Как правило, цикличность передачи пакетов для типовых сервисов ИВ значительно ниже ограничений, установленных национальной администрацией связи. Для оценки емкости одного типового абонентского канала ПН КА можно принять условие, что $T_{int} = T_o$, т.е. за время витка КА вокруг Земли каждое АСП отправит один пакет.

В таблице В.2 в качестве примера приведены значения ряда основных параметров для типового абонентского канала с полосой частот $W = 125$ кГц, а в таблице В.3 приведено предельное N_Σ число АСП, которое может обслужить ПН КА на орбите 750 км в одном абонентском канале 125 кГц с вероятностью коллизии пакетов 5 % в зависимости от установленного значения SF. Реальное число обслуживаемых АСП меньше предельного значения на величину $\xi \ll 1$.

Обычно ПН КА имеет n абонентских каналов в одном луче. При включении на передачу одного из n каналов все $n - 1$ каналы (режим TDD) могут оказаться «засвеченными», поскольку на вход приемника поступает высокий уровень помехи. В результате рекомендуется принимать значение минимальной общей емкости КА, которая составляет $C_{\uparrow} \approx K n N_{\Sigma} \xi$ за один оборот вокруг Земли, где K — число лучей ПН КА.

Т а б л и ц а В.2 — Типовые значения параметров для канала $W = 125$ кГц (пример)

Скорость	Коэффициент расширения спектра SF	$M = 2^{SF}$	Объем пакета (FRMPayload) макс., байт	R_b , бит/с FEC = 4/5	C/N, дБ FEC = 4/5 $P_b = 10^{-4}$	S^* , дБм (NF = 1,5 дБ)	T_{oA}^{**} , мс FEC = 4/5 пакет 51 байт	T_{oA}^{**} , мс FEC = 4/5 пакет 115 байт	T_{oA}^{**} , мс FEC = 4/5 пакет 242 байта
DR0	12	4096	51	293	-21,2	-141,0	2465,8	—	—
DR1	11	2048	51	537	-18,4	-138,0	1314,8	—	—
DR2	10	1024	51	977	-15,6	-135,5	616,4	—	—
DR3	9	512	115	1758	-12,7	-132,5	328,7	616,7	—
DR4	8	256	242	3125	-9,9	-129,0	184,8	347,0	666,1
DR5	7	128	242	5469	-7,1	-127,0	102,7	195,3	379,1
DR12***	6	64	242	9375	-5,0	-123,5	51,2	109,9	214,3
DR13***	5	32	242	15625	-2,5	-121,0	27,0	61,8	130,6
* Данные соответствуют [6].									
** Погрешность оценки значений T_{oA} не более 7 %.									
*** Дополнительные значения скоростей рекомендуются к применению в частотном плане RU864.									

Т а б л и ц а В.3 — Предельное число АСП, которое может обслужить ПН КА на орбите 750 км за один виток в одном абонентском канале 125 кГц при вероятности коллизии пакетов 5 % (пример)

Пакет, байт	Значение коэффициента расширения спектра SF									
	SF = 5	SF = 6	SF = 7	SF = 8	SF = 9	SF = 10	SF = 11	SF = 12		
51	11400	6035	3000	1665	938	500	234	125		
115	4980	2800	1595	887	499	—	—	—		
242	2360	1436	813	462	—	—	—	—		

Минимальная емкость РСС зависит от ее географического расположения, т.е. от числа КА (X), которые могут одновременно работать с РСС в верхней полусфере, нижний угол места которой рекомендуется принять не менее 7° (см. рисунок В.3). Значение минимальной емкости РСС составит $C_p \approx T_m/T_o \times C_{\uparrow}$, где T_m — время сеанса связи РСС с наблюдаемыми КА (см. рисунок В.3).

Приложение Г
(обязательное)

Региональные параметры RU864-870

Г.1 Формат поля «Преамбула»

Структура поля «Преамбула» представлена в таблице Г.1.

Т а б л и ц а Г.1 — Структура поля «Преамбула»

Модуляция	Синхрослово	Размер поля «Преамбула»
ЛЧМ	0×34	8 символов

П р и м е ч а н и е — Один символ равен SF бит.

Г.2 Частотные каналы

Используемые частотные каналы должны соответствовать требованиям регламентирующих документов ГРЧ.

Все доступные частотные каналы могут использоваться оператором связи по его усмотрению. Два канала «по умолчанию» должны быть реализованы в каждом АСП (таблица Г.2). Данные каналы являются обязательными и не могут быть отредактированы MAC-командой *NewChannelReq*. Эти каналы являются минимальным набором для процедуры присоединения АСП к сети.

