

УТВЕРЖДАЮ
Главный конструктор
направления
АО «Российские космические
системы»

 А.Н. Ершов

«___» _____ 2021 г.

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный конструктор
АО «НПК БАРЛ»

_____ В.В. Лабутин

«___» _____ 2021 г.

УТВЕРЖДАЮ
Главный конструктор
космических систем и
комплексов
АО «Корпорация «ВНИИЭМ»

_____ А.Н. Запорожцев

«___» _____ 2021 г.

ПРОТОКОЛ № 7801/

информационного взаимодействия между малым космическим аппаратом и наземным пунктом
приема через бортовую аппаратуру высокоскоростной радиолинии


(РЛЦИ-В – НПП)

Версия 1

От АО «Российские
космические системы»

_____ А.С. Тусов

 В.В. Березкин

 А.В. Петров

От АО «НПК БАРЛ»:

От АО «Корпорация
«ВНИИЭМ»:

2021 г.

Содержание

1. Общие положения.....	3
2. Описание передачи информации РЛЦИ-В	4
2.1 Общая схема.....	4
2.2 Основные сведения РЛЦИ-В	4
2.3 Основные сведения о наземном специальном комплексе.....	7
2.4 Структура радиосигнала РЛЦИ-В	7
2.4.1 Общие сведения.....	7
2.4.2 Структура транспортного кадра.....	8
2.4.3 Помехоустойчивое кодирование.....	9
2.4.4 Скремблирование	10
2.4.5 Обеспечение синхронизации.....	11
2.4.6 Модуляция.....	13
3. Функционирование.....	14
3.1 Порядок работы	14
3.2 Возможные ошибки и нештатные ситуации.....	15
Список использованных сокращений.....	17

1. Общие положения

1.1 Основанием для разработки настоящего протокола информационного взаимодействия между малым космическим аппаратом (МКА) и наземным пунктом приема (НПП) через систему высокоскоростной передачи данных (РЛЦИ-В) является Техническое задание ТАИК.370054.005ТЗ на составную часть (СЧ) опытно-конструкторской работы «Р***–МК–РЛ».

1.2 Настоящий протокол описывает порядок формирования радиосигнала, последовательность работы во время сеанса связи, возможные ошибки и нештатные ситуации РЛЦИ-В.

1.3 Настоящий протокол описывает:

- структуру транспортного кадра;
- правила кадрирования;
- вид помехоустойчивого кодирования;
- способ рандомизации;
- обеспечение синхронизации;
- виды модуляции.

1.4 Настоящий протокол может дополняться и уточняться по согласованию сторон.

2. Описание передачи информации РЛЦИ-В

2.1 Общая схема

2.1.1 РЛЦИ-В является высокоскоростной радиолинией передачи данных целевой аппаратуры (ЦА) МКА. Схема работы системы приведена на рисунке 1.

2.1.2 РЛЦИ-В выполняет следующие функции:

- получение целевой информации (ЦИ) от БШРР;
- формирование транспортных информационных блоков – кадров;
- помехоустойчивое кодирование;
- формирование и излучение радиосигнала через АФУ.

2.1.3 Наземный пункт приема информации (составная часть НПП) обеспечивает прием радиосигнала, выделение целевой информации, ее декодирование и передачу в аппаратуру обработки и хранения.

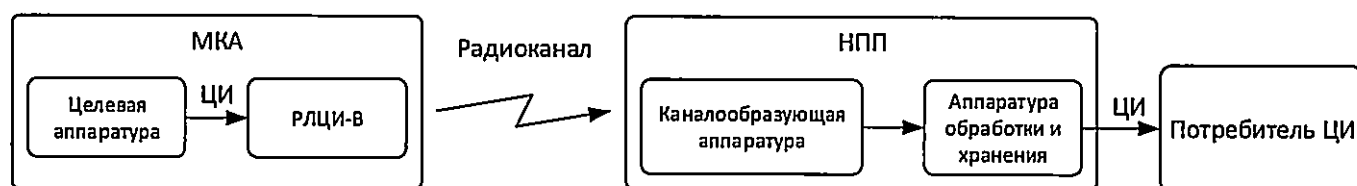


Рисунок 1 – Схема работы при передаче информации РЛЦИ-В

2.2 Основные сведения РЛЦИ-В

2.2.1 В состав РЛЦИ-В входят следующие блоки:

