

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.1798-2
(02/2021)

**Эксплуатационные характеристики ВЧ
радиооборудования для обмена
цифровыми данными и электронной
почтой в морской подвижной службе**

Серия М

**Подвижные службы, служба радиоопределения,
любительская служба и относящиеся к ним
спутниковые службы**



Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2021 г.

© ITU 2021

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.1798-2

Эксплуатационные характеристики ВЧ радиооборудования для обмена цифровыми данными и электронной почтой в морской подвижной службе

(2007-2010-2021)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации описываются СЧ/ВЧ системы радиосвязи и протоколы ВЧ-передачи данных, используемые в настоящее время в морской подвижной службе (МПС) для обмена данными и электронной почтой на частотах, указанных в Приложении 17 РР, и на частотах, не указанных в Приложении 17 РР, имеющие функциональные возможности, аналогичные возможностям узкополосного буквопечатающего оборудования (NBDP), и многие другие возможности.

Также описывается метод обеспечения полностью прозрачного взаимодействия с пользователем.

Ключевые слова

ВЧ, морская подвижная служба, обмен данными, электронная почта

Сокращения/гlossарий

Access provider	Company which proposes a connection to IPBC radio network to customer	Поставщик доступа	Компания, предоставляющая пользователю присоединение к радиосети IPBC
ACK	Acknowledge receipt	АСК	Подтверждение приема
ARQ	Automatic repeat request		Автоматический запрос повторений
AWGN	Additive white gaussian noise		Аддитивный белый гауссов шум
CF	Crest factor		Коэффициент амплитуды
CL	Constant length		Постоянная длина
CM	Communication manager		Диспетчер связи
CR	Code rate		Скорость кодирования
CRC	Cyclic redundancy check		Циклическая проверка по избыточности
CRSs	Coastal radio stations		Береговые радиостанции
CS	Control signals		Сигналы управления
CW	Continuous wave		Непрерывный сигнал
DBPSK	Differential binary phase shift keying		Дифференциальная двоичная фазовая манипуляция
DPSK	Differential phase shift keying		Дифференциальная фазовая манипуляция
DQPSK	Differential quadrature phase shift keying		Дифференциальная квадратурная фазовая манипуляция
DSP	Digital signal processing		Цифровая обработка сигналов
FEC	Forward error correction		Упреждающая коррекция ошибок
FFT	Fast Fourier transform	БПФ	Быстрое преобразование Фурье
FSK	Frequency shift keying		Частотная манипуляция

GLN	Global link network		Сеть Global link
GMDSS	Global Maritime Distress and Safety System	ГМССБ	Глобальная морская система связи при бедствии и для обеспечения безопасности
GPS	Global Positioning System		Глобальная система определения местоположения
IFFT	Inverse fast Fourier transform	ОБПФ	Обратное быстрое преобразование Фурье
IMO	International Maritime Organization	ИМО	Международная морская организация
IP	Internet protocol		Протокол Интернет
IPBC	Internet protocol for boat communications		Протокол Интернет для судовой связи
IPBC radio network	Radio network achieved by whole of the radio cells dedicated for IPBC traffic	Радиосеть IPBC	Радиосеть, которая включает все радиосоты, предназначенные для передачи трафика IPBC
IRS	Information-receiving station		Станция, принимающая информацию
ISS	Information-sending station		Станция, передающая информацию
LEN:	Length		Длина
Maritime HF band	HF frequency range (4-30 MHz) which is divided in HF sub-band dedicated for maritime traffic		Диапазон ВЧ морской службы Диапазон ВЧ (4–30 МГц), в который входит ВЧ-поддиапазон, предназначенный для морского судоходства
MMS	Maritime mobile service		Морская подвижная служба
Mobile station	Set of ship equipment designed to communicate into a radio cell		Подвижная станция Комплект судового оборудования для связи внутри радиосоты
NAK	Not acknowledged		Отсутствие подтверждения
NAVAREA	Navigational area		Зона судоходства
NAVTEX	Navigational Telex (the system name)		Navigational Telex (название системы)
NCC	Network control centre		Сетевой центр управления
NBDP	Narrow-band direct printing		Узкополосная буквопечатающая телеграфия
OFDM	Orthogonal frequency division multiplexing		Ортогональное мультиплексирование с разделением по частоте
OSI	Open systems interconnection	ВОС	Взаимосвязь открытых систем
PEP	Peak envelope power		Пиковая мощность сгибающей

PIB	Pactor IP-Bridge		IP-мост Pactor
PMC	Pseudo-Markov compression		Псевдо-Марковская компрессия
PTP	Point to point		Связь пункта с пунктом
QAM	Quadrature amplitude modulation		Квадратурная амплитудная модуляция
QoS	Quality of service		Качество обслуживания
Radio cell	Radio electric coverage area for a transmitter of a coast station, and for a radio transmission channel in an HF maritime sub-band	Радиосота	Зона радиоэлектрического покрытия передатчика береговой станции и канала радиопередачи в ВЧ-поддиапазоне морской связи
Radio transmission channel	Physical support which allows data transport; this support is characterized by a central frequency in a maritime HF sub-band and a bandwidth of 10-20 kHz	Канал радио-передачи	Физические средства передачи данных; характеризуются центральной частотой в ВЧ-поддиапазоне морской связи и шириной полосы 10–20 кГц
RF	Radio frequency		Радиочастота
RMS	Root mean square		Среднеквадратичное значение
RS	Reed-Solomon		Рида – Соломона
RTT	Round-trip time		Время прохождения сигнала в обоих направлениях
SES	Ship earth station		Судовая земная станция
SLs	Speed levels		Уровни скорости

Соответствующие рекомендации и отчеты МСЭ-R

- Recommendation [ITU-R F.1487](#) – Testing of HF modems with bandwidths of up to about 12 kHz using ionospheric channel simulators
- Рекомендация МСЭ-R М.476 – Буквопечатающее телеграфное оборудование в морской подвижной службе
- Рекомендация МСЭ-R М.625 – Буквопечатающее телеграфное оборудование с автоматическим опознаванием в морской подвижной службе

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что использование радиостанций с программируемыми параметрами в будущем даст технические и экономические преимущества, а также позволит повысить эффективность использования спектра и что появится возможность вводить такие радиостанции в эксплуатацию без дальнейших регламентарных изменений;
- b) что служба высокоскоростной передачи данных посредством ВЧ-радиосвязи может быть полезной для передачи низкоуровневой графики и для обновления данных в системе визуализации электронных карт и информации;
- c) что службы ВЧ-передачи данных повысят эффективность работы и безопасность на море;
- d) что внедрение новой цифровой технологии в морской подвижной службе (МПС) не должно нарушать работу систем связи при бедствии и для обеспечения безопасности в полосах частот СЧ и ВЧ, включая системы, созданные Международной конвенцией по охране человеческой жизни на море 1974 года, с внесенными дополнениями;

- e) что сохраняется ограниченное использование узкополосной буквопечатающей телеграфии (NBDP) для связи при бедствии в полярных регионах (А4), поскольку ни одна зона обслуживания геостационарных спутниковых сетей не предоставляет услуг для морской связи;
- f) что для служб ВЧ-передачи данных могут требоваться полосы частот шириной более 3 кГц;
- g) что морские системы ВЧ-передачи данных, обеспечивающие автоматическое соединение с поставщиками услуг интернет, повысят эффективность обработки трафика;
- h) что ВЧ-системы имеют возможность обеспечить более широкий охват в арктической зоне навигации (NAVAREA), чем сигналы расширенного группового вызова Инмарсат или НАВТЕКС на частоте 518 кГц;
- i) что необходимо обеспечивать непрерывную цифровую связь между судами;
- j) продолжающееся расширение служб ВЧ-передачи данных в цифровой морской радиосвязи будет обуславливать растущий спрос на частоты морской подвижной службы, указанные в Приложении 17 Регламента радиосвязи (РР);
- k) что в целях содействия технологическому развитию для передачи сообщений электронной почты могут применяться многочисленные стандарты, что способствует развитию конкуренции, с тем чтобы пользователи могли использовать преимущества новейших технологий, в то же время отмечается необходимость обеспечения взаимодействия различных сетей, в частности для целей связи при бедствии и для обеспечения безопасности, и распространения информации о безопасности на море,

признавая,

- a) что существует необходимость определить технические характеристики систем и оборудования ВЧ-радиосвязи для ВЧ-обмена данными и электронной почтой на частотах подвижных служб, включая частоты, указанные в Приложении 17 РР;
- b) что в настоящее время существуют и разрабатываются глобальные и региональные службы ВЧ электронной почты, работающие на частотах, указанных в Приложении 17 РР, и на частотах подвижных служб, не указанных в Приложении 17 РР, при этом использование морской подвижной службой частот, распределенных подвижным службам, не указанных в Приложении 17 РР, соответствует правилам МСЭ,

отмечая,

- a) что характеристики служб ВЧ-передачи данных, описанные в Приложениях 2, 3 и 4, могут считаться удовлетворяющими требованиям к обмену цифровыми данными и электронной почтой в МПС¹,

рекомендует,

- 1 что взаимодействие систем для передачи сообщений данных как в направлении судно – берег, так и в направлении берег – судно должно быть достигнуто на уровне протокола Интернет (IP) (см. Приложение 1);
- 2 что примеры морских служб ВЧ-передачи данных, характеристики и модемные протоколы, приведенные в Приложениях 2, 3 и 4, следует использовать в системах передачи и приема данных на суда и от них, использующих ВЧ-полосы частот;
- 3 что, для того чтобы поддерживать взаимодействие между судами и совместимость с существующим оборудованием Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ), система должна иметь возможность автоматически вступать в радиосвязь в соответствии с Рекомендациями МСЭ-R М.476 и МСЭ-R М.625 как в режиме предупреждающей коррекции ошибок (FEC), так и в режиме с автоматическим запросом повторений (ARQ);
- 4 что, если эта система используется в ГМССБ, она должна удовлетворять соответствующим требованиям ИМО.

¹ Признавая необходимость обеспечения соответствия с главой VII Регламента радиосвязи.

Приложение 1

Взаимодействие систем

1 Введение

В этом Приложении описывается взаимодействие систем (судно – берег и судно – судно), а подробные сведения о трех ВЧ-системах электронной почты приводятся в Приложениях 2, 3 и 4.

В Приложении 5 предлагается система широкополосного обмена данными в диапазонах ВЧ для связи пункта с пунктом.

2 Взаимодействие систем

Судно – берег

Взаимодействие в направлении судно – берег обеспечивается поставщиком интернет-услуг на уровне IP-протокола. Как правило, в системе электронной почты судно будет создавать электронные письма с приложениями или без них и затем будет нажиматься кнопка "отправить", так же как это делаем все мы. Это относится ко всем местоположениям от полюса до полюса и для любого момента времени.

Берег – судно

В системе, описанной в настоящей Рекомендации, на стороне пользователя, находящегося на берегу, проблем с взаимодействием нет. Находящийся на берегу отправитель сообщения электронной почты для судна может просто:

- нажать кнопку "ответить"; или
- передать сообщение по адресу: shipname@xxx.com или callsign@xxx.com.

Сообщение электронной почты будет доставлено вне зависимости от того, какая система используется на судне. Если система неисправна, то будет выполнена автоматическая перемаршрутизация на другую систему. Эти автоматические решения принимаются на основе информации, содержащейся в обширной базе данных. Следовательно, сообщение электронной почты может быть доставлено по системе ВЧ-связи или по другой спутниковой системе. Если неисправна вся система целиком, имеется проблема с адресацией или по каким-либо причинам не обеспечивается доставка, то будут оповещены операторы службы поддержки системы и предприняты действия по устранению неисправности. Это гарантирует, что пользователи на берегу не должны беспокоиться о том, какую систему или сеть использует судно. Они должны только вписать адрес в сообщение и нажать кнопку "отправить".

Приложение 2

Модемный протокол службы ВЧ-передачи данных, использующий ортогональное мультиплексирование с разделением по частоте

Обзор

В настоящем Приложении описывается архитектура модема ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте (OFDM) для канала ВЧ-связи, использующего цифровую обработку сигнала (DSP). Приводится определение алгоритма и описание реализации. Оно содержит определение протокола, модулятора и демодулятора. В заключительном разделе описывается, как выбираются частоты и как они используются с учетом эффективного использования спектра.

Существует два основных подхода к реализации широкополосного модема – с использованием одной несущей или нескольких несущих. Описываемый здесь и используемый OFDM-модем реализован на основе подхода с несколькими несущими. Основное преимущество подхода с несколькими несущими заключается в том, что для оценки канала с замираниями не требуется эквалайзер, поскольку ширина полосы отдельной поднесущей мала и может допускать средние замирания. Следовательно, реализация подхода с несколькими несущими менее сложна. Кроме того, подход с несколькими несущими был выбран, чтобы сделать отдельные поднесущие похожими на узкополосный сигнал DATAPLEX. Недостаток подхода с несколькими несущими заключается в том, что он более чувствителен к сдвигу частоты и фазовому шуму генератора.

Модемный протокол ВЧ

Введение

В сигнале OFDM используется 32 несущих для передачи 32 блоков каждые 1520 мс. Как и в телеграфных радиопередачах (TOR), описанных в Рекомендации МСЭ-R М.625, OFDM является протоколом полудуплексной связи, в котором в любой данный момент времени одна станция является станцией, передающей информацию (ISS), а другая – станцией, принимающей информацию (IRS). Основной цикл синхронизации фиксирован, синхронизация устанавливается вызывающей станцией (MASTER).

В последующих разделах настоящего документа описывается основной цикл синхронизации OFDM, форматы блоков и базовые операции соединения, такие как OVER, END и установление соединения.

Модуляция на основе ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте

В сигнале OFDM используется 32 несущих частоты с центральной частотой 1700 Гц. Полное описание сигнала приводится в последующих разделах, описывающих модулятор и демодулятор.

Во всех передачах OFDM используется 4-фазный ($M = 4$) сигнал с 32 несущими ($N = 32$), в котором станция ISS передает один длинный блок данных на одну несущую, и в общей сложности 32 блока данных в одном пакете. Станция IRS отвечает, передавая 4-фазный ($M = 4$) короткий пакет с 32 несущими ($N = 32$), содержащий 2 байта на одну несущую в общей сложности 64 байта.

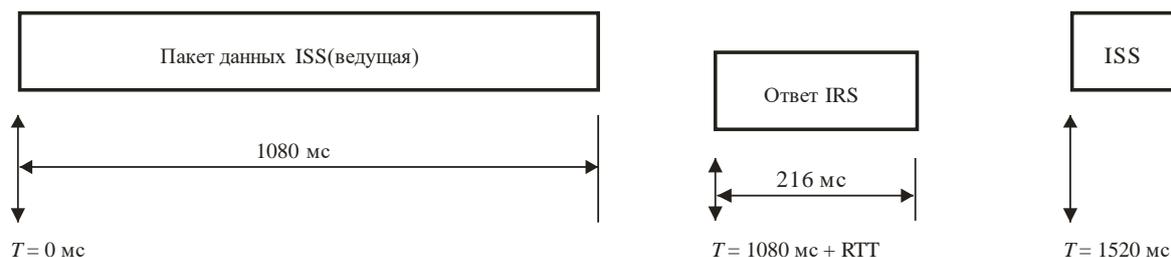
Синхронизация кадров

Как и в телеграфных радиопередачах (TOR), описанных в Рекомендации МСЭ-R М.625, OFDM является протоколом полудуплексной связи, в котором одна станция является станцией ISS, а другая – станцией IRS. Когда соединение установлено, фиксируется время цикла OFDM, равное 1520 мс; станция ISS передает пакет данных продолжительностью 1080 мс, и станция IRS отвечает, передавая короткий ответный пакет длиной 216 мс. Ниже описан основной цикл синхронизации на главной станции (MASTER) для случая, когда ISS является ведущей (MASTER-ISS) и когда ISS является ведомой (SLAVE-ISS).

ПРИМЕЧАНИЕ. – RTT – это время распространения сигнала в обоих направлениях и время обработки на ведомой станции (SLAVE).

Когда начинается соединение, ведущая станция (MASTER) устанавливает эталонное время OFDM $T = 0$. В случае, когда ведущей является станция ISS, станция MASTER всегда начинает передачу в момент времени $T = 0$, а ответ станции SLAVE должен быть полностью принят в течение интервала приема длительностью 440 мс, который следует непосредственно после пакета данных станции MASTER длиной 1080 мс. Станция SLAVE всегда передает ответ станции IRS, как только она сможет после того, как примет окончание пакета станции MASTER ISS. Когда ведущей станцией (MASTER) является станция IRS, ответ станции IRS продолжительностью 216 мс начинается на 1304 мс в течение времени цикла 1520 мс, так что окончание ответа приходится на то же время, когда окончился бы пакет данных MASTER станции ISS. Пакет данных станции SLAVE начинается в тот же момент цикла, что и ответ ведомой станции IRS (SLAVE). Принципы цикловой синхронизации OFDM соответствуют примеру, приведенному в Рекомендации МСЭ-R М.625, за исключением того, что время цикла OFDM допускает большее расстояние распространения сигнала (224 мс в сравнении с 170 мс) между двумя соединенными станциями.

Синхронизация ведущей станции OFDM – ISSведущая



Синхронизация ведущей станции OFDM – ISSведомая



M.1798-00

Формат блока информационно-передающей станции

В протоколе OFDM для передачи на станцию IRS байтов данных и управляющих сообщений используется изображенный ниже блок ISS. В каждой передаче станция ISS посылает один блок данных на каждой из 32 несущих, в общей сложности 32 блока в длинном пакете. Поскольку каждые 1520 мс ISS передает не более 32 блоков, содержащих по 10 байтов, полученная максимальная пропускная способность для OFDM $N = 32$ $M = 4$ составляет примерно 210 байтов, или 1684 бит/с.