Т а б л и ц а Г.2 — Каналы «по умолчанию» для присоединения к сети

Номер канала	Модуляция	Частота канала, МГц	Полоса частот, кГц	Скорость	Рабочий цикл (DutyCycle)	ЭИИМ, дБм
1	ЛЧМ	868,9	125	DR0 ... DR5	<10 %	16,1
2	ЛЧМ	869,1	125	DR0 ... DR5	<10 %	16,1

Каналы, потенциально возможные для использования оператором связи по его усмотрению, представлены в таблице Г.3. Выбор конкретных каналов должен соответствовать требованиям, установленным в решениях ГРЧ.

П р и м е ч а н и я

1 АСП должны обеспечивать возможность хранения не менее семи частотных каналов.

2 Под каналом понимается частота и диапазон скоростей, доступных для передачи на данной частоте.

Т а б л и ц а Г.3 — Каналы, используемые оператором связи по его усмотрению

Номер канала	Модуляция	Частота канала, МГц	Полоса частот, кГц	Скорость	Рабочий цикл (DutyCycle)	ЭИИМ, дБм
3	ЛЧМ	864,1	125	DR0 ... DR5	0,1 %	16,1
4	ЛЧМ	864,3	125	DR0 ... DR5	0,1 %	16,1
5	ЛЧМ	864,5	125	DR0 ... DR5	0,1 %	16,1
6	ЛЧМ	864,7	125	DR0 ... DR5	0,1 %	16,1
7	ЛЧМ	864,9	125	DR0 ... DR5	0,1 %	16,1
8	ЛЧМ	866,1	125	DR0 ... DR5	1 %	16,1
9	ЛЧМ	866,3	125	DR0 ... DR5	1 %	16,1
10	ЛЧМ	866,5	125	DR0 ... DR5	1 %	16,1
11	ЛЧМ	866,7	125	DR0 ... DR5	1 %	16,1
12	ЛЧМ	866,9	125	DR0 ... DR5	1 %	16,1
13	ЛЧМ	867,1	125	DR0 ... DR5	1 %	16,1

Окончание таблицы Г.3

Номер канала	Модуляция	Частота канала, МГц	Полоса частот, кГц	Скорость	Рабочий цикл (DutyCycle)	ЭИИМ, дБм
14	ЛЧМ	867,3	125	DR0 ... DR5	1 %	16,1
15	ЛЧМ	867,5	125	DR0 ... DR5	1 %	16,1
16	ЛЧМ	867,7	125	DR0 ... DR5	1 %	16,1
17	ЛЧМ	867,9	125	DR0 ... DR5	1 %	16,1

Г.3 Кодирование скорости канала и ЭИИМ АСП

MAC-команда *LinkADRReq* запрашивает АСП изменить скорость передачи данных (CR и SF), ЭИИМ, количество повторений или частотный канал.

Значение «Сохранить предыдущее значение» используется в MAC-команде *LinkADRReq* при редактировании диапазона допустимых значений SF (скоростей каналов) и ЭИИМ АСП.

Г.4 Частотные каналы, передаваемые в CFList в подтверждении присоединения к сети (JoinAccept)

Поле «Список сетевых параметров» (CFList) (см. рисунок Г.1) передается в сообщении Join-Accept и содержит дополнительный список из пяти частотных каналов длиной 15 байт. За списком частот следует 1 байт поля CFListType, всего 16 байт. CFListType должен быть равен нулю (0), чтобы указать, что поле «Список сетевых параметров» (CFList) содержит список частот.

Каждая частота кодируется как 24-разрядное целое число без знака (3 байта). Все каналы могут использоваться со скоростью от DR0 до DR5 в полосе 125 кГц.

Размер (байт)	3	3	3	3	3
CFList	Freq ch3	Freq ch4	Freq ch5	Freq ch6	Freq ch7

Рисунок Г.1 — Структура поля «Список сетевых параметров» (CFList)

Фактическая частота канала в Гц равна $100 \cdot [\text{Freq chX}]$. Это позволяет установить частоту канала в диапазоне от 137 МГц до 1020 ГГц с шагом 100 Гц.

Неиспользуемые каналы имеют значение частоты, равное 0.

Поле «Список сетевых параметров» (CFList) является необязательным в сообщении «Подтверждение присоединения», и его присутствие может быть выявлено по длине сообщения «Подтверждение присоединения». Если поле «Список сетевых параметров» (CFList) присутствует, то устройство заменяет все предыдущие каналы, хранящиеся в конечном устройстве, кроме двух каналов «по умолчанию». Новые каналы сразу могут быть использованы окончательным устройством.

Г.5 Маска каналов в MAC-команде LinkAdrReq

MAC-команда *LinkAdrReq* запрашивает АСП изменить скорость передачи данных, ЭИИМ, количество повторений или канал. Когда значение ChMaskCntl равно 0, то ChMask индивидуально включает/выключает каждый из 1—16 каналов (см. таблицу Г.4).