- формирователь информационных потоков (ФИП);
- блок автоматики (БА)
- конвертор;
- блок модулятора (БМ);
- ферритовый волноводный переключатель (ФВП);
- антенно-фидерное устройство (АФУ-Х) (входит в состав РЛЦИ-В функционально).

2.2.2 Структурная схема РЛЦИ-В, описывающая логику ее функционирования с точки зрения передачи ЦИ приведена на рисунке 2.

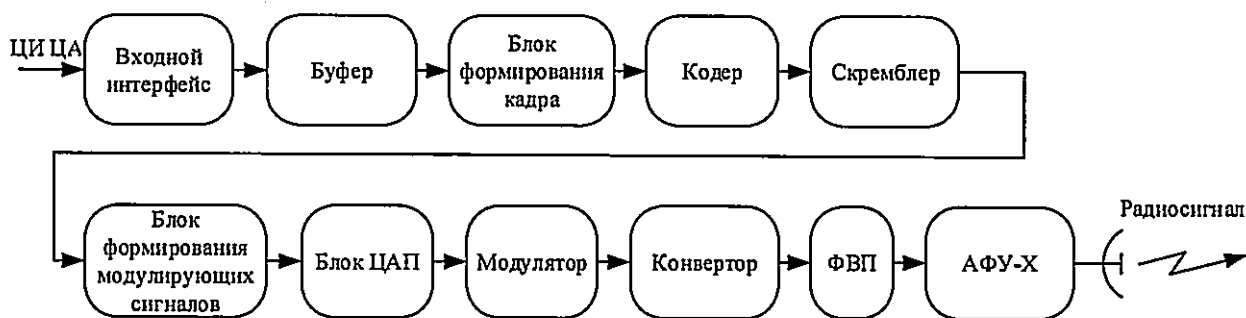


Рисунок 2 – Функциональная схема РЛЦИ-В

2.2.3 Элементами функциональной схемы являются:

- входной интерфейс, предназначен для обеспечения взаимодействия РЛЦИ-В с ЦА, единица информации на входе – информационный пакет, единица информации на выходе – информационный пакет;

- буфер, предназначен для временного хранения ЦИ перед формированием транспортных кадров и согласования скорости поступления ЦИ от БШРР со скоростями последующих операций, единица информации на выходе – информационный пакет;

- блок формирования кадра, предназначен для формирования из пакетов ЦИ транспортных кадров, единица информации на выходе – транспортный кадр;

- кодер, предназначен для помехоустойчивого кодирования транспортных кадров, единица информации на выходе – кодовое слово;

- скремблер, предназначен для обеспечения необходимого числа переходов между символами за счет сложения кодового слова с ПСП установленного вида, единица информации на выходе – рандомизированное кодовое слово;

– блок формирования модулирующих сигналов, предназначен для формирования синфазной и квадратурной составляющей, а также спектра модулирующего сигнала;

– блок ЦАП предназначен для преобразования цифрового модулирующего сигнала в аналоговый, а также фильтрации комбинационных составляющих;

– модулятор, предназначен для модуляции промежуточной частоты;

– конвертор, предназначен для переноса радиосигнала с промежуточной частоты на несущую и для его усиления до заданного уровня мощности;

– ФВП, предназначен для направления мощного радиосигнала с основного или резервного комплекта конвертора на вход АФУ-Х;

– АФУ-Х, предназначено для излучения радиосигнала с заданными характеристиками в направлении НПП.

2.2.4 Основные технические характеристики РЛЦИ-В приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики РЛЦИ-В

Наименование параметра	Значение*)
Вид модуляции	M1, M2, M3, M4
Количество радиоканалов	1
Несущая частота, МГц	F ₀
Информационная скорость передачи в радиоканале не менее	V1, V2
Символьная скорость передачи данных в радиоканале должна быть постоянной и составлять (Частота манипуляции)	VS-22 (FM-22)
Номинальная мощность на выходе ПРД	P
Относительная нестабильность несущей частоты передачи, не более	N
Фазовые шумы при отстройке от несущей на ± 10 кГц, не более, дБ/Гц	минус 90
Вероятность ошибки передачи на 1 бит информации (P _{ош}) при передаче цифровой информации, при обеспечении необходимого энергетического потенциала радиолинии, не хуже	E _b
Помехоустойчивое кодирование	LDPC (R=7/8)
Управление по интерфейсу	МКО
*) значения – см. таблицу кодирования ИВЯФ.463115.131Д5	

2.2.5 РЛЦИ-В может работать в следующих режимах:

- дежурный режим - осуществляется прогрев генератора, прием команд управления, установка антенны по полученным из БАУ МКА ИД в «0° зону»;
- режим передачи – передача ЦИ от БШРР с вставкой (при необходимости) пустых пакетов в транспортный поток для согласования скоростей, управление приводом АФУ-Х по полученным из БАУ МКА ИД;
- режим тест передачи – передача внутренней тестовой информации, имитирующей целевую аппаратуру, управление приводом АФУ-Х по полученным из БАУ МКА ИД.

2.3 Основные сведения о наземном специальном комплексе

2.3.1 В соответствии с требованиями ТЗ РЛЦИ-В должна обеспечивать передачу информации на наземные пункты приема с добротностью от 29 до 30 дБ/К со скоростью передачи данных в радиоканале V1 и от 24 до 24,5 дБ/К со скоростью передачи данных в радиоканале V2 в диапазоне углов наклона над горизонтом направления на МКА от 5° до 90° с вероятностью передачи на 1 бит информации, не хуже Eb.

2.3.2 Для формирования радиосигнала должны использоваться следующие виды модуляции: M1, M2, M3, M4.

2.4 Структура радиосигнала РЛЦИ-В

2.4.1 Общие сведения

2.4.1.1 ЦИ, поступающая на вход РЛЦИ-В, представляет собой совокупность информационных пакетов, подготовленных БШРР для передачи через РЛЦИ-В.

2.4.1.2 Структура информационных пакетов п. 2.4.1.1 определяется протоколом информационно-логического сопряжения блока ШРР и радиолинии целевой информации (РЛЦИ-В) МКА (ПРОТОКОЛ электрофизического и

информационно-логического сопряжения БСК (МРОД)-БШРР-МППИ (Ку, Х, Ик) по высокоскоростному интерфейсу (LVDS) передачи данных).

2.4.1.3 Структура радиосигнала описывается процедурами, выполняемыми в РЛЦИ-В.

2.4.1.4 Восстановление ЦИ из радиосигнала в НПП выполняется с использованием обратных процедур.

2.4.2 Структура транспортного кадра

2.4.2.1 РЛЦИ-В формирует из информационных пакетов БШРР транспортные кадры. Транспортный кадр информационного потока состоит из синхромаркера, заголовка и информационной части.

2.4.2.2 Длина транспортного кадра РЛЦИ-В составляет 1440 байт.

2.4.2.3 Транспортный кадр состоит из следующих полей:

- Синхромаркер;
- Заголовок;
- Поле данных.

Структура транспортного кадра приведена на рисунке 3

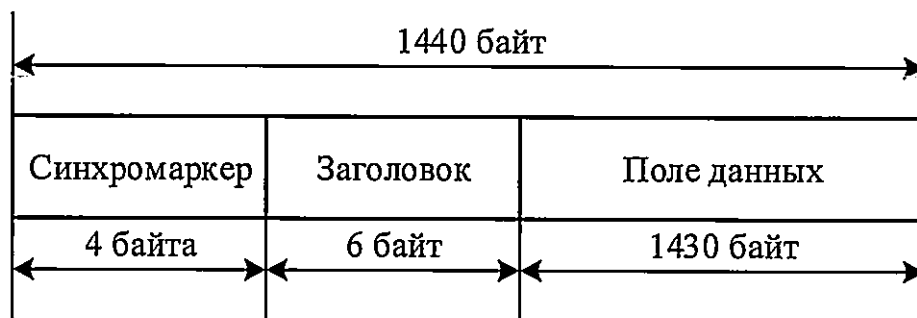


Рисунок 3 – Структура транспортного кадра

Значение синхромаркера: «1ACFFC1D».

2.4.2.4 Заголовок транспортного кадра состоит из следующих полей:

- номер объекта;
- тип объекта;
- идентификатор данных;
- номер кадра;
- Резерв.

Структура заголовка транспортного кадра приведена на рисунке 4

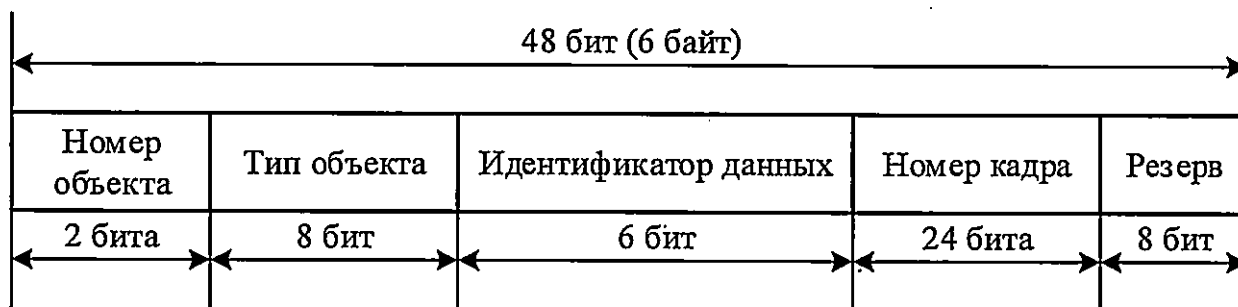


Рисунок 4 – Структура заголовка транспортного кадра

2.4.2.5 Значения полей транспортного кадра:

- номер объекта: «01» (Ревизия файла);
- тип объекта: «11000001»;
- идентификатор данных: «010101» – данные ЦИ, «111111» – данные имитатора.

– Номер кадра датчика содержит номер передаваемого блока 1430 байт, старшие разряды следуют первыми. Нумерация кадров ЦА и имитатора - независимая. Первый кадр в сеансе для каждого источника – № 00...0. При отсутствии данных в канал вставляется информация от имитатора.

2.4.2.6 Поле данных – данные поступающие от БШРР. Скорость их поступления не должна превышать пропускной способности радиоканала, в противном случае часть информации будет потеряна. В случае их равенства данные будут передаваться без пауз. При более низкой скорости входного потока для поддержания заданной информативности радиолинии в выходной поток будут вставляться кадры с информацией от внутреннего имитатора.

2.4.3 Помехоустойчивое кодирование

2.4.3.1 Транспортные кадры подвергаются помехоустойчивому кодированию кодом с малой плотностью проверок на чётность (LDPC) с кодовой скоростью $R = 7/8$. Схема работы кодера соответствует приведенной в п.7.3 раздела 7 стандарта синхронизации и канального кодирования телеметрической информации CCSDS (стандарт CCSDS 131.0-B-2).

2.4.3.2 Входная байтовая последовательность длиной 7136 бит (892 байта) преобразуется в кодовое слово длиной 8160 бит (1020 байт) с помощью добавления к входной последовательности 1024 проверочных бит (128 байт).

2.4.4 Скремблирование

2.4.4.1 Так как применение помехоустойчивого кодирования не гарантирует формирование шумоподобного спектра передаваемого сигнала, то с этой целью вводится его скремблирование псевдослучайной последовательностью (ПСП). Функциональная схема генератора соответствует разделу 9 стандарта синхронизации и канального кодирования телеметрической информации CCSDS (стандарт CCSDS 131.0-B-2) и приведена на рисунке 5.

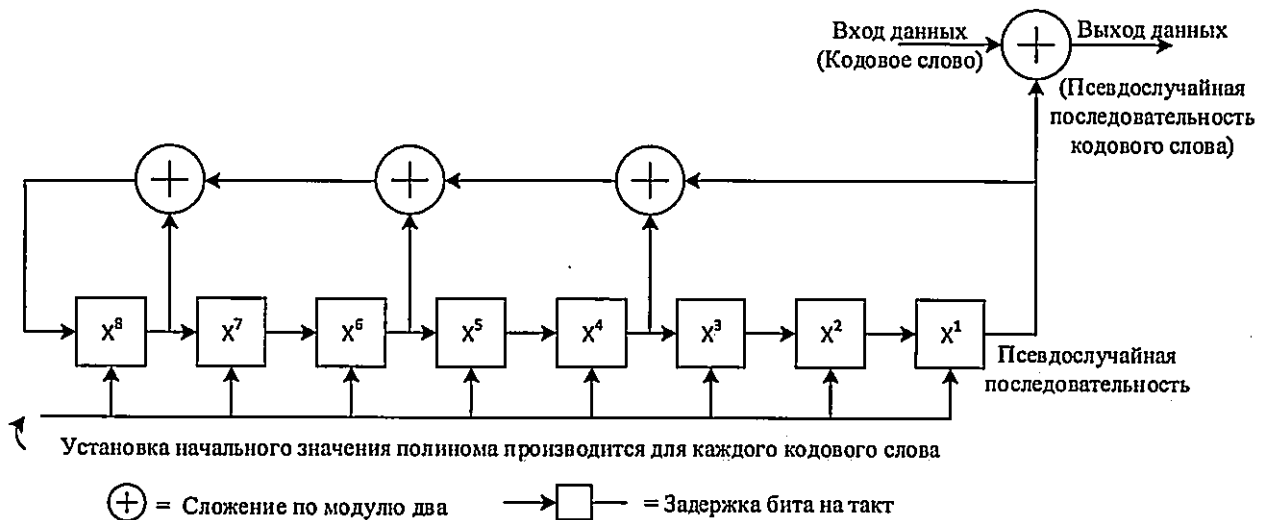


Рисунок 5 – Функциональная схема генератора ПСП

Генератор ПСП показанный на рисунке 5 соответствует полином:

$$h(x) = x^8 + x^7 + x^5 + x^3 + 1$$

2.4.5 Обеспечение синхронизации

а) Для обеспечения захвата информационного кадра на приемной стороне, перед каждым кодовым словом производится вставка синхрослова:

– для модуляций M1 и M3 синхрокомбинация представляет собой 32 битную (4 байта) последовательность, рекомендованную стандартом синхронизации и канального кодирования телеметрической информации CCSDS (стандарт CCSDS 131.0-B-2) для LDPC кодов со скоростью кодирования 7/8: 1ACFFC1D = 0001 1010 1100 1111 1111 1100 0001 1101;

– для модуляций M2 и M4 синхрокомбинация представляет собой 30 битную укороченную на 2 младших бита последовательность, рекомендованную стандартом синхронизации и канального кодирования телеметрической информации CCSDS (стандарт CCSDS 131.0-B-2) для LDPC кодов со скоростью кодирования 7/8: 0001 1010 1100 1111 1111 1100 0001 11.

✓ б) Синхрослово (32 бита) выровнено по началу символа (передача синхрослова начинается со старшего бита старшего разряда символа модуляционной плоскости). Биты кодового слова (8160 бит) передаются следом за синхрословом без разрывов начиная с первых по времени бит. Схема формирования символьной последовательности для модуляций M1 и M3 приведена на рисунке 9.

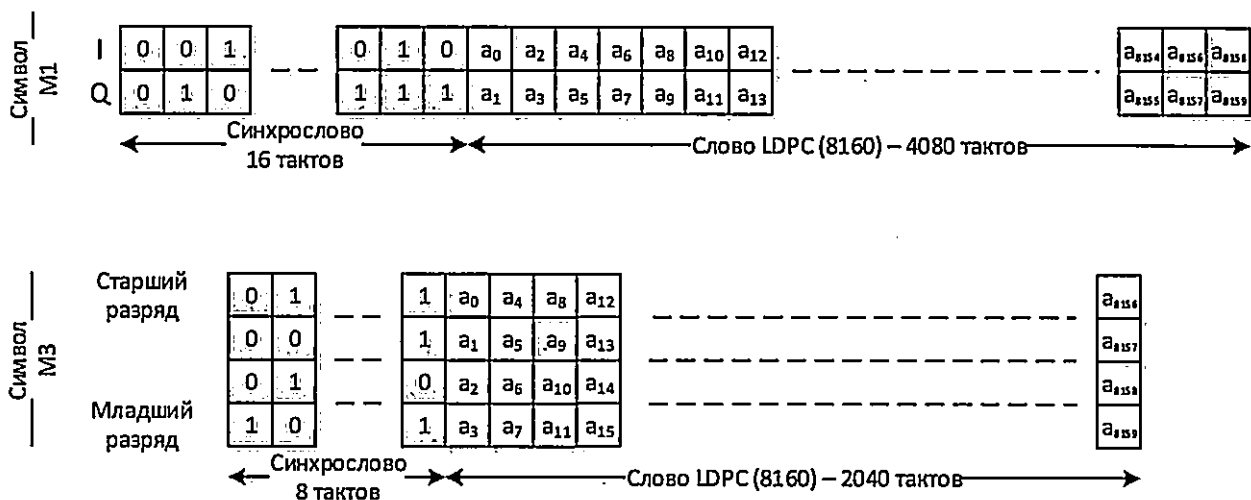


Рисунок 9 – Схема формирования символьной последовательности для модуляций M1 и M3

✓ в) Синхрослово (30 бит) выровнено по началу символа (передача синхрослова начинается со старшего бита старшего разряда символа модуляционной плоскости). Биты кодового слова (8160 бит) передаются следом за синхрословом без разрывов начиная с первых по времени бит. Схема формирования символьной последовательности для модуляций M2 и M4 приведена на рисунке 10