Блок данных станции, передающей информацию

SEQ_NR LEN (11 битов) (5 битов)	DATA (10 байтов)	CRC (2 байта)
---	----------------------------	-------------------------

SEQ_NR – 11-битовый порядковый номер блока от 1 до 0x7FF, 0x000 означает отбросить этот блок

LEN – от 0 до 10 – число достоверных байтов данных в блоке 31 означает блок управления (CONTROL)

DATA – от 0 до 10 байтов данных, когда LEN = от 0 до 10 блок CONTROL, когда LEN = 31

CRC – 16-битовая последовательность циклической проверки по избыточности (CRC)

Каждый блок данных начинается с 11-битового порядкового номера блока (SEQ_NR), который используется для определения правильного порядка следования блоков на приемной стороне (IRS) канала связи. При передаче каждого нового блока управления порядковый номер увеличивается на единицу от 1 до 2047 (0x7FF), так чтобы станция IRS могла восстановить полную передачу данных, расставляя на приемной стороне блоки в правильном порядке. После того как закодирован 2047-й блок, порядковый номер меняется с 2047 на 1. Порядковый номер блока управления указывает, когда следует декодировать этот блок управления. Когда начинается передача, порядковый номер устанавливается равным 1, и в течение сигналов OVER не изменяется.

Во время соединения станция ISS должна гарантировать, что в любой момент времени обработки ожидают не более чем MAX_SEQ_NR_DIFF последовательных блоков, где MAX_SEQ_NR_DIFF является программируемой величиной, не превышающей (2047 – 64) или 1983. Другими словами, разница между самым ранним и самым поздним порядковым номером в любом данном длинном пакете ISS должна быть меньше или равна MAX_SEQ_NR_DIFF. Это ограничение предназначено для

того, чтобы ограничить число блоков, находящихся в буфере на стороне IRS, и для того, чтобы дать возможность каналу связи "поймать" его, если по каким-либо причинам на стороне IRS будет невозможно безошибочно декодировать один или несколько блоков.

Этот протокол дает возможность станции ISS повторить передачу блоков в том же длинном пакете. Если на станции ISS достигнута разница MAX_SEQ_NR_DIFF между самым ранним и самым поздним порядковым номером в любом данном длинном пакете, то в оставшихся слотах открытого длинного пакета должны быть повторены самые ранние блоки, для того чтобы повысить вероятность того, что блок будет принят правильно. Станция ISS может повторить передачу текущих блоков в любой момент времени, если при этом не задерживается передача новых блоков данных.

Порядковый номер 0000 является особым случаем. Если блок передается с порядковым номером 0000, этот блок может быть отброшен станцией IRS без дальнейшего декодирования. На стороне передачи ISS, например, блоки с номером 0000 могут использоваться в качестве фильтра для всех блоков после последнего блока, содержащего достоверную информацию. Значение блока 0000 станет понятным позже в ходе обсуждения режима работы ARQ, когда станция IRS запрашивает повторную передачу поврежденных блоков данных. Если ISS передает блок 0000, то, если станция IRS сообщает об ошибке приема этого блока, она не должна передавать этот блок повторно. Отметим, что вместо передачи блоков с номерами 0000 станция ISS может повторить передачу текущих блоков.

Поле LEN длиной 5 битов служит двум целям. Если поле LEN является номером от 0 до 10, то оно указывает число достоверных байтов данных в информационной части (DATA) данного блока. Байты после первых байтов поля LEN в части DATA данного блока следует игнорировать. Отметим, что 00 является достоверным значением длины блока данных, которое может использоваться для сообщения о пустом блоке или об отсутствии блока данных. В отличие от последовательного блока 0000 пустой блок должен быть передан повторно, если станция IRS сообщает об ошибке в этом блоке.

Когда поле LEN установлено равным 31, этот блок определяется как блок управления CONTROL, и в информационной части этого блока содержится управляющее сообщение. Как и с блоками данных, если станция IRS сообщает об ошибке приема этого блока, он должен быть передан повторно. Кроме того, станция ISS может повторить передачу блоков CONTROL в том же длинном пакете, как она может повторить передачу блоков DATA. Очевидно, что повторяемые блоки должны иметь в последовательности блоков тот же номер.

16-битовое поле CRC в конце всех блоков – это стандартизованный МСЭ-T полиномиальный остаток, рассчитанный для целого блока от начала поля порядкового номера до окончания поля данных. После того как для блока CRC выполнена операция XOR со значением 0xFFFF, в конце блока передается два байта CRC, сначала передается младший байт. В месте нахождения станции IRS инициируется устройство проверки CRC с 0xFFFF и для всего отрезка от байта порядкового номера до окончания блока рассчитывается остаток CRC, если нет ошибок, то он должен быть равным 0xF0B8.

Блоки данных

В блоке данных OFDM станций ISS параметр LEN устанавливается равным числу достоверных байтов данных в блоке: от 0 до 10 байтов.

Блок данных ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте

SEQ_NR LEN (11 битов) (5 битов)	DATA (10 байтов)	CRC (2 байта)
---	----------------------------	-------------------------

LEN – от 00 до 10 достоверных байтов данных

В любом данном пакете ISS блоки данных могут быть распределены между несущими в любом порядке. Станция IRS обязана восстановить исходное информационное сообщение в правильном порядке, используя порядковые номера в блоках данных.

Если станция ISS не имеет достаточного числа блоков для заполнения всех 64 слотов, то станция ISS может повторить передачу текущих блоков в оставшихся слотах, начиная с блока, который был передан раньше других. Повторенные блоки дают станции IRS дополнительную возможность

безошибочно декодировать все блоки. В ином случае станция ISS может заполнить ненужные блоки блоками с порядковым номером 0000 и на стороне IRS эти блоки будут отброшены.

На ISS никогда не должно находиться в ожидании обработки более чем MAX_SEQ_NR_DIFF последовательных блоков, где MAX_SEQ_NR_DIFF является программируемой величиной. Это означает, что в любом данном длинном пакете ISS разница между самым старым и самым новым порядковым номером, с учетом возврата счетчика к нулю при достижении значения 2047, должна быть меньше или равна MAX_SEQ_NR_DIFF.

Блоки управления

Протокол OFDM передает управляющие сообщения, устанавливая поле LEN в значение 31 и загружая команду в первый байт поля DATA. Поле порядкового номера устанавливается в следующий доступный номер. Если станции IRS не удастся безошибочно декодировать этот блок, то все кадры управления передаются повторно.

В протоколе OFDM имеется три управляющих сообщения: MY_CALL, OVER и END.

Блок управления ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте

SEQ_NR 1 1111 (11 битов) (5 битов)	CONTROL IDLE FILL PATTERN (1 байт) (9 байтов)	CRC (2 байта)
--	---	-------------------------

SEQ_NR – 11-битовый порядковый номер; он не может быть равным 0000

LEN – 31 для блока управления

CONTROL – управляющий код OVER или END

IDLE FILL PATTERN – 10101010 (повторяется 9 раз)

Блоки управления могут быть переданы станцией ISS в любой момент времени, и станция IRS должна распознать команду управления в том месте, где она появляется в восстановленных последовательных данных. Например, когда станции ISS передается команда OVER, не должны передаваться никакие блоки данных с порядковым номером, большим, чем номер команды OVER, поскольку через короткое время станция ISS становится станцией IRS. Станция ISS должна создавать блок команды только один раз, но она может повторять передачу этого блока управления в слотах, которые не выделены ни для какой несущей частоты.

Ниже показаны коды байта CONTROL.

CONTROL – OVER (0x86)

1 0 0 0 0 1 1 0

CONTROL – END (0x98)

1 0 0 1 1 0 0 0

CONTROL – MYCALL (0xE0)

1 1 1 0 0 0 0 0

Ниже показаны типовые блоки управления OVER и END.

Блок управления OVER

SEQ_NR 11111	10000110	IDLE FILL PATTERN	CRC
-----------------------	-----------------	--------------------------	------------

Блок управления END

SEQ_NR 11111	10011000	IDLE FILL PATTERN	CRC
-----------------------	-----------------	--------------------------	------------

Синхропакет ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте

Станция ISS и станция IRS до начала каждого пакета передают тон частотой 1700 Гц. Этот тон используется для определения сдвига по частоте.

Формат ответа станции, принимающей информацию

Когда станция является станцией IRS, она каждые 1520 мс принимает от станции ISS 32 блока данных и отвечает, передавая для каждого блока сигнал ACK или сигнал отсутствия подтверждения (NAK). Кроме того, ответ станции IRS передает команды управления соединением, для того чтобы завершить (OVER) соединение и закончить (END) соединение. Ответное сообщение станции IRS передается в виде короткого блока OFDM продолжительностью 216 мс в формате 4-фазного ($M = 4$) сигнала с 32 несущими ($N = 32$). На каждой несущей передается по 2 байта; при передаче длинного пакета ISS для каждого блока данных на одной и той же несущей назначены два байта на одну несущую.

На каждой несущей передается только один код ответа станции IRS для каждого блока данных, принятого от станции ISS на этой же несущей.

<p>БЛОК 1 ОТВЕТ (16 битов)</p>
--

Станция IRS передает следующие коды ответа:

ACK/NAK
FORCED_OVER
END_ACK

Любой ответ, отличный от этих, рассматривается как прием сообщения NAK. В настоящем разделе для каждого из этих кодов ответа перечислено кодирование с кратким описанием.

Подтверждение/отсутствие подтверждения

Станция IRS декодирует и рассчитывает CRC для каждого из 32 входящих блоков данных в длинном пакете станции ISS. Если CRC указывает, что блок принят без ошибок, то станция IRS отвечает, передавая на той же несущей сообщение ACK. Если обнаружена ошибка, то передается сообщение NAK. На стороне ISS сообщение ACK говорит об успешной передаче блока, и этот блок удаляется из очереди на передачу. С другой стороны, сообщение NAK заставляет станцию ISS повторно передавать этот блок на другой несущей, если станция IRS принимает блок, содержащий порядковый номер, прием которого уже подтвержден, она передает еще одно подтверждение (ACK) и отбрасывает этот блок. Любой неизвестный ответ обрабатывается станцией ISS так, как если бы он был ответом отсутствия подтверждения (NAK).

Код ACK (0x56A9)

0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1

Код NAK (0xA956)

1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0

Ответы ACK/NAK используются станциями ISS и IRS для определения качества канала связи и того, когда разорвать соединение. В каждом цикле протокола OFDM поступают 32 ответа ACK/NAK, и принятие решения о том, когда разорвать соединение, усложняется. Для каждого первоначального варианта реализации OFDM для увеличения значения счетчика ошибок используется определенное число последовательных блоков, в которых НИ ОДИН блок не был декодирован правильно. Если станции IRS и ISS отмечают, что для MAX_BLK_ERR циклов передачи ни для одного блока не было получено подтверждения (ACK), то канал связи будет разорван, здесь MAX_BLK_ERR является программируемой величиной. Число циклов MAX_BLK_ERR = 20, составляет примерно 30 секунд. Сообщение ACK для любого блока вернет счетчик ошибок в значение 0.

FORCED_OVER

Как правило, станция OFDM ISS управляет переключением от ISS на IRS, передавая на станцию IRS блок управления OVER на одной или нескольких несущих. Однако станция IRS может заставить выполнить команду OVER, передав кодовое слово FORCED_OVER. Во избежание проблем с количеством блоков, ожидающих передачи, кодовое слово FORCED_OVER будет передаваться, только когда на данной несущей будет безошибочно принят последний блок от станции ISS.

Код FORCED_OVER (0x6A95)

0110101010010101

END_ACK

Станция IRS в ответ на получение от ISS блока управления END передает кодовое слово END_ACK, для того чтобы сообщить об окончании соединения. Сообщение END_ACK будет передано в ответ на каждый блок управления END от станции ISS для подтверждения того, что станция ISS приняла кодовое слово подтверждения. Когда станция ISS принимает одно или несколько ответных сообщений END_ACK, она немедленно переходит в резервный режим (STANDBY), даже если в очереди на передачу еще остаются неподтвержденные блоки данных. Станция IRS использует ответное сообщение END_ACK для немедленного начала завершения соединения.

Код END_ACK (0x956A)

1001010101101010

Работа ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте

В настоящем разделе рассматриваются важные этапы протокольного обмена между ISS и IRS. Здесь блоки данных, блоки управления и кодовые слова ответов, которые были определены в предыдущих разделах, объединяются, образуя протокол OFDM. В настоящем разделе описывается обмен между станциями ISS-IRS во время операций передачи блока данных, завершения соединения (OVER), изменения скорости передачи данных, окончания соединения (END) и вызова (CALLING).

Обмен между станциями, передающими информацию, и станциями, принимающими информацию

Во время существования соединения OFDM одна станция является станцией ISS, а другая – станцией IRS. Станция ISS передает блоки данных, и IRS подтверждает прием этих блоков, когда они принимаются безошибочно. Ответы в виде кодовых слов ACK и NAK от станции IRS сообщают станции ISS, какие блоки передавать в следующих пакетах.

Поскольку протокол OFDM передает 32 блока в пакете, должна быть определена процедура по распределению блоков данных конкретным сигналам несущих частот. Передача байтов данных заполняет 10-байтовые блоки данных, и порядковый номер для каждого блока указывает порядок следования этих блоков. Когда строится реальный кадр передачи, отдельные блоки данных назначаются по порядку, начиная с первого блока на первой несущей, второй блок передается на второй несущей и так далее, пока не будут назначены несущие для первых 32 блоков. Ниже показаны распределения передаваемых блоков для типичной первой передачи.

Порядковые номера блоков начинаются с 0001 в первом блоке данных после того, как соединение установлено, и номера увеличиваются на единицу после завершения создания каждого передаваемого блока, до окончания соединения. После 2047-го блока счет порядковых номеров снова начинается с 0001.

Пакет передачи станции, передающей информацию, с ортогональным мультиплексированием с разделением по частоте

Несущая 1	Блок 0001	CRC
Несущая 2	Блок 0002	CRC
Несущая 3	Блок 0003	CRC
Несущая 4	Блок 0004	CRC
...
Несущая 30	Блок 0030	CRC
Несущая 31	Блок 0031	CRC
Несущая 32	Блок 0032	CRC

Если все блоки декодированы без ошибок, станция IRS передает короткий ответный пакет, содержащий подтверждение (ACK) для каждого блока данных на каждой несущей. Подтверждения не имеют порядковых номеров.

Пакет ответа станции, принимающей информацию, с ортогональным мультиплексированием с разделением по частоте

Несущая 1	ACK (для блока 1)
Несущая 2	ACK (для блока 2)
Несущая 3	ACK (для блока 3)
Несущая 4	ACK (для блока 4)
...	...
Несущая 30	ACK (для блока 30)
Несущая 31	ACK (для блока 31)
Несущая 32	ACK (для блока 32)

Когда обнаруживается поврежденный блок данных, станция IRS передает на этой же несущей ответ отсутствия подтверждения для данного блока (NAK). Станция ISS повторно передает каждый блок данных, прием которого станцией IRS не подтвержден, включая те блоки, для которых не было декодировано достоверного ответа станции IRS. Для максимального увеличения вероятности того, что блок будет правильно передан в следующий раз, станция ISS будет повторно передавать блоки на той несущей, на которой были успешно переданы и подтверждены предыдущие блоки. Например, повторно передаваемые блоки сначала назначаются для передачи на тех несущих, на которых в последнем цикле была выполнена успешная передача обоих блоков, затем – на тех несущих, на которых в последнем цикле была подтверждена передача только одного блока. Перемещение блоков данных должно сохранять передачу данных, даже если одна или несколько несущих заблокированы помехами. Новые блоки добавляются в оставшиеся слоты открытого блока, начиная с тех несущих, на которых в последнем цикле была подтверждена передача обоих блоков, и затем, продолжая на тех несущих, на которых в последнем цикле была подтверждена передача только одного блока. Если новых блоков нет, то слоты открытого блока несущей могут быть заполнены текущими блоками, начиная с блока, который был передан раньше остальных.

Например, если мы рассматриваем случай, когда имеется только четыре несущих и повреждено два блока, то станция ISS будет передавать повторно блоки, как показано ниже:

Станция, передающая информацию

Несущая 1	DBlock 0001	CRC
Несущая 2	DBlock 0002	CRC
Несущая 3	DBlock 0003	CRC
Несущая 4	DBlock 0004	CRC

Станция, принимающая информацию

Несущая 1	АСК (для блока 1)
Несущая 2	NAK (для блока 2)
Несущая 3	АСК (для блока 3)
Несущая 4	NAK (для блока 4)

Станция, передающая информацию

Несущая 1	DBlock 0002	CRC
Несущая 2	DBlock 0005	CRC
Несущая 3	DBlock 0004	CRC
Несущая 4	DBlock 0006	CRC

Станция, принимающая информацию

Несущая 1	АСК (для блока 2)
Несущая 2	АСК (для блока 5)
Несущая 3	АСК (для блока 4)
Несущая 4	АСК (для блока 6)

Отметим, что повторно передаваемые блоки были перемещены в те позиции блоков, где в прошлом цикле были переданы блоки, для которых получены подтверждения. В рассмотренном выше случае блок DBlock 0007 передается как первый блок на несущей 4, а не на несущей 2, потому что в последнем пакете на несущей 2 была ошибка в позиции. Имеет смысл заполнять сначала "хорошие" позиции и оставлять напоследок те позиции, передача в которых не была подтверждена в прошлый раз, с тем чтобы повысить вероятность успешной передачи блока. Если несущая полностью заблокирована какими-либо помехами в канале или из-за ограничений по полосе пропускания одной из радиостанций, новые блоки данных следует сначала распределять в те несущие, на которых обеспечивается передача. В приведенном ниже примере показано, как это может быть применено для нашего простого случая.

Станция, передающая информацию

Несущая 1	DBlock 0001	CRC
Несущая 2	DBlock 0002	CRC
Несущая 3	DBlock 0003	CRC
Несущая 4	DBlock 0004	CRC

Станция, принимающая информацию

Несущая 1	NAK (для блока 1)
Несущая 2	АСК (для блока 2)
Несущая 3	АСК (для блока 3)
Несущая 4	NAK (для блока 4)

Станция, передающая информацию

Несущая 1	DBlock 0005	CRC
Несущая 2	DBlock 0001	CRC
Несущая 3	DBlock 0004	CRC
Несущая 4	DBlock 0006	CRC

Станция, принимающая информацию

Несущая 1	АСК (для блока 5)
Несущая 2	АСК (для блока 1)
Несущая 3	АСК (для блока 4)
Несущая 4	NAK (для блока 6)

В данном примере новые блоки назначаются на несущих 1 и 4 в последнюю очередь, так как в предыдущем цикле передачи на этих несущих наблюдались ошибки. Если на несущей 4 не удастся передать блоки из-за ограничений по ширине полосы пропускания, то мы повторно передаем блоки 12 и 13, поскольку все ранее переданные блоки были переданы без ошибок.

Если нет данных для передачи, то станция ISS может передать блоки с порядковым номером, установленным равным 0000. Станция IRS игнорирует эти блоки, и их не следует передавать повторно, если станция IRS передает в ответ на такой блок сообщение NAK. Как показано ниже, станция ISS может также повторить передачу текущих блоков, начиная с наиболее раннего, в оставшихся слотах, для того чтобы повысить вероятность безошибочного приема этого блока.

Если станция ISS имеет для передачи менее 32 блоков, то станция ISS может повторить передачу текущих блоков в оставшихся открытых слотах несущей. Поскольку станция IRS должна использовать порядковый номер для восстановления последовательного потока данных, второй блок с тем же порядковым номером блока будет проигнорирован. Повторение блоков в длинном пакете ISS дает второй шанс, для того чтобы блок был принят без ошибок.

Станция, передающая информацию

Несущая 1	DBlock 0001	CRC
Несущая 2	DBlock 0002	CRC
Несущая 3	DBlock 0003	CRC
Несущая 4	DBlock 0004	CRC

Станция, принимающая информацию

Несущая 1	NAK (для блока 1)
Несущая 2	АСК (для блока 2)
Несущая 3	АСК (для блока 3)
Несущая 4	NAK (для блока 4)

В этом примере станция ISS должна передать 5 блоков, в оставшихся блоках она повторно передает блоки с 1 по 3. На стороне IRS прием первого блока DBlock 0001 не подтверждается (NAK), но его вторая копия принимается без ошибок. Станция ISS не должна повторно передавать блок DBlock 0001. Прием второй копии блока DBlock 0003 не подтверждается (NAK), но его первая копия была принята без ошибок; станция ISS не должна повторно передавать этот блок. Отметим, что прием блока DBlock 0004 не подтверждается (NAK), станция ISS должна будет передать этот блок повторно, поскольку он был передан в длинном пакете только один раз.

Станция IRS не делает никаких попыток сравнить разные копии одного и того же блока, имеющие один и тот же порядковый номер. Предполагается, что первый блок, принятый с правильным значением CRC, является достоверным блоком, и этот блок передается на выход последовательного порта. Станция IRS должна также подтвердить прием (АСК) всех блоков, которые были приняты без ошибок, даже если это был повторно переданный блок.

Управление потоком

Протокол OFDM не содержит никаких специальных кодов управления потоком на уровне канала, для того чтобы дать возможность станции IRS прервать передачу блока от ISS. Однако, если станция IRS не имеет возможности освободить буферы для приема блоков, требуется управлять потоком путем подключения внешнего последовательного порта или USB-порта управления потоком. Если внешнее управление потоком останавливает работу выходного каскада данных приемника на продолжительное время, приемные буферы станции могут заполниться, не оставляя места для размещения новых блоков данных ISS.

Когда станции IRS необходимо уменьшить скорость передачи блоков с ISS, она может передать сообщение NAK для некоторых из блоков длинного пакета ISS, даже если значения полей CRC в этих блоках были корректными. Если не подтвержден прием ни одного блока, станция ISS будет повторно передавать все блоки в следующем длинном пакете. Отметим, что прерывание передачи данных по каналу при помощи сообщений NAK в течение длительного времени может привести к тому, что станция ISS разорвет соединение.

OVER

Операция завершения соединения (OVER) может быть инициирована со стороны ISS или со стороны IRS. Станция ISS запрашивает завершение соединения (OVER), передавая команду управления OVER в виде одного из блоков данных длинного пакета. Станция ISS может запросить завершение соединения (OVER) в любой момент времени, но после того, как команда OVER передана, она должна прекратить создание новых блоков данных для передачи. Когда станция IRS принимает команду управления OVER, она выполняет проверку с целью удостовериться в том, что приняты все блоки данных с порядковыми номерами до порядкового номера блока управления OVER. Если нет пропущенных блоков, станция IRS передает ответное сообщение FORCED_OVER вместо сообщения ACK для всех правильно декодированных блоков и сообщения NAK для плохих блоков. Если некоторые блоки пропущены, то станция IRS продолжает передавать ответные сообщения ACK/NAK до тех пор, пока не будут правильно приняты все пропущенные блоки, и затем она передает для всех правильно декодированных блоков ответное сообщение FORCED_OVER вместо сообщения ACK. Отметим, что нет никакой гарантии того, что прием блоков с порядковыми номерами после блока OVER будет подтвержден до того, как произойдет завершение работы линии (OVER). Блоки, находящиеся в очереди на передачу, необходимо отслеживать на стороне ISS.

Станция ISS должна заполнить все блоки данных, расположенные после команды OVER, блоками, содержащими порядковый номер 0000, так чтобы эти блоки не требовалось повторно передавать в ожидании момента, когда станция IRS начнет последовательность OVER. Станция ISS может также повторять в оставшихся открытых слотах текущие блоки данных.

Станция IRS может инициировать команду OVER в любой момент времени, передав как минимум одно ответное сообщение FORCED_OVER вместо сообщения ACK в ответ на длинный пакет ISS. Когда станция ISS детектирует сообщение FORCED_OVER, она сразу же изменяет направление передачи в канале и запоминает те блоки, прием которых не был подтвержден. Все оставшиеся блоки будут переданы после следующей команды OVER.

Станция, передающая информацию

Несущая 1	DBlock 0005	CRC
Несущая 2	DBlock 0006	CRC
Несущая 3	CBlock 0007 OVER	CRC
Несущая 4	DBlock 0000	CRC

Станция, принимающая информацию

Несущая 1	ACK (для блока 5)
Несущая 2	ACK (для блока 6)
Несущая 3	ACK (для блока 7)
Несущая 4	NAK (для блока 8)

Станция, передающая информацию

Несущая 1	DBlock 0000	CRC
Несущая 2	DBlock 0001	CRC
Несущая 3	DBlock 0004	CRC
Несущая 4	DBlock 0000	CRC

Станция, принимающая информацию

Несущая 1	NAK
Несущая 2	FORCED_OVER
Несущая 3	FORCED_OVER
Несущая 4	NAK

Станция, принимающая информацию

Несущая 1	NAK
Несущая 2	NAK
Несущая 3	NAK
Несущая 4	NAK

Станция, передающая информацию

Несущая 1	DBlock 0010	CRC
Несущая 2	DBlock 0011	CRC
Несущая 3	DBlock 0012	CRC
Несущая 4	DBlock 0013	CRC

Станция, принимающая информацию

Несущая 1	ACK (для блока 10)
Несущая 2	ACK (для блока 11)
Несущая 3	ACK (для блока 12)
Несущая 4	ACK (для блока 13)

END

Прекратить работу протокола OFDM может либо станция ISS, либо станция IRS. Как правило, станция ISS завершает соединение, передавая один блок управления END в виде следующего блока после последнего блока данных. Когда станция IRS принимает блок управления END, она подтверждает, что все блоки данных с порядковыми номерами до блока END были приняты. Если нет блоков, ожидающих передачи, то станция IRS передает короткий пакет, в котором все слоты установлены в значение END_ACK. Если еще остаются блоки, ожидающие передачи, то станция IRS продолжает передавать ответные сообщения ACK/NAK до тех пор, пока не будут правильно приняты все блоки, ожидающие передачи. Отметим, что любые блоки данных, которые станция ISS передает с порядковыми номерами после порядкового номера в блоке END, отбрасываются.

Все блоки после управляющего сообщения END станция ISS должна кодировать, используя порядковый номер 0000, так чтобы они повторно не передавались.

Когда в коротком блоке станция ISS принимает четыре ответных сообщения END_ACK или более, она немедленно прекращает передачу и возвращается в режим ожидания (STANDBY). После того как принят последний блок управления END, станция IRS дважды повторяет кадр END_ACK для гарантии того, что станция ISS получила сообщение END_ACK.

Когда станция IRS желает принудительно завершить соединение, она создает ответное сообщение END_ACK. Когда станция ISS принимает ответное сообщение END_ACK, она немедленно прекращает передачу и возвращается в режим ожидания (STANDBY), даже если еще имеются блоки данных, ожидающие передачу.

Станция, передающая информацию

Несущая 1	DBlock 0005	CRC
Несущая 2	DBlock 0006	CRC
Несущая 3	CBlock 0007 END	CRC
Несущая 4	DBlock 0000	CRC

Станция, принимающая информацию

Несущая 1	ACK (для блока 5)
Несущая 2	ACK (для блока 6)
Несущая 3	ACK (для блока 7)
Несущая 4	NAK (для блока 8)

Станция, передающая информацию

Несущая 1	DBlock 0000	CRC
Несущая 2	DBlock 0000	CRC
Несущая 3	DBlock 0000	CRC
Несущая 4	DBlock 0000	CRC

Станция, принимающая информацию

Несущая 1	END_ACK
Несущая 2	END_ACK
Несущая 3	END_ACK
Несущая 4	END_ACK

Станция, принимающая информацию

Несущая 1	END_ACK
Несущая 2	END_ACK
Несущая 3	END_ACK
Несущая 4	END_ACK

Завершенное соединение ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте**ВЫЗОВ**

Линия DATAPLEX устанавливается, когда ведущая станция вызывает удаленную станцию, используя 9-байтовый блок CALLING, передаваемый в формате частотной манипуляции (FSK) 100. Уникальный 2-байтовый синхрокод в начале блока идентифицирует блок CALLING и устанавливает синхронизацию линии. Этот блок CALLING повторяется каждые 1020 мс, то есть каждый цикл сигнала DATAPLEX.

Сигнал удаленной станции SELCAL передается в 4,5 байта, в которых в каждом байте упакованы две цифры SELCAL; все сигналы SELCAL должны иметь 9 цифр со значением от 0x0 до 0x9. Младшие четыре бита последнего байта сигнала SELCAL определяют формат канала, а отдельный байт, называемый байтом TYPE кадра, завершает участок данных блока CALLING. Для подтверждения безошибочного приема вызывающего кадра для него вводится отдельная проверочная сумма байта.

Когда молчащая станция принимает блок CALLING с местным сигналом SELCAL и правильной проверочной суммой, в линии связи DATAPLEX может начинаться использоваться формат, определенный вызывающей станцией. После приема управляющего кода подтверждения установления соединения, ведущая станция передает первый блок данных, содержащий в блоке управления MYCALL сигнал SELCAL вызывающей станции. Этот блок соответствует ранее

описанной концепции блока управления, за исключением того, что после байта MYCALL следует сигнал SELCAL ведущей станции, переданный с двумя цифрами SELCAL в одном байте. После того как прием этого первого блока подтвержден в ЧМн (FSK) и дифференциальной фазовой манипуляции (DPSK) линии связи DATAPLEX, в линии начинается обычный обмен данными ISS-IRS.

Отметим, что после того, как линия переключается на протокол OFDM, для первого блока, передаваемого станциями MASTER и SLAVE, порядковый номер устанавливается равным 0001.

Блок управления CALLING

10101100	00110101	SC1 SC2	SC3 SC4	SC5 SC6	SC7 SC8	SC9 RATE	TYPE	CKSUM
----------	----------	--------------	--------------	--------------	--------------	---------------	------	-------

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – SC1-SC9 – это 9 цифр SELCAL, каждая по 4 бита, [0x0 – 0x9]
 RATE = формат соединения (2 = FSK200; 3 = FSK100; 4 = DPSK600; 5 = DPSK400;
 6 = DPSK200; 8 = OFDM ($N = 32, M = 4$); 14 = OFDM ($N = 256, M = 4, 16$ и 64),
 см. Приложение 5)
 TYPE = 8-битовое значение, передаваемое в приложение к сообщению запроса статуса
 канала; CKSUM = 00 – (сумма байтов от SC1|SC2 до TYPE).

В следующем примере ведущая станция запрашивает канал, используя формат OFDM RATE 8 ($N = 32, M = 4$), а удаленная станция подтверждает получение запроса канала.

Станция, передающая информацию Станция, принимающая информацию

Блок CALLING (FSK100) --->

CALLING	SELCAL	8	TYPE	CKSUM
---------	--------	---	------	-------

(Сигнал SELCAL принят ОК; канал в формате FSK200)
 <--- Начать соединение ODFM

LINK_ACK

Блок CALLING (FSK100) --->

CALLING	SELCAL	8	TYPE	CKSUM
---------	--------	---	------	-------

<--- Начать соединение ODFM

LINK_ACK

Станция, передающая информацию, – ортогональное мультиплексирование с разделением по частоте (изменение цикла 1520 мс)

Несущая 1	MYCALL 0001	CRC
Несущая 2	MYCALL 0001	CRC
Несущая 3	MYCALL 0001	CRC
Несущая 4	MYCALL 0001	CRC

Станция, принимающая информацию, – ортогональное мультиплексирование с разделением по частоте

Несущая 1	ACK (для блока 1)
Несущая 2	ACK (для блока 2)
Несущая 3	ACK (для блока 3)
Несущая 4	ACK (для блока 4)

Процесс соединения начинается в формате DATAPLEX FSK100 и переключается на OFDM после того, как станции ISS и IRS правильно примут синхропакет DPSK. После того как станция ISS примет от станции IRS код ответа LINK_ACK, длительность цикла протокола изменяется с 1020 мс на 1520 мс.

Изменение длительности цикла является критичной точкой протокола соединения. Ошибки могут возникать в двух возможных ситуациях: первая – станция ISS может не слышать ответного кода CS1 станции IRS, и вторая – станция IRS может не слышать первого длинного пакета OFDM станции ISS.

Будут моменты, когда канал будет поддерживать FSK100, но не будет поддерживать OFDM. Когда либо станция ISS, либо станция IRS MAX_OFDM_LINK раз повторяют длинный пакет OFDM (ISS) или ответ CS1 (IRS) и им не удастся успешно установить канал OFDM, обе станции ISS и IRS должны разорвать соединение и вернуться в режим ожидания (STANDBY). MAX_OFDM_LINK является программируемым значением счетчика.

Ниже показан пример, в котором станции ISS не удастся декодировать первый ответный код CS1 от станции IRS. Станция ISS повторяет пакет DPSK_ACQ в цикловом режиме длительностью 1020 мс, ожидая прихода кода CS1, в то время как станция IRS ожидает прихода первого длинного пакета OFDM.

Станция, передающая информацию Станция, принимающая информацию

<--- OVER OK

CS0

Синхропакет DPSK ($T = 0$ мс) --->

DPSK_ACQ

<--- DPSK ACQ OK ($T = 720$ мс + RTT)

CS1

Станция, передающая информацию, не может декодировать CS1! Повторить DPSK_ACQ

Синхропакет DPSK ($T = 1020$ мс) --->

DPSK_ACQ

Синхропакет DPSK ($T = 2040$ мс) --->

DPSK_ACQ

Синхропакет DPSK ($T = 4080$ мс) --->

DPSK_ACQ

<--- DPSK ACQ OK ($T = 720$ мс + RTT + 4080 мс)

CS1

Станция, передающая информацию, – ортогональное мультиплексирование с разделением по частоте (изменение длительности цикла на 2672 мс)

Несущая 1	DBlock 0001	CRC
Несущая 2	DBlock 0002	CRC
Несущая 3	DBlock 0003	CRC
Несущая 4	DBlock 0004	CRC

Станция, принимающая информацию, – ортогональное мультиплексирование с разделением по частоте

Несущая 1	АСК (для блока 1)
Несущая 2	АСК (для блока 2)
Несущая 3	АСК (для блока 3)
Несущая 4	АСК (для блока 4)

В следующем примере станции IRS не удастся декодировать первый длинный пакет OFDM, полученный от станции ISS. Станция ISS начинает передавать длинные пакеты OFDM, но станция IRS не получила хороший пакет до тех пор, пока она не повторит ответный код CS1. Отметим, что второй ответный код IRS передается в течение всего времени, пока станция ISS передает второй длинный пакет OFDM.

Станция, передающая информацию

<--- OVER OK

Синхропакет DPSK ($T = 0$ мс) --->

DPSK_ACQ

<--- DPSK ACQ OK ($T = 720$ мс + RTT)

Станция, принимающая информацию

CS0

CS1

Станция, передающая информацию, – ортогональное мультиплексирование с разделением по частоте (изменение длительности цикла на 2672 мс)

Передать длинный пакет OFDM ($T = 0$ мс) --->

Несущая 1	DBlock 0001	CRC
Несущая 2	DBlock 0002	CRC
Несущая 3	DBlock 0003	CRC
Несущая 4	DBlock 0004	CRC

Станция, принимающая информацию, не может декодировать блок ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте! Повторить CS1

Передать длинный пакет OFDM ($T = 2672$ мс) --->

Несущая 1	DBlock 0001	CRC
Несущая 2	DBlock 0002	CRC
Несущая 3	DBlock 0003	CRC
Несущая 4	DBlock 0004	CRC

<--- DPSK ACQ OK ($T = 720$ мс + RTT + 4080 мс)

CS1

Передать длинный пакет OFDM ($T = 5344$ мс) --->

Несущая 1	DBlock 0001	CRC
Несущая 2	DBlock 0002	CRC
Несущая 3	DBlock 0003	CRC
Несущая 4	DBlock 0004	CRC

Станция, принимающая информацию, – ортогональное мультиплексирование с разделением по частоте

<--- Передать короткий пакет OFDM (1080 мс + RTT + 5344 мс)

Несущая 1	ACK (для блока 1)
Несущая 2	ACK (для блока 2)
Несущая 3	ACK (для блока 3)
Несущая 4	ACK (для блока 4)

Функциональное описание

Модулятор

На рисунке 1 показана архитектура модулятора. Для определения модулятора используется множество параметров, перечисленных в таблице 1. Информационные биты $x_1(n)$ длиной $\log_2(M)*L*N$ сначала разбиваются на N кадров $x_2(m, n)$, как показано на рисунке 3 при $M = 4$. Каждый из N параллельных каналов длиной $\log_2(M)*L$ скремблируется, превращаясь в кадры $x_2(m, n)$. Эти скремблированные кадры затем преобразуются в символы сигнала размером L на N $x_4(m, n)$ и дифференциально кодируются в символы $x_5(m, n)$. Для упрощения синхронизации добавляется последовательность длиной в S символов, в результате чего получается сигнал $x_6(m, n)$ размером $(L + S)$ на N символов. Сигнал $x_6(m, n)$ размером $(L + S)$ на N символов подается на вход комплексного обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ), на выходе которого получаем сигнал $x_7(m, n)$ с частотой дискретизации $fs1$. Затем добавляется циклическое расширение длиной P символов, в результате получается сигнал $x_8(m, n)$ из $(L + S)$ на $(N + P)$ отсчетов. Эти отсчеты затем преобразуются из параллельной формы в последовательную, в результате чего получается комплексный сигнал $x_9(n)$ с частотой дискретизации $fs2$ и длиной $(L + S)*(N + P)$. Модулированный сигнал интерполируется со степенью R , в результате чего получается $(L + S)*(N + P)*R$ отсчетов $x_{10}(n)$ с частотой дискретизации $fs3$. Повышающий конвертор преобразует комплексный модулированный сигнал в базовой полосе частот в реальный сигнал на частоте передачи $x_{11}(n)$, который подается на вход цифроаналогового преобразователя (ЦАП). Ниже приведено подробное описание отдельных блоков.

ТАБЛИЦА 1

Описание параметров модулятора

Параметр	Описание
N	Длина ОБПФ
P	Длина расширения в отсчетах
M	Порядок ФМн
L	Количество параллельных символов в пакете
R	Коэффициент интерполяции
S	Число синхросимволов
F_s	Частота дискретизации (Гц)

Выбор проектных параметров

Выходной сигнал модулятора содержит спектр звукового сигнала с шириной полосы частот от 300 до 3000 Гц по уровню 3 дБ и центральной частотой 1700 Гц. В таблице 2 показаны значения параметров модулятора для шести возможных комбинаций параметров. Количество фаз ФМн (M) равно либо 4, либо 8. Количество поднесущих (N) может быть $N = 16, 32$ или 64 и выбирается таким образом, чтобы результирующая ширина полосы подканала или символьная скорость была бы менее 200 Гц. Частота дискретизации аудио-КОДЕКа была выбрана такой, чтобы выполнялся критерий Найквиста, и установлена равной $F_s = 8$ кГц. Степень интерполяции установлена равной $R = 3$, в результате чего общая символьная скорость передачи получается равной $8000/3 = 2666,66$ Гц, а ширина полосы сигнала имеет примерно такое же значение. Значения, выбранные для ВЧ-модема, таковы $N = 32$ и $M = 4$.

ТАБЛИЦА 2

Значение параметров модулятора

<i>N</i>	<i>P</i>	<i>M</i>	<i>L</i> длинный	<i>L</i> короткий	<i>R</i>	<i>S</i>	<i>F_s</i>
16	2	4	288	32	3	8	8000
32	4	4	144	16	3	4	8000
64	8	4	72	8	3	2	8000
16	2	8	288	32	3	8	8000
32	4	8	144	16	3	4	8000
64	8	8	72	8	3	2	8000

Формат кадра определен таким, что в одном длинном пакете передается 64 кадра, вне зависимости от *N*. Для случая, когда *N* = 32, в каждом из *N* = 32 подканалов передается по два кадра. Общее описание параметров и эффективное значение пропускной способности приведены в таблице 3.

РИСУНОК 1

Модулятор ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте

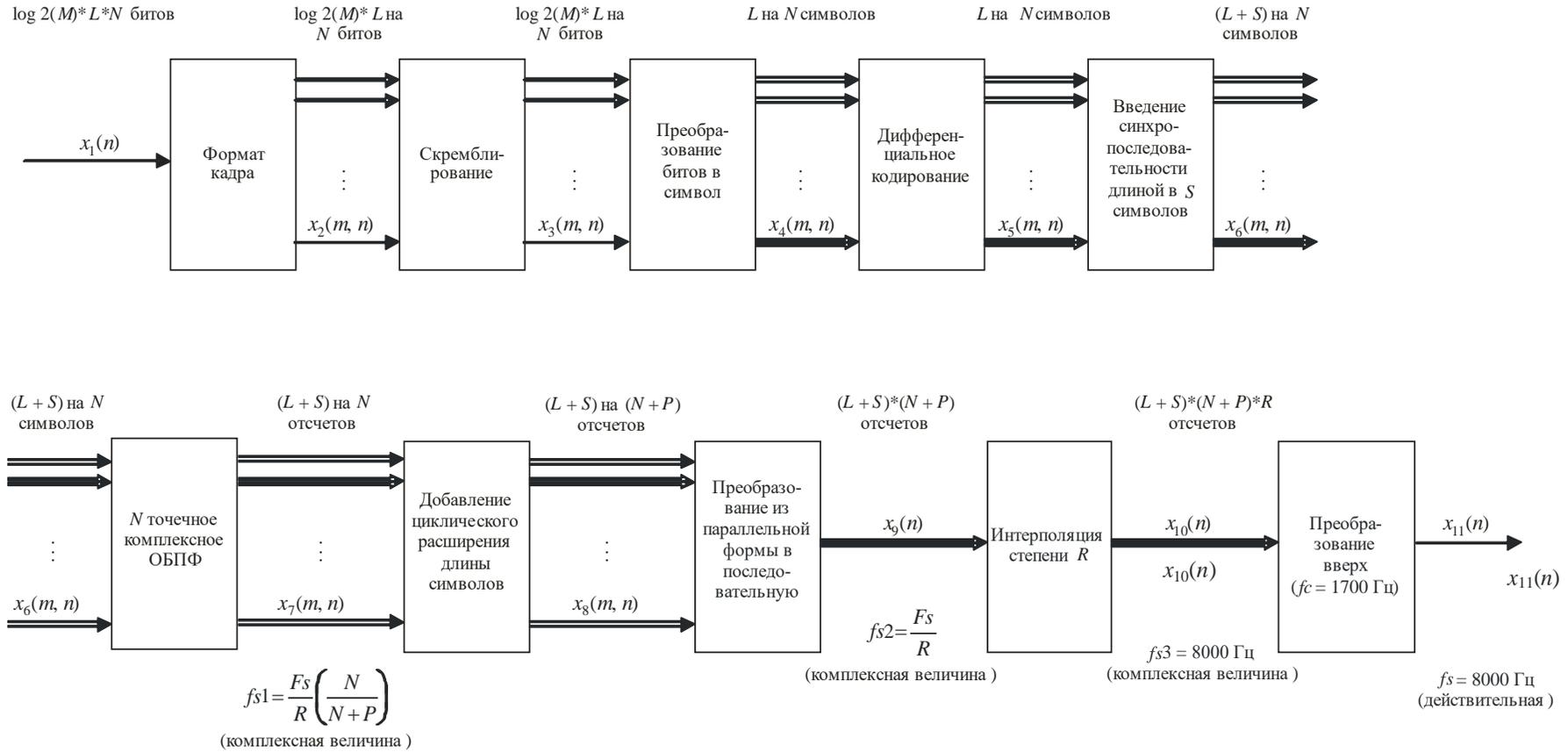


ТАБЛИЦА 3

Параметры модема ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте

	$M = 4$ $N = 32$
Частота дискретизации на выходе (F_s) (отсчет/с)	8000
Размер ОБПФ (N)	32
Длина расширения (P) (с)	4
Степень интерполяции (R)	3
Число символов данных в пакете (L)	144
Число синхросимволов в пакете (S)	4
Число фаз модуляции (M)	4
Частота дискретизации на выходе ОБПФ (отсчет/с)	2370,3704
Число битов на входе	9216
Число символов на входе	4608
Число символов на входе ОБПФ	4736
Частота дискретизации с расширением (отсчет/с)	2666,6667
Длина пакета (с)	1,998
Общая пропускная способность (бит/с)	4612,6126
Символьная скорость в канале (отсчет/с)	83,333333
Число синхросимволов в коротком пакете (S)	4
Число символов данных в коротком пакете (L)	16
Длина короткого пакета (с)	0,27
Задержка распространения (с)	0,224
Расстояние между пакетами (с)	2,492
Число байтов в кадре	36
Число байтов в заголовке	4
Число байтов в CRC	4
Эффективная пропускная способность (бит/с)	2876,4045
Коэффициент использования	0,6235955

Значение P было выбрано таким, чтобы длина пакета (с) была больше, чем максимальная задержка распространения в ВЧ-канале. Предполагая, что максимальная задержка составляет 2 мс (см. Рекомендацию [МСЭ-R F.1487](#)), требуемое число отсчетов при частоте дискретизации $F_s = 8000$ Гц равно как минимум 16. Для случая, когда $N = 32$, расширение равно 1,5 мс ($P = 4$).

Результаты анализа пропускной способности, полученные с использованием выбранных параметров модема, показаны в таблице 4. Сигнал, создаваемый модулятором OFDM, передается по каналу ВЧ с использованием модели, определенной в Рекомендации [МСЭ-R F.1487](#). Все модели тестировались с использованием 6400 кадров или 100 пакетов.

ТАБЛИЦА 4

**Результаты моделирования пропускной способности
для различных значений длины расширения**

Размер ОБПФ (<i>N</i>)	Расширение (<i>P</i>)	Число фаз (<i>M</i>)	Пропускная способность <i>хорошего</i> канала (бит/с)	Пропускная способность <i>умеренного</i> канала (бит/с)	Пропускная способность <i>плохого</i> канала (бит/с)
32	4	4	2088,3	1632,2	467,7
32	8	4	1906,6	1547,8	1076,5
32	16	4	1561,9	1481,4	519,6

На выбор остальных параметров модема оказывает влияние величина длины пакетов или то, сколько информации и служебных битов должно использоваться в каждом пакете. Для модема OFDM выбран протокол ARQ, аналогичный тому, который используется в системе DATAPLEX, за исключением того, что количество подтверждений на один пакет нужно умножить на 64. Выбор параметров длины пакета *L* и *S* в таблице 3 определяется по результатам анализа качественных показателей ARQ.

Качественные показатели протокола ARQ могут быть описаны коэффициентом использования (η), который представляет собой процент времени, когда передача активна, в предположении, что всегда имеется кадр, который нужно передать. Для случая безошибочных передачи и приема этот коэффициент имеет вид:

$$\eta = \frac{T_f}{T_f + 2\tau + T_p + T_a}, \quad (1)$$

где:

- T_f : длина кадра;
- τ : задержка распространения в одном направлении;
- T_p : время обработки кадра;
- T_a : длина подтверждения пакета.

Максимальное значение величины $\eta = 1$, оно указывает максимальную степень использования. Выбор параметров, которые приводят к максимальному значению η , оптимизирует качественные характеристики схемы ARQ.

Для канала, в котором вероятность неудачной передачи кадра данных или подтверждения равна P_f , коэффициент использования имеет вид:

$$\eta = \frac{T_f}{(T + T_f) \frac{P_f}{1 - P_f} + (T_f + 2\tau + T_p + T_a)}, \quad (2)$$

где T – время повторной передачи. Отметим, что для $P_f = 0$ уравнение (2) превращается в уравнение (1). Одним из методов определения параметров ARQ является фиксация величин T , τ , T_p и T_a ; и выбор оптимального значения T_f для данной P_f .

Предположим, что для $N = 64$ короткий пакет требует наличия $L = 8$ символов для передачи подтверждения и $S = 2$ символов для синхронизации. Для $N = 32$ и $N = 16$ выбираются такие параметры, при которых получается та же самая длина (мс), что и для $N = 64$. В результате этого получаем короткий пакет длиной $T_a = 270$ мс. Предположим, что максимальная задержка распространения в одном направлении $\tau = 110$ мс, как в системе DATAPLEX, что позволяет вести передачи в одном направлении на расстояния более 20 625 миль. Время обработки кадра T_p намного меньше, чем все остальные параметры, и для настоящего анализа устанавливается равным 100 мс.

Общая символьная скорость $fs = 2666,6$ Гц с $M = 4$ и $N = 64$ приводит к получению эффективной скорости передачи в подканале $R_b = \log 2(M) * fs / N = 83,33$ Гц. Количество битов в кадре равно:

$$N_b = R_b T_f, \quad (3)$$

и вероятность ошибки кадра равна:

$$P_f = P_e N_b, \quad (4)$$

где P_e – вероятность ошибки бита. Время повторной передачи равно:

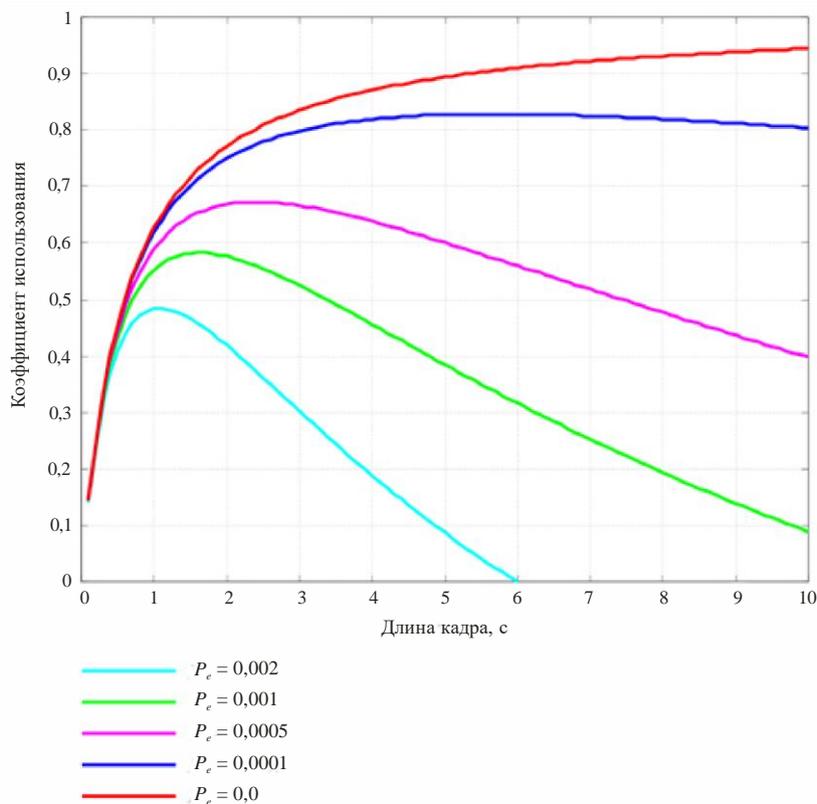
$$T = T_f + T_a + \tau. \quad (5)$$

Процедура оптимизации предполагает использование уравнения (2) и нахождение максимального значения величины η как функции от T_f для данной P_e .

На рисунке 2 показаны кривые оптимизации для вероятностей ошибок по битам $P_e = 0,002, 0,001, 0,0005, 0,0001$ и $0,0$. В первой попытке выбора размера пакета длину кадра пытались сделать почти такой же, как в системе DATAPLEX. В длинном пакете выбор $L = 144$ для $N = 32$ привел к получению длины пакета = 1,998, как показано в таблице 3. При таком размере пакета (1,998) результирующий коэффициент использования является почти оптимальным для P_e около 0,001.

РИСУНОК 2

Использование автоматического запроса повторения ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте



Формат длинного кадра

Каждый пакет состоит из 64 кадров, каждый из которых имеет 16-битовый порядковый номер (SEQ_NUM), информационные биты (INFORMATION) и 16-битовый код циклической проверки по избыточности (CRC). Для $M = 4$ имеется в общей сложности 14 байтов INFORMATION, размер кадра составляет 18 байтов. На рисунке 3 показана структура кадра для $M = 4$. Входной сигнал устройства форматирования кадров имеет $\log 2(M)*L*N$ битов, и на его выходе получается N параллельных кадров, состоящих из $\log 2(M)*L$ битов.

Циклическая проверка по избыточности

Для проверки того, содержит ли принятый кадр какие-либо ошибки, используется CRC. Это та же самая CRC, что используется в системе DATAPLEX и передается в каждом из 64 кадров длинного пакета. CRC – это стандартизованная МСЭ-Т последовательность с полиномиальным генератором.

$$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1. \quad (6)$$

Порядковые номера

Порядковый номер длиной 16 битов вводится в начало каждого из 64 кадров пакета. Они используются для указания на приемнике, каким должен быть порядок следования кадров при преобразовании сигнала из параллельной формы в последовательную. Порядковые номера также дают возможность использовать для передачи все 64 кадра в пакете. Создание последовательности – это функция уровня протокола и выходит за рамки настоящей Рекомендации.

РИСУНОК 3

Структура кадра для $M = 4$

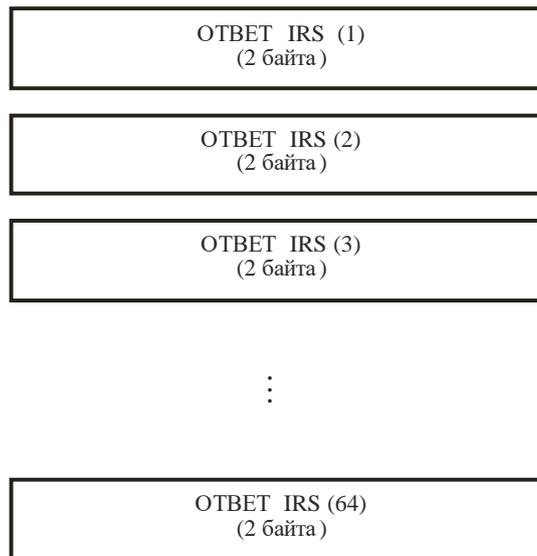
SEQ_NUM (1)	ИНФОРМАЦИЯ (1) (14 байтов)	CRC (1)
SEQ_NUM (2)	ИНФОРМАЦИЯ (2) (14 байтов)	CRC (2)
SEQ_NUM (3)	ИНФОРМАЦИЯ (3) (14 байтов)	CRC (3)
⋮		
SEQ_NUM (n)	ИНФОРМАЦИЯ (n) (14 байтов)	CRC (n)

M.1798-03

Формат короткого кадра

Короткие кадры используются как подтверждение приема длинного кадра и имеют те же функции, что и символы ответа IRS в системе DATAPLEX. Порядковый номер или CRC не требуется. На рисунке 4 показаны форматы кадра для $M = 4$. В системе DATAPLEX ОТВЕТ IRS имеет длину 8 битов. Для модема OFDM ОТВЕТ IRS длиннее и имеет длину 16 или 24 бита, позволяя, таким образом, реализовать лучшие кросс-корреляционные свойства ОТВЕТА IRS, чем DATAPLEX.

РИСУНОК 4
Структура кадра для $M = 4$



М.1798-04

Скремблер

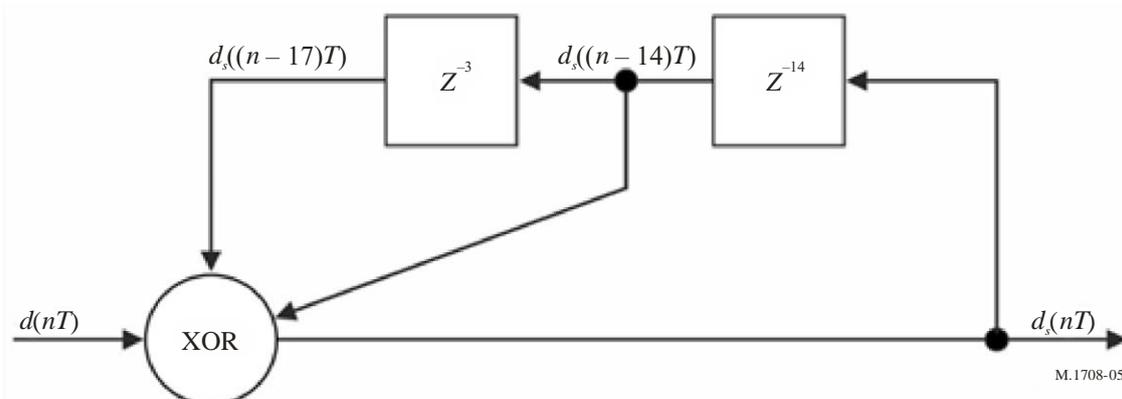
Каждый из 64 кадров в каждом пакете скремблируется для достижения двух положительных эффектов. Скремблирование создает битовые структуры, которые имеют статистические свойства, которые улучшают качество работы алгоритмов синхронизации. Другим результатом скремблирования в протоколе OFDM является введение рандомизации фаз подканалов. Поскольку модуляция OFDM представляет собой сумму из N отдельных сигналов, ограниченных по полосе, рандомизация фазы уменьшает отношение пиковой мощности к средней в модулированном сигнале. В отсутствие скремблирования появляется большой потенциал для генерации больших выбросов амплитуды, хотя возможность появления выбросов амплитуды остается и при скремблировании.

Скремблер определяется полиномом $1 + x^{14} + x^{17}$ или рекурсивным уравнением:

$$d_s(nT) = d(nT) \text{ XOR } d_s((n - 14)T) \text{ XOR } d_s((n - 17)T). \quad (7)$$

Для реализации скремблера требуется 17-позиционный регистр с функцией "исключающее или", как показано на рисунке 5.

РИСУНОК 5
Скремблер битов



М.1708-05

Для предотвращения возможности получения в различных кадрах одной и той же структуры скремблирования начальная фаза для каждого из 64 кадров отличается на одну итерацию.

Для первого кадра начальная фаза определяется в процессе стартовой установки регистра начального состояния в 0, подачей на вход переменного сигнала 0/1, и выполнения 18 шагов итераций. Скремблирование последующих кадров выполняется точно так же, за исключением того, что число итераций каждый раз увеличивается на единицу. Для экономии времени обработки регистры начального состояния могут храниться в таблице и для начальной установки скремблера каждый раз считываться.

Преобразование бита в символ

Для $M = 4$ существует четыре возможных значения фазы, причем каждая фаза соответствует двум битам или одному символу. Биты сначала преобразуются в символы, представленные значениями фазы, как показано в таблице 5. Другой способ представления символов показан в виде амплитуд I и Q комплексного сигнала. Отметим, что для $M = 4$ фаза растянута на интервале длиной $\pi/2$. На рисунке 6 показано двумерное представление этого преобразования.

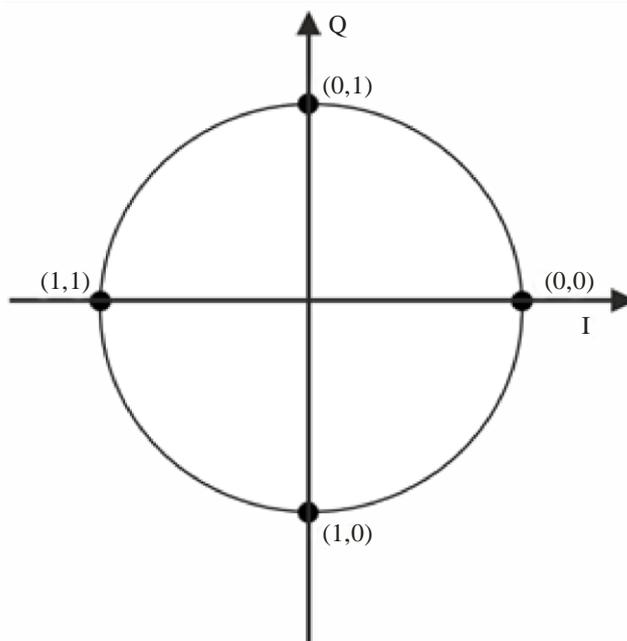
ТАБЛИЦА 5

Преобразование бита в символ для $M = 4$

Входные пары битов x_b		Значение I	Значение Q	Выходная фаза
0	0	0	0	0
0	1	0	1	$\pi/2$
1	0	0	-1	$-\pi/2$
1	1	-1	0	π

РИСУНОК 6

Преобразование для $M = 4$



M.1708-06

Дифференциальное кодирование

Символы на выходе преобразования бита в символ дифференциально кодируются в виде суммы с нарастающим итогом:

$$\psi(n) = [\psi(n-1) + \phi(n)]_{\text{mod } 2\pi}, \quad (8)$$

где $\psi(n)$ – кодированная выходная фаза, а $\phi(n)$ – фаза преобразований по таблице 5. Для $M = 4$ возможны следующие значения фазы $[0, \pi/2, \pi, 3\pi/2]$.

Последовательность синхросигналов

Для упрощения синхронизации в демодуляторе, в начале каждого из N параллельных импульсов до ОБПФ добавляется S символов. Существуют методы, которые могут обеспечивать синхронизацию с помощью не более двух символов или вообще без символов. Чем больше таких символов, тем лучше оценка синхронизации за счет снижения пропускной способности.

Методика синхронизации в OFDM отличается от методики синхронизации модема с одной несущей. В OFDM синхронизирующая информация используется для определения момента времени применения БПФ, в отличие от определения момента времени, когда требуется дискретизировать отдельный символ. В описании демодулятора содержится больше сведений о синхронизации.

В методе синхронизации, описанном в настоящей Рекомендации, используется избыточность, созданная циклическим расширением, что исключает необходимость иметь последовательность синхросигналов. Последовательность синхросигналов включена для возможного использования в будущем.

Обратное быстрое преобразование Фурье

ОБПФ – это основная функция обработки в OFDM-модуляторе. Она объединяет все отдельные параллельные сигналы и делает их ортогональными. Комплексное ОБПФ описывается уравнением:

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j2\pi nk/N}; \quad n = 0, 1, 2, \dots, N-1, \quad (9)$$

где N – размер ОБПФ, $X(k)$ – входные символы, и $x(n)$ – выходные отсчеты. Отметим, что ОБПФ вычисляется по блокам из N отсчетов, следовательно, требует, чтобы входной сигнал имел длину, кратную N . Кроме того, отметим, что длина выходного сигнала равна длине входного и составляет $(L + S)$ по N отсчетов. Частота дискретизации на выходе ОБПФ определяется уравнением:

$$f_{sl} = \frac{Fs}{R} \left(\frac{N}{N+P} \right). \quad (10)$$

Циклическое расширение

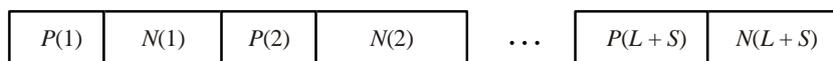
Для противостояния эффектам многолучевости в ВЧ-канале выходной сигнал ОБПФ подвергается циклическому расширению длиной P , состоящему из последних выходных сигналов P каждого цикла ОБПФ. Это позволяет сохранять ортогональность поднесущих в условиях многолучевости, что уменьшает влияние помех между поднесущими. Размер P выбирается на основе величины максимальной задержки распространения в канале. Выше, для $N = 32$ выбраны значения $P = 4$ и 8 .

Преобразование из параллельной формы в последовательную

После добавления циклического префикса сигнал из $(L + S)$ на $(N + P)$ отсчетов преобразуется из параллельной формы в последовательную, в результате чего получается $(L + S) \cdot (N + P)$ отсчетов со скоростью $Fs/R = 8000/3 = 2666,67$ Гц. Эта структура показана на рисунке 7.

РИСУНОК 7

Структура выходного отсчета процесса преобразования из параллельной формы в последовательную



М.1798-07

Каждый $N + P$ блок отсчетов можно рассматривать как отдельный широкополосный символ, и в каждом пакете содержится $L + S$ отсчетов.

Устройство интерполяции

Для преобразования частоты дискретизации 2666,67 Гц в частоту дискретизации 8000 Гц используется фильтр интерполяции, представляющий собой фильтр с конечной импульсной характеристикой и линейной фазой. Выходной отсчет имеет желаемую частоту цифроаналогового преобразователя (ЦАП). Этот фильтр разрабатывается с использованием минимизации ошибок по методу наименьших квадратов с окном Хемминга. Степень интерполяции $R = 3$, а длина фильтра составляет 33. Спектральная и импульсная характеристики показаны на рисунке 8. На рисунке 9 показан спектр немодулированного сигнала на входе модулятора.

РИСУНОК 8

Характеристика фильтра интерполяции

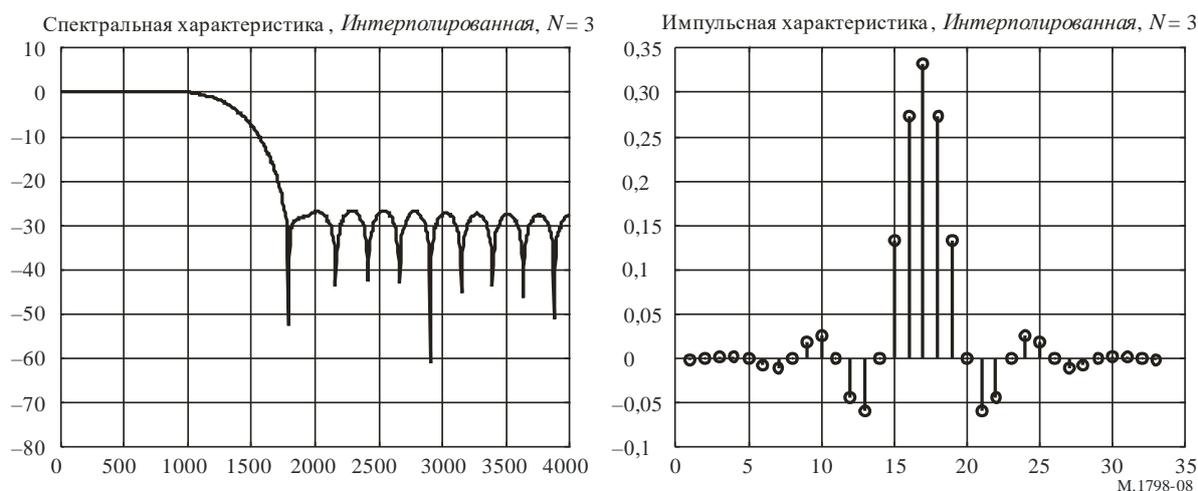
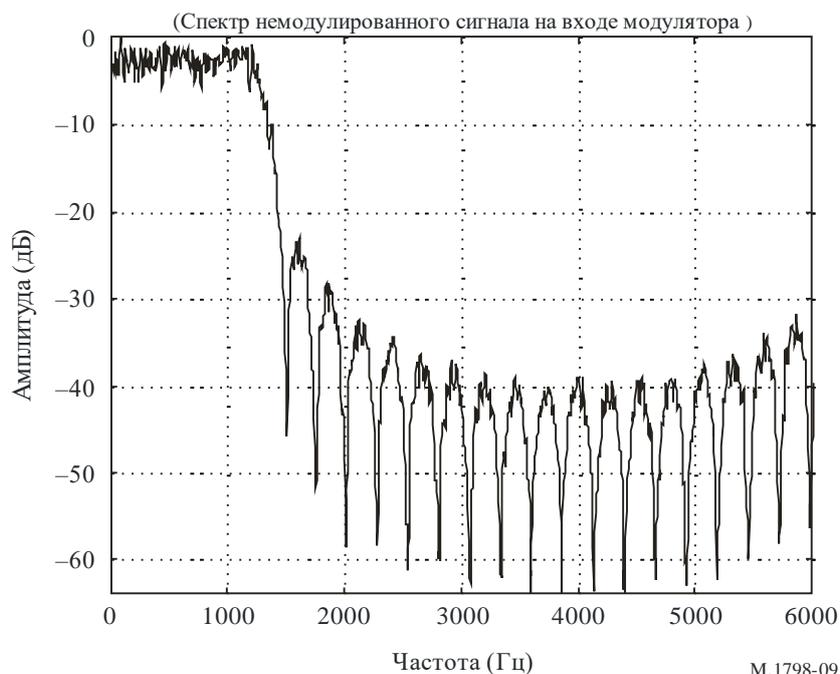


РИСУНОК 9

Спектр немодулированного на входе модулятора

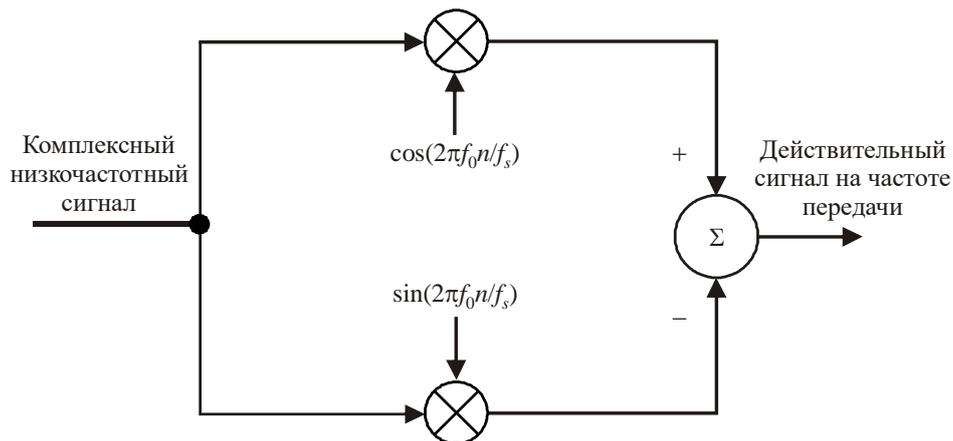


Преобразователь вверх

Преобразователь вверх преобразует немодулированный низкочастотный сигнал в передаваемый сигнал, смешивая его с синусными и косинусными сигналами несущей частоты $f_c = 1700$ Гц и суммируя, как показано на рисунке 10. Этот процесс также преобразует сигнал из комплексной формы в действительную, требуемую для подачи на вход ВЧ-радиостанции. Finalный сигнал с выходной частотой дискретизации подается на цифроаналоговый преобразователь, для того чтобы получить аналоговый сигнал. Спектр сигнала OFDM показан на рисунке 11.

РИСУНОК 10

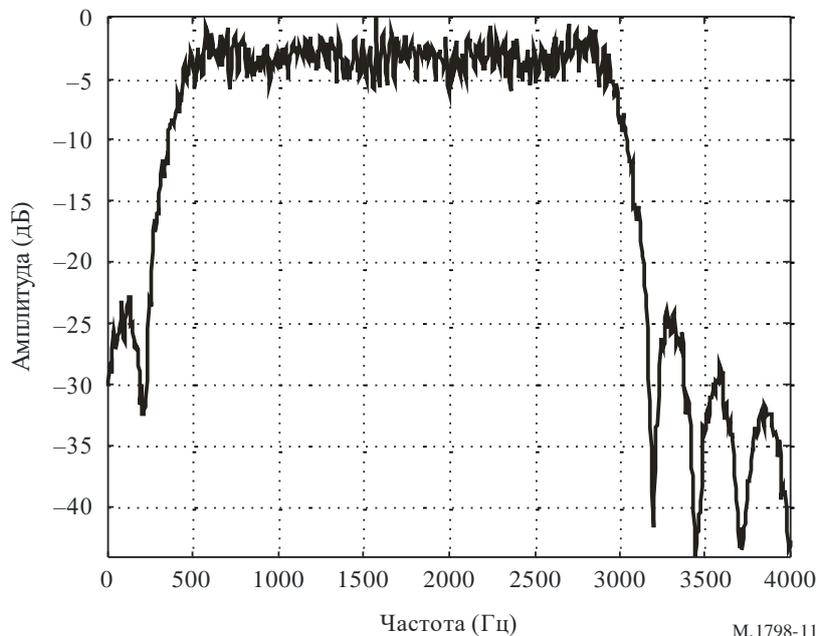
Преобразователь вверх



М.1798-10

РИСУНОК 11

Спектр сигнала в полосе пропускания модулятора



М.1798-11

Демодулятор

На рисунке 12 показана архитектура демодулятора. Сигнал с выхода аналого-цифрового преобразователя $y_1(n)$ с частотой дискретизации 8000 Гц и длиной $(L + S) \cdot (N + P) \cdot R$ преобразуется вниз из действительного сигнала в полосе передаваемых частот в комплексный низкочастотный сигнал $y_2(n)$. Комплексный сигнал $y_2(n)$ также используется для синхронизации и восстановления

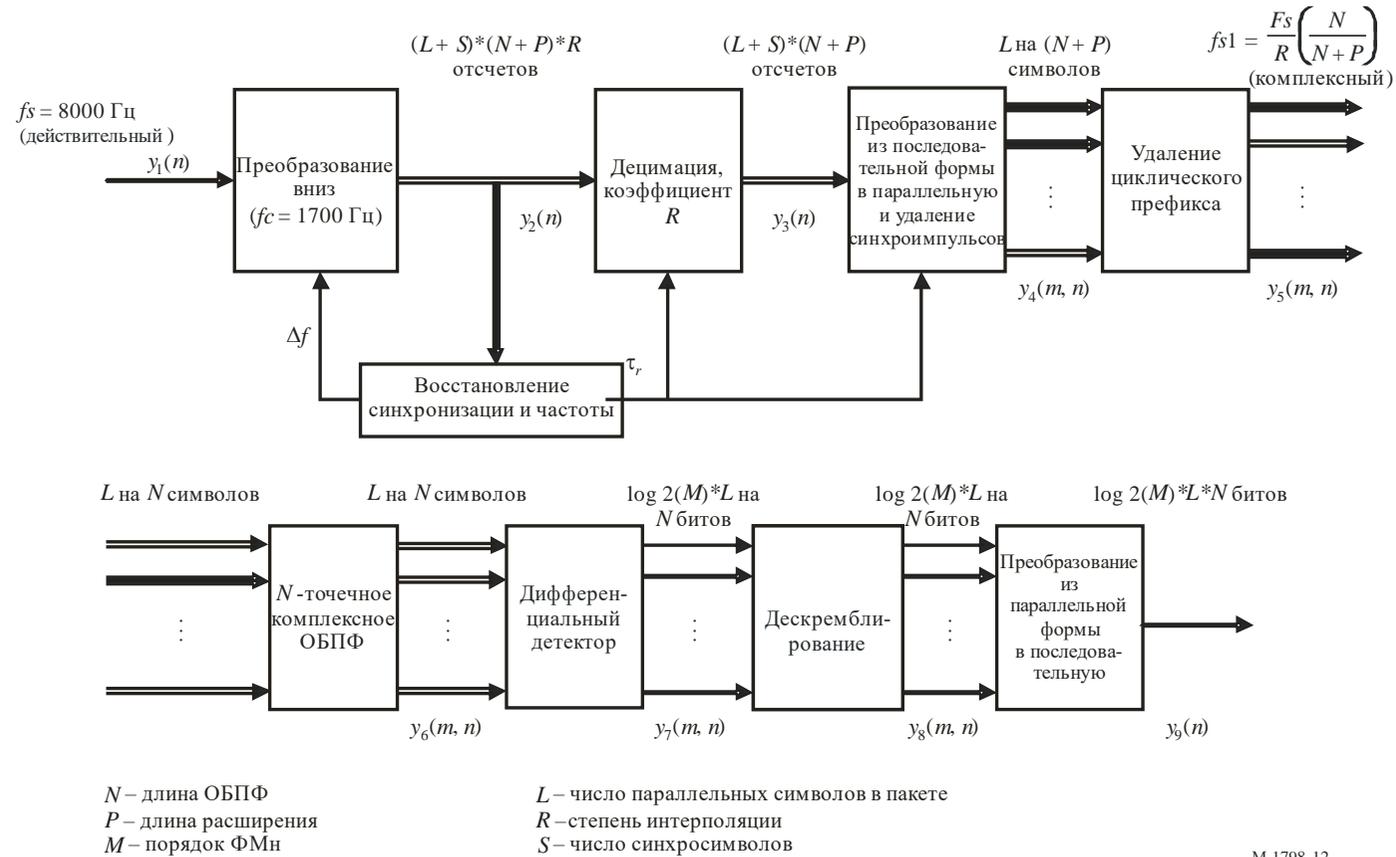
частоты. Сдвиг частоты Δf используется в преобразователе вниз, а восстановление синхронизации τ_r используется для выбора первого символа в циклическом префиксе. К выходному сигналу преобразователя вниз $y_2(n)$ применяется процедура децимации с коэффициентом R , которая превращает его в последовательность $y_3(n)$ из $(L + S) * (N + P)$ отсчетов. Синхросимволы затем удаляются, и сигнал преобразуется из последовательной формы в параллельную, принимая вид сигнала $y_4(m, n)$, состоящего из L на $(N + P)$ символов. Отметим, что на этом этапе в демодуляторе существует по одному отсчету на символ, поэтому термины "отсчет" и "символ" могут быть взаимозаменяемыми. Циклический префикс удаляется, в результате получаем сигнал $y_5(m, n)$ размером L на N символов с частотой дискретизации, равной:

$$fs1 = \frac{Fs}{R} \left(\frac{N}{N+P} \right). \quad (11)$$

Затем к сигналу $y_5(m, n)$ применяется комплексное быстрое преобразование Фурье (БПФ), в результате чего получаем сигнал $y_6(m, n)$, размером L на N символов. Затем декодер восстанавливает символы, используя дифференциальный метод, который устраняет необходимость восстановления фазы несущей, но все же требует восстановления частоты несущей. Частота восстанавливается для всех поднесущих одновременно и восстановления частоты отдельных несущих не требуется. Детектирование выполняется отдельно на каждой из N поднесущих. Символы на выходе детектора преобразуются в сигнал $y_7(m, n)$ размером $\log 2(M) * L$ на N битов с использованием того же принципа преобразования, что и в модуляторе. Биты дескремблируются с использованием процесса, обратного тому, что применялся в модуляторе, в результате чего получаем сигнал $y_8(m, n)$ размером $\log 2(M) * L$ на N битов. Эти биты в итоге преобразуются из параллельной формы в последовательную, давая на выходе сигнал $y_9(n)$ из $\log 2(M) * L * N$ битов. Ниже подробно описаны отдельные блоки.

РИСУНОК 12

Демодулятор дифференциальной фазовой манипуляции

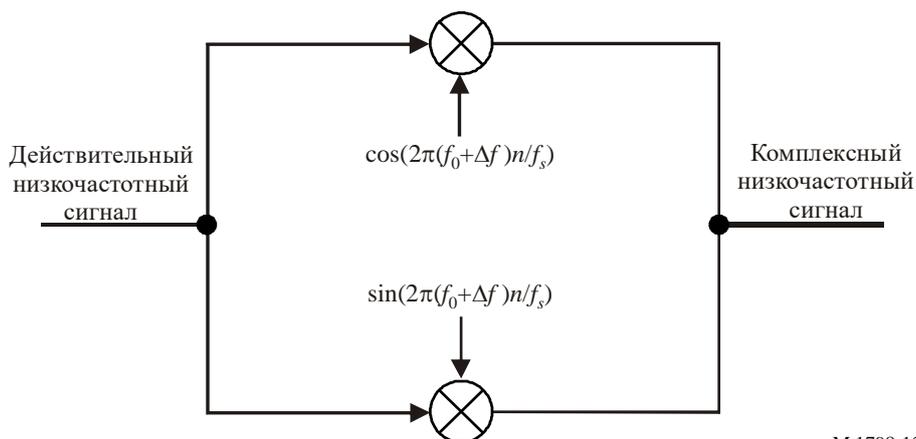


Преобразователь вниз

Преобразователь вниз, показанный на рисунке 13, выполняет операцию, обратную той, которую в модуляторе выполняет преобразователь вверх, за исключением того, что несущая частота адаптивно обновляется на основе сигнала, получаемого на выходе устройств анализа восстановления несущей частоты. Входной сигнал смешивается с квадратурными синусными сигналами на восстановленной несущей частоте $f_0 + \Delta f$. Несущая частота равна $f_0 = 1700$ Гц, частота дискретизации $f_s = 8000$ Гц, и сдвиг частоты составляет Δf . На рисунке 14 показан спектр результирующего выходного сигнала. Отметим, что наблюдается нежелательное дублирование спектра с центром на частоте $2 \cdot f_0 = 3400$ Гц, которое удаляется на следующем этапе обработки.

РИСУНОК 13

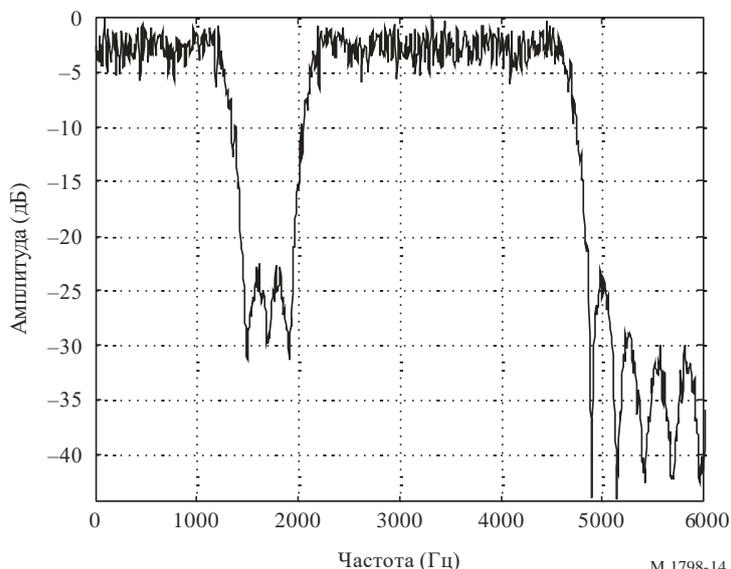
Преобразователь вниз



М.1798-13

РИСУНОК 14

Спектр сигнала преобразователя вниз



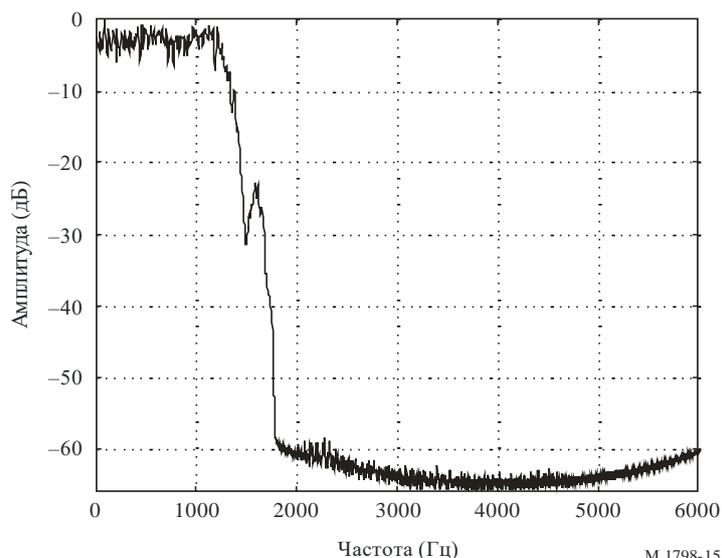
М.1798-14

Децимация

Комплексный сигнал с выхода преобразователя вниз подвергается процедуре децимации с коэффициентом $R = 3$, в результате чего частота синхронизации уменьшается с 8000 Гц до $8000/3 = 2666,67$ Гц, для выполнения этого используется тот же фильтр, который применялся в модуляторе для интерполяции. После децимации повторная полоса с центром на частоте 3400 Гц отфильтровывается, в результате остается комплексный низкочастотный сигнал. На рисунке 15 показан результирующий спектр выходного сигнала.

РИСУНОК 15

Спектр отфильтрованного выходного сигнала преобразователя вниз



М.1798-15

Восстановление синхронизации и частоты

В демодуляторе имеется две неопределенности – это время прибытия символа OFDM и несущая частота. Из таблицы 3 видно, что частота дискретизации низкочастотного сигнала = 2666,7 отсчета/с, а символьная скорость = 83,33 символа/с. В результате получается 16 отсчетов/символ. Метод восстановления синхронизации использует исходную частоту пакета для восстановления исходной частотой частоты синхронизации и отсчетов в середине каждого символа. Разрешение равно $1/16$ символа, и идеальная длительность отсчетов соответствует восьми символам в одном символе.

Модуляция OFDM чувствительна к сдвигу по частоте, и восстановление частоты должно выполняться с точностью до 1 Гц. Алгоритм восстановления частоты позволяет точно восстанавливать частоты, сдвинутые на величину до ± 50 Гц.

Для того чтобы принять передачи от судов, ведущиеся вне полосы частот, береговые приемники сети автоматически отслеживают внеполосные судовые передачи в допустимых законодательством пределах, для того чтобы оптимизировать пропускную способность. Такая внеполосная работа регистрируется, и о ней сообщается в службу поддержки пользователя, для того чтобы организовать обслуживание судового оборудования.

Ухудшение связи из-за сдвига частоты

Важность восстановления частоты в OFDM иллюстрируется путем сравнения ухудшений, получающихся в результате сдвига несущей частоты и из-за фазового шума Винера для сигналов OFDM с несколькими несущими и сигналов с одной несущей. Далее приводятся результаты анализа ухудшения коэффициента ошибок по битам из-за сдвига несущей частоты и из-за фазового шума в канале с аддитивным белым гауссовским шумом (AWGN). Представлены результаты для сигнала как с одной несущей, так и с несколькими несущими, и показано, что сигналы с несколькими несущими более чувствительны к обоим параметрам ухудшения.

$$D \approx \left\{ \begin{array}{l} \frac{10}{\ln 10} \cdot \frac{1}{3} \left(\pi N \frac{\Delta F}{R} \right)^2 \frac{E_s}{N_0} \quad \text{OFDM} \\ \frac{10}{\ln 10} \cdot \frac{1}{3} \left(\pi \frac{\Delta F}{R} \right)^2 \quad \text{SC} \end{array} \right\}, \quad (12)$$

где N – число каналов OFDM, ΔF – сдвиг частоты в Гц, а R – символьная скорость. Кроме того, отношение S/N описывается выражением E_s/N_0 .

$$D \approx \left\{ \begin{array}{l} \frac{10}{\ln 10} \cdot \frac{11}{60} \left(4\pi N \frac{\beta}{R} \right) \frac{E_s}{N_0} \quad \text{OFDM} \\ \frac{10}{\ln 10} \cdot \frac{1}{60} \left(4\pi \frac{\beta}{R} \right) \frac{E_s}{N_0} \quad \text{SC} \end{array} \right\}, \quad (13)$$

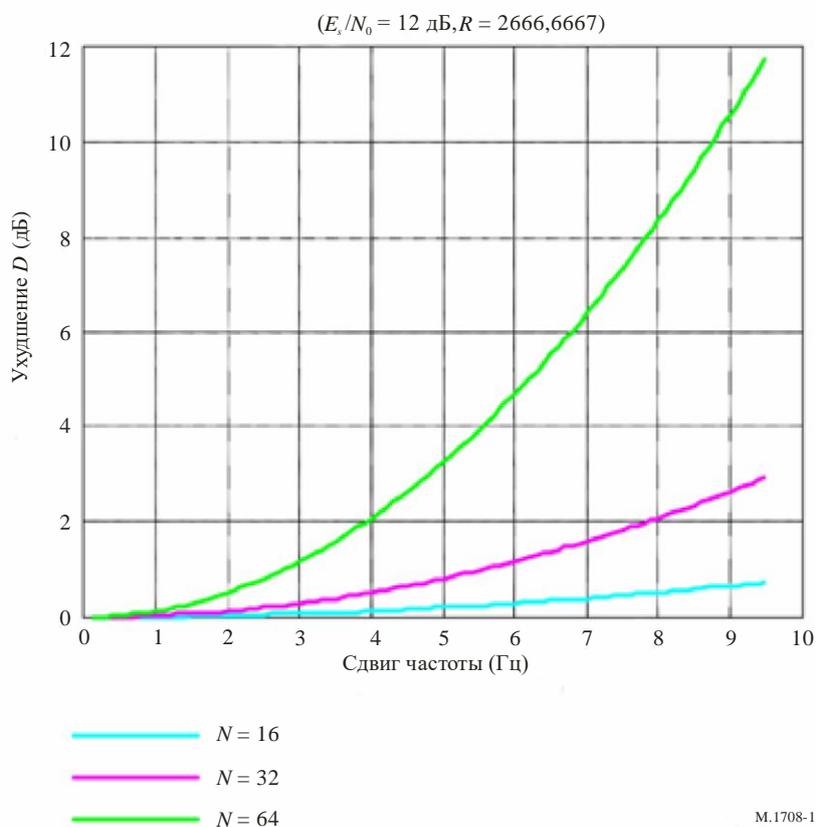
где β связано с изменением фазы несущей θ выражением:

$$\sigma_\theta^2 = 4\pi\beta. \quad (14)$$

Эти уравнения применяются к сигналам, модулированным в режимах M-PSK и M-QAM. Для такого анализа целевым значением коэффициента ошибок по битам является величина 10^{-3} , которая для модуляции 4-DPSK соответствует значению E_s/N_0 , равному примерно 12 дБ. Ухудшение для OFDM из-за сдвига частоты показано на рисунке 16. Отметим, что для больших значений N ухудшение становится заметнее.

РИСУНОК 16

Ухудшение качества ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте из-за сдвига частоты



Преобразование из последовательной формы в параллельную

На выходе дециматора имеется $(L + S) \cdot (N + P)$ комплексных отсчетов. Синхросимволы удаляются, и отсчеты преобразуются из последовательной формы в параллельную, в результате чего получается сигнал размером L на $(N + P)$ символов.

Удаление циклического префикса

Из сигнала размером L на $(N + P)$ символов удаляется циклический префикс, в результате чего получается сигнал размером L на N символов.

Быстрое преобразование Фурье

Быстрое преобразование Фурье (БПФ) – главная функция обработки в демодуляторе OFDM. Комплексное БПФ описывается уравнением:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi nk/N} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1, \quad (15)$$

где N – это размер БПФ, $x(n)$ – входные символы, и $X(k)$ – выходные отсчеты. Отметим, что БПФ вычисляется по блокам из N , и, следовательно, на его входе требуется входной сигнал длиной, кратной N . Кроме того, отметим, что длина выходного сигнала равна длине входного и составляет L на N отсчетов. Частота дискретизации на выходе БПФ описывается уравнением:

$$f_{sl} = \frac{Fs}{R} \left(\frac{N}{N+P} \right). \quad (16)$$

Дифференциальное детектирование

Детектирование выходных символов основано на различиях их фаз, а не на значениях абсолютных фаз сигнала ФМн, отсюда появилось название ДФМн. Ниже описывается детектирование одного символа и нескольких символов.

Дифференциальное детектирование одного символа

Дифференциальное кодирование фазы символа выполняется следующим образом:

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} + \Delta\varphi_k. \quad (17)$$

Принимаемые символы, обозначенные r_k , детектируются с применением правила принятия решения.

Выбирается $\Delta\hat{\varphi}_k$, если $\text{Re}\{r_k r_{k-1}^* e^{-j\Delta\hat{\varphi}_k}\}$ максимально.

Для $M = 4$ -PSK в процессе принятия решения выбирается наибольшее из четырех значений.

Дифференциальное детектирование двух символов

Качество дифференциального детектирования можно повысить, если принимать решение на основании нескольких символов, а не отдельного символа. Для каналов AWGN с увеличением числа символов, используемых в дифференциальном детектировании, значение КОБ приближается к значению для когерентного детектирования.

Правило принятия решения для двухсимвольного детектора имеет вид:

Выбирается $\Delta\hat{\varphi}_k$ и $\Delta\hat{\varphi}_{k-1}$, если $\text{Re}\{r_k r_{k-1}^* e^{-j\Delta\hat{\varphi}_k} + r_{k-1} r_{k-2}^* e^{-j\Delta\hat{\varphi}_{k-1}} + r_k r_{k-2}^* e^{-j(\Delta\hat{\varphi}_k + \Delta\hat{\varphi}_{k-1})}\}$ максимально.

Для случая $M = 4$ -PSK в процессе принятия решения выбирается наибольшее из $M^2 = 16$ значений.

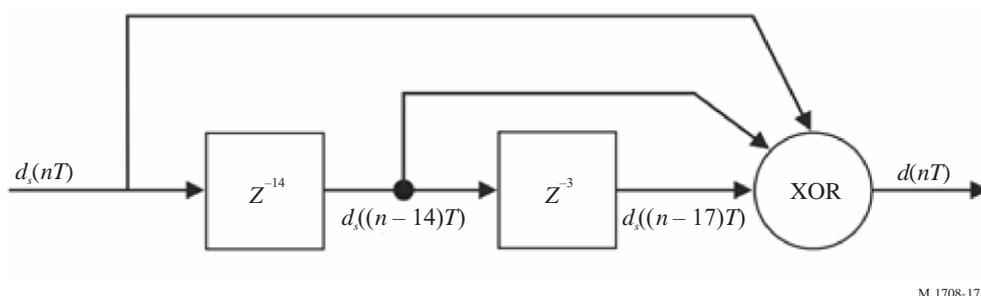
Дескремблер

Дескремблер – это устройство, обратное скремблеру и определяется рекурсивным уравнением:

$$d(nT) = d_s(nT) \text{ XOR } d_s((n - 14)T) \text{ XOR } d_s((n - 17)T). \quad (18)$$

Для реализации дескремблера требуется регистр с 17 состояниями, выполняющий функции "исключающее или", как показано на рисунке 17.

РИСУНОК 17
Бинарный дескремблер



M.1708-17

Первоначальная фаза дескремблера устанавливается такой же, как и в скремблере, по-прежнему с использованием варианта реализации скремблера.

Преобразование из параллельной формы в последовательную

Параллельный сигнал из $\log_2(M)*L$ на N битов на выходе дескремблера преобразуется в $\log_2(M)*L*N$ последовательных битов. Декодер CRC можно реализовать до преобразования сигнала из параллельной формы в последовательную, поскольку декодирование CRC выполняется для каждого из 64 параллельных кадров в пакете, но этот декодер работает наилучшим образом, когда является частью уровня протокола.

Декодер циклической проверки по избыточности

Декодер CRC обратен кодеру CRC с полиномиальным генератором:

$$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1. \quad (19)$$

Если проверка CRC прошла неудачно, то кадр отбрасывается и запрашивается повторная передача.

Выбор частоты

В глобальной сети электросвязи с несколькими сотнями каналов, более чем двадцатью станциями и многими тысячами судов, по которой передаются огромные объемы данных, исключительно важно иметь эффективную систему выбора частоты. Военный (Mil) стандарт автоматического установления линии (ALE) данной ситуации совершенно не соответствует, непригоден и не обеспечивает эффективного использования спектра.

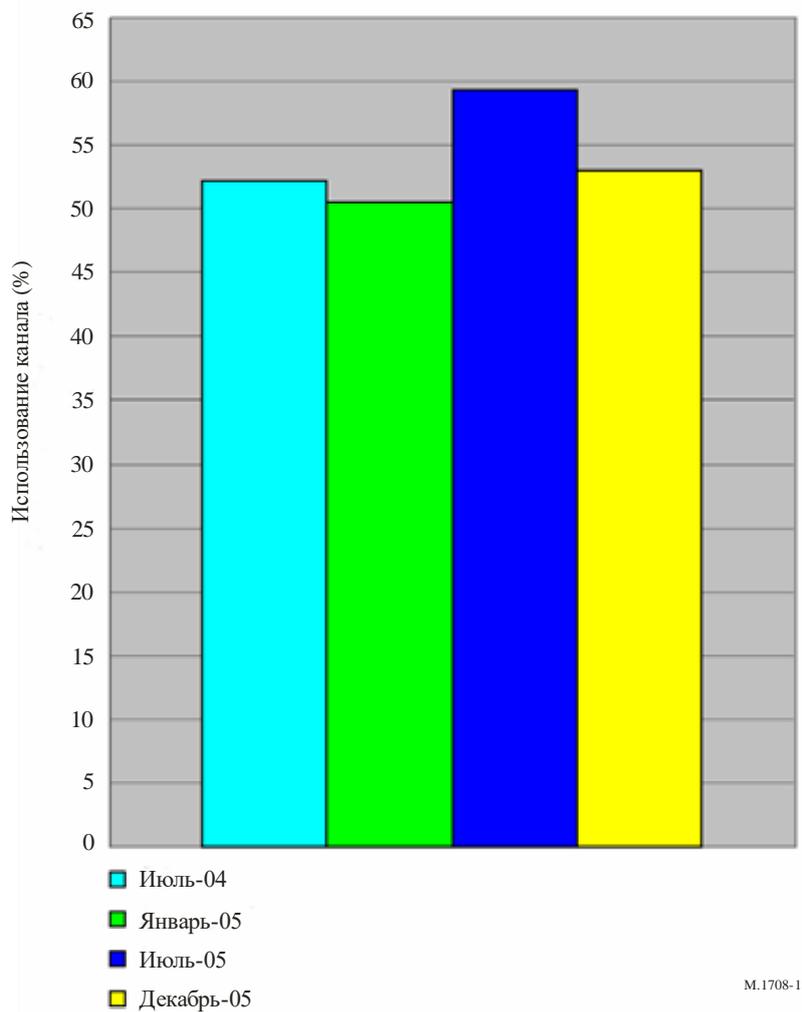
Следовательно, в методе используется судовой прибор анализа условий распространения, который выбирает частоты для сканирования. Решения о выборе частоты основаны на динамически обновляемых данных о текущей ситуации для данной даты, времени суток и географического положения. Это означает, что спектр не будет тратиться напрасно на зондирование или на попытку установить соединения в каналах плохого качества. Судно рассматривает непосредственно каналы распространения и сканирует диапазон, проверяя, какой из них доступен (не занят). Текущие параметры распространения передаются на судно по каналу "бесплатные сообщения".

Использование частот

Суда, как правило, будут использовать канал на протяжении интервала времени, длительностью менее чем от минуты до 30 минут. Соединения варьируются от коротких пакетов данных, передаваемых для целей слежения, до больших файлов. Комбинация больших файлов и большого числа подвижных станций означает, что частоты заняты почти непрерывно. Это приводит к необходимости иметь эксклюзивно распределенные частоты, которые не могли бы использоваться другими службами. Прилагается недавняя запись использования спектра одного из береговых узлов (см. рисунок 18). Если из времени готовности, показанного на этой таблице, вычесть тот промежуток времени суток, когда сигналы каждой из частот не распространялись, можно увидеть, что занятость спектра близка к 100%.

РИСУНОК 18

Проценты использования канала



М.1708-18

Приложение 3

Система электронной почты, использующая протокол Pactor-III, включая систему, используемую в сети Global Link

Класс излучения

Система использует определенный МСЭ класс излучения 2K20J2D.

Ширина полосы частот

Требуемая ширина полосы частот составляет 2×3 кГц (один дуплексный канал голосовой связи).

Компоненты системы связи

Система состоит из следующих компонентов.

Протокол передачи

В системе используется эффективный и хорошо зарекомендовавший себя протокол ВЧ-передачи РАСТОР-III. Максимальная пропускная способность при одновременной компрессии данных в режиме онлайн составляет приблизительно 5200 бит/с. Описание протокола приведено в пункте 4.1.

Протокол передачи T-BUS

В системе используется протокол T-BUS, предназначенный для управления стандартным ВЧ/СЧ радиооборудованием ГМССБ. Протокол T-BUS используется в радиооборудовании ГМССБ таких производителей морских радиостанций, как Skanti и Sailor (и другие). Существует несколько версий протокола T-BUS, описание протокола передачи Skanti приведено в пункте 4.2.

Модем

Допускается использование различных типов модемов, при условии что они способны взаимодействовать с интерфейсом RS-232 по протоколу T-BUS. В норвежских системах используются модемы PTC-II.

Замена узкополосного буквопечатающего оборудования

В настоящее время ВЧ почтовая система способна заменить NBDP для связи общего назначения, а также в будущем, возможно, и для связи в случаях бедствий и для обеспечения безопасности.

1 Протокол РАСТОР-III (Техническое описание выполнено Хансом-Петером Гелфертом (Hans-Peter Helfert) и Томасом Ринком (Thomas Rink), SCS GmbH & Co. KG, Ханану, Германия)

1.1 Введение

Подобно системам РАСТОР-I и РАСТОР-II, протокол РАСТОР-III является полудуплексной синхронной системой с автоматическим запросом повторения (ARQ). В обычном режиме первоначальная установка соединения выполняется по протоколу частотной манипуляции (ЧМн) РАСТОР-I, который предназначен для обеспечения совместимости с предыдущими системами. Если обе станции способны работать по протоколу РАСТОР-III, то выполняется автоматическое переключение на этот протокол более высокого уровня.

В то время как протоколы РАСТОР-I и РАСТОР-II разработаны для эксплуатации в полосе частот шириной 500 Гц, протокол РАСТОР-III был создан для коммерческого рынка с целью обеспечить большую пропускную способность и повысить устойчивость, в полной мере используя канал ОБП. В оптимальных условиях распространения может использоваться не более 18 тональных частот, разнесенных на 120 Гц. Максимальная скорость передачи необработанных данных, передаваемых на физическом уровне протокола, составляет 3600 бит/с, что соответствует чистой скорости передачи информации пользователя без компрессии данных 2722,1 бит/с. Поскольку используются различные

виды компрессии данных в режиме онлайн, максимальная эффективная пропускная способность зависит от передаваемой информации, но, как правило, превышает 5000 бит/с, что более чем вчетверо превышает пропускную способность протокола РАСТОР-II. При низком уровне отношения сигнал – шум (ОСШ), протокол РАСТОР-III обеспечивает большую устойчивость, чем РАСТОР-II.

Класс излучения для протокола РАСТОР-III, согласно стандартам МСЭ, обозначается как 2K20J2D.

1.2 Уровни скорости и ширина полосы частот

В зависимости от условий распространения в протоколе РАСТОР-III используется шесть различных уровней скорости (SL), которые могут рассматриваться как независимые субпротоколы с собственной модуляцией и канальным кодированием. На всех уровнях SL символьная скорость передачи равна 100 бод. Используется до 18 тонов, отстоящих друг от друга на 120 Гц. Максимальная занимаемая ширина полосы частот составляет 2,2 кГц (от 400 до 2600 Гц). Центральная частота полного сигнала равна 1500 Гц. Тон, представляющий "самый нижний" канал, передается на частоте 480 Гц, наивысший – на частоте 2520 Гц. Поскольку на двух низших уровнях скорости тоны пропускаются, интервалы между ними в таких случаях увеличиваются до величин, равных $N \times 120$ Гц. На рисунке 19 показано количество и положение используемых каналов на различных уровнях скорости.

Подобно протоколу РАСТОР-II, поток цифровых данных, который образует определенный виртуальный канал, в каждом цикле ARQ переключается на другой тон, для того чтобы увеличить выигрыш от разнесенного приема за счет добавления дополнительного разноса по частоте. Принимая во внимание, что в нормальном состоянии количество виртуальных каналов соответствует количеству тонов, режим переключения назначает каналу 0 тон 17, каналу 1 – тон 16, каналу 2 – тон 9, каналу 3 – тон 10, каналу 4 – тон 11, каналу 5 – тон 12, каналу 6 – тон 13, каналу 7 – тон 14 и каналу 8 – тон 15. Тоны 5 и 12 можно считать эквивалентными двум каналам протокола РАСТОР-II, поскольку они передают различные заголовки пакетов и сигналы управления (см. ниже).

РИСУНОК 19

Количество и расположение используемых каналов на различных уровнях скорости

	CN	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
SL																			
1							x							x					
2					x		x		x			x		x		x			
3				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
4				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
5			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
6		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
TF		480	600	720	840	960	1080	1200	1320	1440	1560	1680	1800	1920	2040	2160	2280	2400	2520

CN – номер канала

TF – частота тона (Гц)

x – указывает, что тон используется на соответствующем уровне скорости (SL)

М.1798-19

1.3 Модуляция, кодирование и скорости передачи данных

В качестве модуляции используется либо дифференциальная двоичная фазовая манипуляция (DBPSK), либо дифференциальная квадратурная фазовая манипуляция (DQPSK). После перемежения битов в полном кадре всего пакета данных, используется сверточный код с оптимальным коэффициентом 1/2 с ограниченной длиной (CL) 7 или 9. Подобно протоколу РАСТОР-II, коды с более высокими коэффициентами, а именно 3/4 и 8/9, получаются из этого кода путем так

называемого прореживания: перед передачей некоторые биты двоичного потока, закодированного с коэффициентом 1/2, пропускаются, то есть удаляются и, следовательно, не передаются. На стороне приема до декодирования в декодере с коэффициентом 1/2 пропущенные биты заменяются "нулевыми" битами. Декодер обрабатывает эти нулевые биты не как "1" и не как "0", а как точное промежуточное значение. Таким образом, эти биты не оказывают никакого влияния на процесс дешифрования. Выигрыш кодирования при использовании "прореженного" кода почти совпадает с выигрышем кодирования для наилучшего из известных кодов со специальным коэффициентом 3/4 или 8/9 и со сравнительно ограниченной длиной при условии тщательного выбора прореженного кода. Главное преимущество такого подхода состоит в том, что в широком диапазоне кодов может работать декодер с одним коэффициентом кодирования (в нашем случае 1/2). Поэтому прореженные коды используются во многих современных системах связи. В модемах SCS для всех уровней скорости используется декодер Витерби с мягким принятием решения, что обеспечивает максимальный выигрыш кодирования.

На рисунке 20 показаны модуляция, уровень скорости (CL) и коэффициент кодирования (CR) применяемого сверхточного кода, физическая скорость передачи данных (PDR), то есть примерная скорость передачи битов, передаваемых по протоколу физического уровня, чистая скорость передачи данных (NDR), то есть скорость передачи неkomпрессированных данных пользователя, а также пик-фактор (CF) сигнала для различных уровней скорости.

На следующих двух рисунках показан коэффициент ошибок по битам (КОБ) для различных уровней скорости. Коэффициенты на рисунке 21 указаны для нормализованной энергии на один бит (E_b/N_0). Из-за различного количества тонов (от 2 до 18) и различных типов модуляции (DBPSK/DQPSK) качественные показатели, определяемые отношением сигнал – шум канала, из этого рисунка не видны. На рисунке 22 коэффициенты указаны для отношения сигнал – шум в канале с шириной полосы частот 3 кГц. Различные уровни скорости охватывают широкий диапазон значений ОСШ. Для достижения максимальной пропускной способности с уровнем скорости SL6 требуется ОСШ канала = 14 дБ.

РИСУНОК 20

Параметры различных уровней скорости

SL	Модуляция	CL	CR	PDR	NDR	CF (дБ)
1	DBPSK	9	1/2	200	76,8	1,9
2	DBPSK	7	1/2	600	247,5	2,6
3	DBPSK	7	1/2	1400	588,8	3,1
4	DQPSK	7	1/2	2800	1186,1	3,8
5	DQPSK	7	3/4	3200	2039,5	5,2
6	DQPSK	7	8/9	3600	2722,1	5,7

M.1798-20

Следует отметить, что качественные показатели в значениях скорости передачи (бит/с) зависят от варианта реализации протокола ARQ и не могут быть выведены из физических значений скорости передачи и значений КОБ. Данные измерений качественных показателей представлены ниже.