Таблица Г.4 — Маска каналов в MAC-команде

ChMaskCntl	Область применения ChMask
0	Каналы от 1 до 16
1	Зарезервировано
...	...
4	Зарезервировано
5	Зарезервировано
6	Все каналы включены. Устройство должно включить все известные каналы, независимо от значения поля ChMask
7	Зарезервировано

Если значение ChMaskCntl соответствует «Зарезервировано», то АСП должно отклонить MAC-MAC-команду и отключить бит «АСК» в ответе.

Г.6 Максимальный размер поля данных (MACPayload)

Максимальный размер пакета (M) приведен в таблице Г.5. Он получен из ограничений физического уровня, в зависимости от эффективной скорости модуляции (SF и CR). Максимальная длина прикладных (целевых) данных (FRMPayload) в отсутствие дополнительного поля управления FOpt (N) предоставляется только для информации.

Примечание — АСП не должно работать в режиме повторителя для ретрансляции информации.

Таблица Г.5 — Максимальный размер пакета (M) и объема целевой информации (N)

DataRate	M	N
0	59	51
1	59	51
2	59	51
3	123	115
4	250	242
5	250	242
6	250	242
7	250	242
От 8 до 15	Не определено	Не определено

Г.7 Окна приема RX1/RX2

В окне приема RX1 должен использоваться тот же частотный канал, который использовался АСП при передаче предыдущего восходящего сообщения.

Скорость передачи данных в окне RX1 зависит от скорости передачи данных по восходящему каналу и значения RX1DROffset, согласно таблице Г.6.

Таблица Г.6 — Скорость передачи данных в окне RX1

Скорость в восходящем канале АСП	Скорость в приемном окне RX1					
	В зависимости от значения RX1DROffset					
	0	1	2	3	4	5
DR0	DR0	DR0	DR0	DR0	DR0	DR0
DR1	DR1	DR0	DR0	DR0	DR0	DR0
DR2	DR2	DR1	DR0	DR0	DR0	DR0
DR3	DR3	DR2	DR1	DR0	DR0	DR0
DR4	DR4	DR3	DR2	DR1	DR0	DR0
DR5	DR5	DR4	DR3	DR2	DR1	DR0

Допустимые значения для RX1DROffset находятся в диапазоне от DR0 до DR5. Значения в диапазоне от DR6 до DR7 зарезервированы для будущего использования.

В приемном окне RX2 используется фиксированная частота и скорость передачи данных. Параметры по умолчанию: 869,1 МГц на скорости DR0 (SF12, 125 кГц).

Г.8 Настройки по умолчанию

Параметры, указанные в таблице Г.7, рекомендуется использовать по умолчанию.

Таблица Г.7 — Настройки по умолчанию

Параметр	Значение
RECEIVE_DELAY1	1 с
RECEIVE_DELAY2	RECEIVE_DELAY1 + 1 с
JOIN_ACCEPT_DELAY1	5 с
JOIN_ACCEPT_DELAY2	6 с
MAX_FCNT_GAP	16384
ADR_ACK_LIMIT	64
ADR_ACK_DELAY	32
ACK_TIMEOUT	1...3 с (случайное значение в интервале)

Примечание — Помехоустойчивое кодирование по умолчанию CR = 1 (соответствует FEC = 4/5).

Если фактические значения параметров, реализованные в АСП, отличаются от значений по умолчанию (например, АСП использует более короткую задержку RECEIVE_DELAY1 и RECEIVE_DELAY2), то эти параметры должны быть переданы сетевому серверу во время ввода в эксплуатацию АСП.

Маяк класса В и нисходящий канал по умолчанию:

скорость передачи данных маяка — DR3;

частота вещания маяка — 869,1 МГц;

частота эхо-слота нисходящего канала класса В по умолчанию составляет 868,9 МГц.

Примечание — Сетевой сервер может не принимать значения параметров, отличных от указанных по умолчанию, в этом случае требуется дополнительная его настройка.

Библиография

- [1] ИСО/МЭК 20924:2021 Информационные технологии. Интернет вещей. Словарь
- [2] Регламент радиосвязи Международного союза электросвязи, издание 2020 г.
- [3] ITU-T Y.4480 (11/2021) Протокол с низким энергопотреблением для глобальных беспроводных сетей
- [4] ETSI TR 103 526 VI. 1.1.1 (2018-04) Справочный документ. Технические характеристики глобальных сетей малой мощности с расширенным спектром частотной модуляции (LPWAN-CSS), работающих в диапазоне УВЧ ниже 1 ГГц
- [5] ITU-R P.531-14 (08/2019) Данные ионосферного распространения и методы прогнозирования, необходимые для проектирования спутниковых сетей и систем
- [6] Спецификация SX1303 Rev 1.2 DS.SX1303.W.APP. Октябрь 2020

УДК 004.738:006.354

ОКС 35.020
35.110

Ключевые слова: информационные технологии, интернет вещей, LPWAN

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 17.06.2024. Подписано в печать 27.06.2024. Формат 60×84 $\frac{1}{8}$. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 7,44. Уч.-изд. л. 6,70.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru