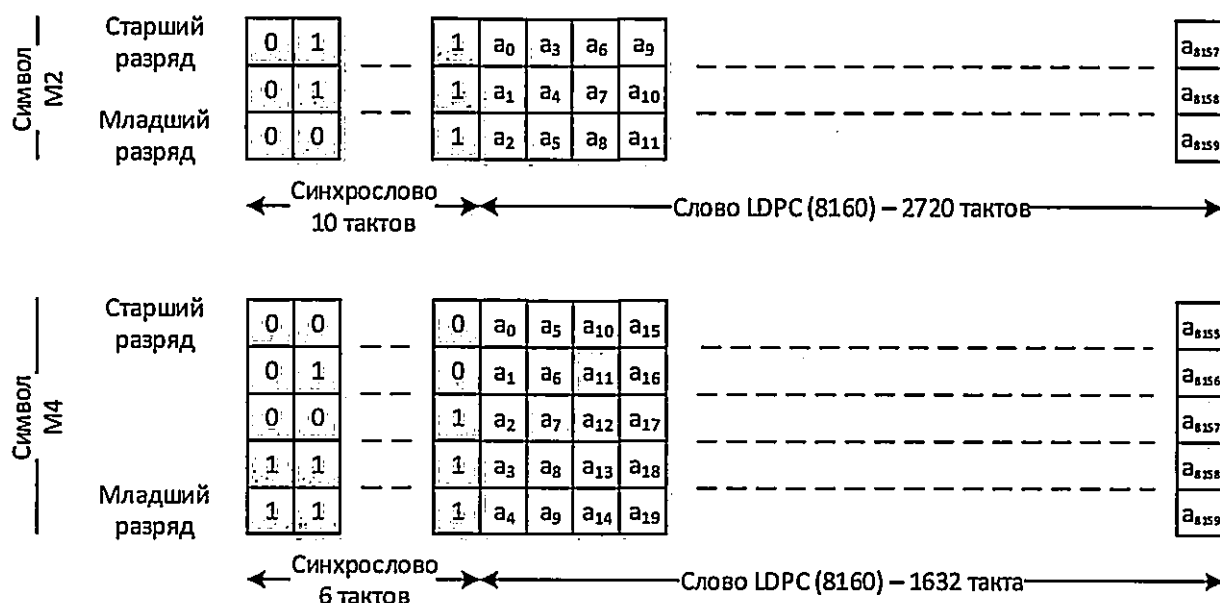


Рисунок 10 – Схема формирования символьной последовательности для модуляций M2 и M4

г) Нумерация точек модуляционной плоскости для всех видов модуляции выбирается в соответствии со стандартом DVB-S2. Значение соотношения радиусов модуляционной плоскости M3 и M4 приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения соотношений радиусов модуляционной плоскости

Модуляция	γ_1	γ_2
M3	2,65	—
M4	2,60	4,70

2.4.6 Модуляция

В РЛЦИ-В предусмотрено четыре варианта работы в режиме передачи и тестовом режиме:

- вариант 1: РЛЦИ-В использует модуляцию М1;
- вариант 2: РЛЦИ-В использует модуляцию М2;
- вариант 3: РЛЦИ-В использует модуляцию М3;
- вариант 4: РЛЦИ-В использует модуляцию М4.

Примечание: символьная скорость во всех вариантах работы составляет (VS-22) Мбод.

Скорость передачи по радиолинии ЦИ, поступающей на вход РЛЦИ-В, равна:

$$(VS-22) \times N_M \times (7136 / (8160 + CC_M)) \times (1430 / 1440) \text{ Мбит/с,} \quad \checkmark$$

где

N_M – число бит на символ при выбранном варианте модуляции;

CC_M – длина синхрослова (32 или 30 бит) при выбранном варианте модуляции.

3. Функционирование

3.1 Порядок работы

3.1.1 РЛЦИ-В включается в дежурный режим подачей электропитания на блок автоматики (БА) и соответствующей команды на него по интерфейсу МКО из БАУ МКА. При этом включается на прогрев задающий генератор в конверторе.

3.1.2 Переход в сеансный режим осуществляется подачей по интерфейсу МКО на БА команд выбора конфигурации системы, модуляции, режима работы и включения УМ. При этом по умолчанию, в отсутствии команд управления, РЛЦИ-В переходит в режим передачи ЦИ с модуляцией М4 и выставляет признак готовности принять данные от ЦА.

3.1.3 Сигнал теста (синхронизации) представляет собой непрерывную последовательность, состоящую из синхрослова и слова LDPC (см. п.2.4). Внутри слова LDPC передается часть транспортного кадра. Для передачи одного транспортного кадра необходимо два слова LDPC. В заголовке транспортного кадра указывается идентификатор типа данных в соответствии с п.2.4.

3.1.4 После перехода в сеансный режим РЛЦИ-В выставляет признак готовности принять данные от ЦА. В случае отсутствия ЦИ в линию передается сигнал теста (синхронизации) до появления данных ЦИ или до приема команд управления на смену режима работы РЛЦИ-В.

3.1.5 Непосредственно после излучения тестового сигнала (синхросигнала) должно быть начато излучение кадров, содержащих ЦИ БШРР. Передача кадров с ЦИ начинается сразу после окончания передачи тестового.

3.1.6 Завершение сеанса связи производится следующими способами:

– снятием напряжения питания РЛЦИ-В, при этом все информационные блоки, содержащиеся в буферах, будут потеряны;

– автоматическим переходом РЛЦИ-В в дежурный режим по истечении установленного времени после перехода в сеансный режим в соответствии с протоколом электрофизического сопряжения РЛЦИ-В и аппаратуры электроснабжения МКА по интерфейсу первичного электропитания (ПРОТОКОЛ №1 РЛЦИ-В/МКА-2019), при этом все информационные блоки, содержащиеся в буферах, будут потеряны.

3.2 Возможные ошибки и нештатные ситуации

3.2.1 Ошибки и нештатные ситуации при работе системы передачи информации по месту возникновения делятся на ошибки на борту и ошибки на Земле.

3.2.2 Можно выделить следующие виды ошибок и нештатных ситуаций на борту:

– ошибки ЦИ БШРР, которые выражаются в передаче на РЛЦИ-В пакетов ЦИ, содержащих ошибки;

– сбой в работе БШРР (РЛЦИ-В), который привел к необходимости перезагрузки БШРР (РЛЦИ-В) или смене комплектов основной–резервный.

– повторная команда от БАУ МКА на смену режима работы РЛЦИ-В после начала передачи ЦИ, при этом все информационные блоки, содержащиеся в буферах, будут потеряны (нштатная ситуация).

3.2.3 Пакеты ЦИ с ошибками, формируемые БШРР, транслируются в НПП без каких-либо изменений и должны быть детектированы при обработке.

3.2.4 Сбой в работе БШРР (РЛЦИ-В), который привел к необходимости перезагрузки БШРР (РЛЦИ-В) или смене комплектов основной–резервный, приведет к необходимости повторного начала работы РЛЦИ-В, включая повторный захват сигнала на НПП. Также будут иметь место потери ЦИ, находящейся в буферах РЛЦИ-В и не переданных на НПП.

3.2.5 Можно выделить следующие виды ошибок и нештатных ситуаций на Земле:

- ошибки в принятых кодовых словах, превышающие исправляющую способность помехоустойчивого кодирования;
- потеря кадровой синхронизации;
- потеря синхронизации НПП с принимаемым сигналом по символьной или несущей частотам;
- сбой в работе НПП, который привел к необходимости перезагрузки СЧ НПП или смене комплектов основной-резервный.

3.2.6 При невозможности исправления ошибок в принятом кодовом слове соответствующий транспортный кадр восстановлен не будет, что приведет к потере одного или нескольких информационных пакетов и срыву пакетной синхронизации. Пакетная синхронизация должна быть восстановлена по первому принятому транспортному кадру, содержащему окончание информационного пакета.

3.2.7 Потеря синхронизации по кодовому слову приведет к пропуску одного или нескольких транспортных кадров, что приведет к потере одного или нескольких пакетов. Синхронизация по кодовому слову восстанавливается на основе поиска синхромаркеров (синхрослов) кодового слова.

3.2.8 Потеря синхронизации НПП с принимаемым информационным радиосигналом по символьной или несущей частотам приведет к невозможности получения ЦИ с борта МКА до ее восстановления.

Список использованных сокращений

БАУ	– бортовая аппаратура управления
БШРР	– блок кодовой защиты информации
БУ	– блок управления
ВРЛ	– высокоскоростная радиолиния
ИД	– исходные данные
НПП	– наземный пункт приема
СМ	– синхромаркер
СЧ	– составная часть
ЦА	– целевая аппаратура
ЦИ	– целевая информация
МКА	– малый космический аппарат