РИСУНОК 21

Коэффициент ошибок по битам для различных уровней скорости по отношению к величине энергии на бит

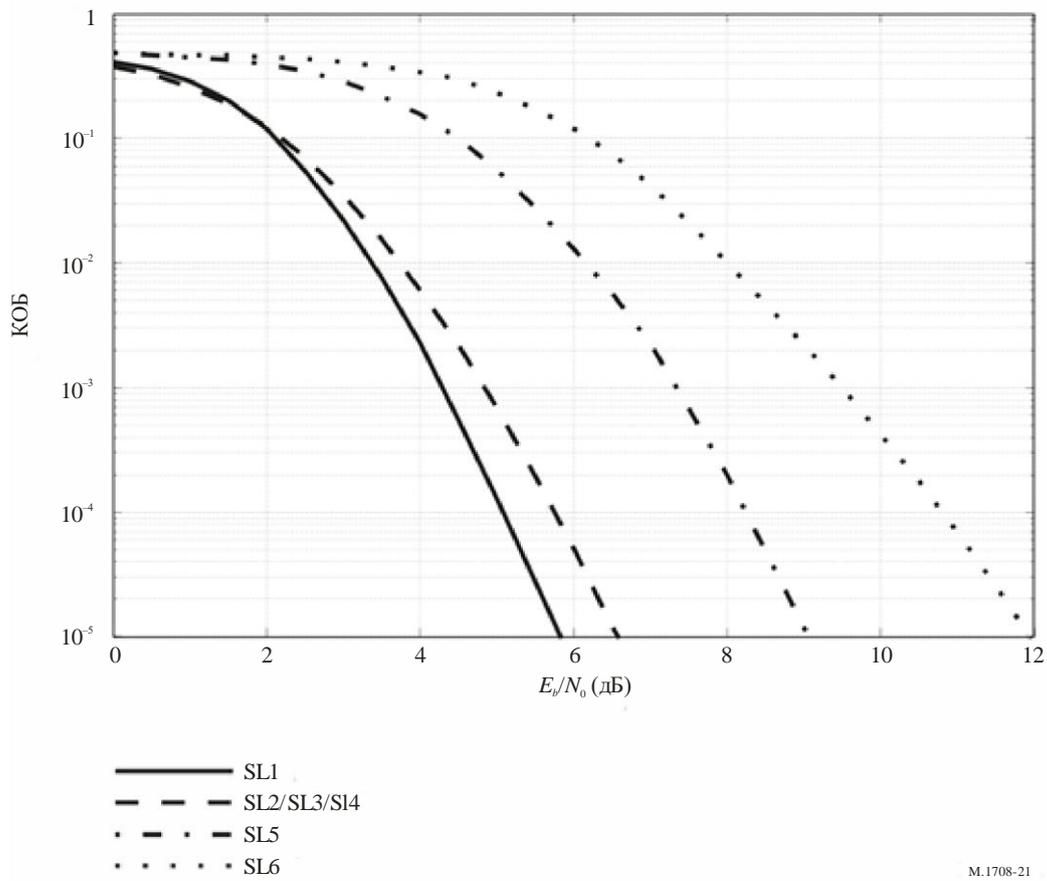
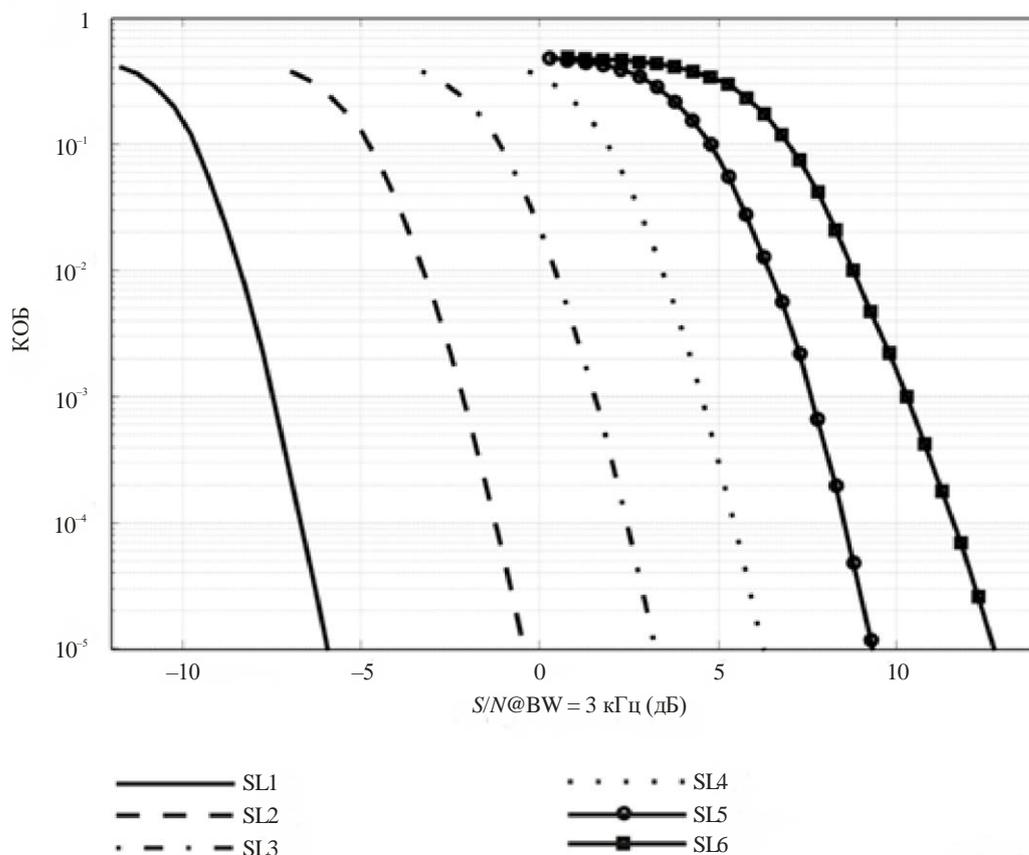


РИСУНОК 22

Коэффициент ошибок по битам для различных уровней скорости и различных значений ОСШ канала



M.1708-22

1.4 Пик-фактор и выходная мощность передатчика

Одной из наиболее важных характеристик сигнала системы РАСТОР-III является низкий пик-фактор (CF), особенно на низких уровнях скорости. Поскольку в большей части ВЧ-усилителей мощности пиковая мощность ограничена и используется автоматическая регулировка уровня пиковой мощности, система РАСТОР-III обеспечивает значительно большие выходные мощности, чем аналогичные режимы работы с несколькими несущими, например ортогональное мультиплексирование с разделением по частоте (OFDM), когда используется такой же усилитель мощности, таким образом увеличивая отношение сигнал – шум в приемнике. Вплоть до уровня скорости SL4 пик-фактор сравним с пик-фактором режимов работы с одной несущей. Даже при уровнях скорости SL5 и SL6 пик-фактор примерно на 3 дБ ниже, чем пик-фактор обычных режимов OFDM, таким образом, среднеквадратическая (RMS) передаваемая мощность удваивается. В рамках проекта "Всемирное цифровое радио" было выявлено, что при слабом кодировании (коэффициент $> 2/3$) режимы работы с одной несущей показывают качество намного лучше, чем режимы OFDM; хорошо известно, что в каналах с выбором частоты режимы OFDM без кодирования абсолютно непригодны. При сильном кодировании (коэффициент $\leq 1/2$) режимы OFDM показывают качество немного лучше, чем режимы работы с одной несущей. Эти результаты базируются на двух предположениях:

- передаваемая среднеквадратическая (RMS) мощность одинакова для обоих режимов, это означает, что в режиме OFDM пиковая мощность на несколько дБ выше пиковой мощности для режима работы с одной несущей;
- при режиме работы с одной несущей используется оптимальный эквалайзер с решающей обратной связью (оптимальный эквалайзер оценки последовательности по методу максимального правдоподобия (MLSE) не может быть использован, поскольку импульсный отклик канала слишком продолжителен).

Если пиковая мощность поддерживается постоянной, режим работы с одной несущей показывает лучшее качество при всех приемлемых коэффициентах кодирования, но необходимость иметь соответствующий эквалайзер представляет собой непреодолимое препятствие. Система РАСТОР-III разработана так, чтобы использовать преимущества обоих режимов за счет минимизации пик-факторов и исключения необходимости использования эквалайзера.

Модемы SCS работают с постоянной пиковой мощностью на всех уровнях скорости, для того чтобы оптимально использовать доступную выходную мощность ВЧ-усилителей мощности с ограничением пиковой мощности. Таким образом, вследствие различных пик-факторов (CF) при переключении между уровнями скорости выходная среднеквадратическая мощность меняется. Соответственно меняется и отношение сигнал – шум канала в приемнике. Это необходимо учитывать при рассмотрении коэффициентов ошибок по битам (КОБ), показанных на рисунке 22.

1.5 Продолжительность цикла

В обычном режиме продолжительность цикла ARQ составляет 1,25 с (короткие циклы) и 3,75 с (режим передачи данных), что является одним из условий обеспечения простоты совместимости с предыдущими версиями стандарта РАСТОР. В этом режиме из-за задержки на пути распространения сигнала и задержек в коммутационном оборудовании РАСТОР-III способен установить ARQ связь на максимальные расстояния около 20 000 км. Для дальнейшего увеличения максимального расстояния предусмотрен режим дальней связи (Long Path Mode), дающий возможность создать канал ARQ дальностью до 40 000 км, с продолжительностью циклов 1,4 с (короткие циклы) и 4,2 с (режим передачи данных) соответственно. Вызывающая станция начинает установление соединения в режиме дальней связи путем инвертирования первого байта в позывном сигнале ЧМн (более подробная информация приведена в описании протокола РАСТОР-I).

1.6 Структура пакетов и сигналы управления

За исключением того, что поля данных имеют другую длину, базовая структура пакета РАСТОР-III аналогична структуре пакета в предыдущих версиях РАСТОР. Он состоит из заголовка пакета, переменного поля данных, байта состояния и кода CRC. Используется два типа заголовков. Шестнадцать изменяемых заголовков пакетов из 8 символов каждый, которые передаются поочередно на тональных частотах 5 и 12 для кодирования 4 битов информации: бит 0 определяет статус запроса, указывая повторяемый пакет. Биты 2 и 3 устанавливают уровни скорости от 1 до 4 согласно логической схеме по модулю 4, в которой детектирование уровней 5 и 6 выполняется путем дополнительного анализа постоянных заголовков пакетов. Бит 4 указывает текущую продолжительность цикла: "0" указывает короткий цикл, а "1" – циклы передачи данных. На рисунке 23 показаны шестнадцатеричные коды переменных заголовков пакетов.

РИСУНОК 23

Описания изменяемых заголовков пакетов (включаются тонами 5 и 12)

VH0	0x1873174f	VH1	0xfc0f6047	VH2	0x0a4c7ea7	VH3	0x09bce11f
VH4	0x8e67c43c	VH5	0x7268a47b	VH6	0x842bba9b	VH7	0x87db2523
VH8	0x4d55aa6a	VH9	0xb15aca2d	VH10	0x4719d4cd	VH11	0x44c94b75
VH12	0x3ccd91a9	VH13	0xc0c2f1ee	VH14	0x3681ef0e	VH15	0x357170b6

М.1798-23

Оставшимся тонам 1-4, 6-11 и 13-18 предшествуют постоянные заголовки, которые характеризуют соответствующие тоны без передачи какой-либо дополнительной информации. Они поддерживают отслеживание частоты, память ARQ, режим прослушивания и определение уровней скорости 5 и 6. На рисунке 24 представлены шестнадцатеричные коды постоянных заголовков пакетов.

РИСУНОК 24

Описания постоянных заголовков пакетов (включаются тонами 1–4, 6–11, 13–18)

CH0	0xc324	CH1	0xf987	CH2	0xblc8	CH3	0xf370
CH4	0x801d	CH5	0x7c3d	CH6	0xd8f1	CH7	0x5a3c
CH8	0x792d	CH9	0x8397	CH10	0x33aa	CH11	0x5a3c
CH12	0x823c	CH13	0x073f	CH14	0xf798	CH14	0xd801

M.1798-24

После заголовков следуют поля данных, которые передают информацию пользователя. В коротком цикле на 6 различных уровнях скорости передается 5, 23, 59, 122, 212 и 284 байтов полезной информации, а в длинном цикле соответственно передается 36, 116, 276, 556, 956 и 1276 полезных байтов. После обратного перемежения и декодирования всех переданных данных на всех тонах в рамках определенного цикла, формируется пакет фактической информации, который состоит из данных пользователя, байта состояния и 2 байтов CRC. Байт состояния определяет пакет при помощи двухбитового счетчика пакетов с целью обнаружения повторений (биты 0 и 1), предоставляет информацию о применяемой компрессии данных (биты 2, 3 и 4), предлагает переключиться в режим передачи данных, когда количество знаков в буфере передатчика превышает определенное количество (бит 5), отображает запрос на переключение направления передачи (бит 6) и инициирует работу протокола завершения соединения (бит 7). Подробности показаны на графике ниже. Завершающая часть пакета представляет собой 16-битовый код CRC, рассчитанный в соответствии со стандартом МККТТ-CRC16.

РАCTOR-III использует тот же набор из шести 20-битовых сигналов управления (CS), что и РАCTOR-II. Они передаются одновременно на тонах 5 и 12 и разнесены на максимально возможное взаимное расстояние Хэмминга. Следовательно, они достигают границы Плоткина и представляют собой безупречный код. Это позволяет использовать для детектирования CS метод кросс-корреляции – метод мягкого принятия решения, в котором в результате высокой степени корреляции, правильно детектируются даже неслышимые CS. Сигналы CS1 и CS2 используются для подтверждения/запроса пакетов, а сигнал CS3 выполняет подключение. Сигналы CS4 и CS5 управляют изменением скорости: CS4 запрашивает увеличение скорости до следующего уровня. CS5 работает как символ неподтверждения приема (NAK), запрашивая повторение предыдущего переданного пакета и в то же время запрашивая уменьшение скорости на один уровень. CS6 является переключателем между значениями длины пакета и запрашивает переход на длинные циклы в том случае, когда фактически используется состояние с короткими циклами, и наоборот. Для того чтобы обеспечить максимальную устойчивость, все сигналы CS всегда передаются в формате DBPSK.

На рисунке 25 показана работа РАCTOR-III ARQ.

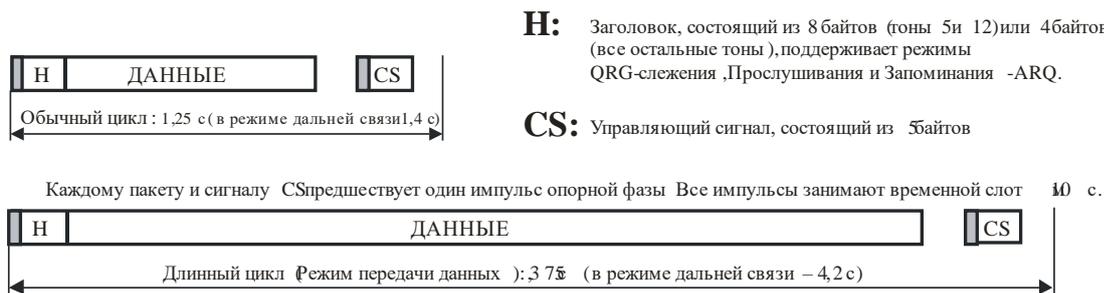
1.7 Компрессия данных в режиме онлайн

В протоколе РАCTOR-III, так же как и в предыдущих версиях РАCTOR, применяется автоматическая компрессия данных в режиме онлайн, включающая в себя кодирование Хаффмана и кодирование с переменной длиной строки, а также псевдо-Марковскую компрессию (PMC, см. ниже). Система, передающая информацию (ISS), автоматически проверяет, применение какого из этих методов компрессии либо использование исходного ASCII приведет к получению самого короткого пакета данных, что зависит от вероятности появления символов. Так устраняется риск потери пропускной способности. Конечно, РАCTOR-III сохраняет способность передачи любой двоичной информации, например программ или изображений и голосовых файлов. В случае передачи двоичных данных компрессия данных в режиме онлайн автоматически отключается благодаря распределению символов. Вместо этого обычно выполняется внешняя компрессия данных на терминале.

В компрессии Хаффмана используется "одномерная" вероятность распределения символов в простых текстах. Чем чаще встречается символ, тем короче должен быть символ Хаффмана. Более подробная информация, включая таблицу кодов, используемых в протоколах РАCTOR, содержится в описании стандарта РАCTOR-I.

РИСУНОК 25

Работа протокола автоматического запроса повторения РАСТОР-III



После обратного перемежения и декодирования Витерби данных на всех тонах получается пакет реальной информации:



ДАННЫЕ: На уровнях скорости 1, 2, 3, 4, 5 и 6 сумма используемых байтов, переданных в полях данных всех используемых тонов, составляет 23, 59, 122, 212 и 284 в нормальном цикле и 36, 116, 276, 556, 956 и 1 276 в длинном цикле соответственно .

CRC: 16-битовый сигнал циклической проверки по избыточности (МККТТ) .

S: Байт состояния :

Бит 0, 1 Номер пакета по модулю-4

Бит 2, 3, 4 Тип данных : 000 = 8-битовый код ASCII

001 = код Хаффмана (нормальный)

010 = код Хаффмана (подкачиваемый, "Верхний случай")

011 = Зарезервировано

100 = РМС Немецкий (нормальный)

101 = РМС Немецкий (подкачиваемый)

110 = РМС Английский (нормальный)

111 = РМС Английский (подкачиваемый)

Бит 5, 6, 7 Предложение длины цикла ,запрос изменений пакет QRT

М.1798-25

Компьютерную Маркова можно рассматривать как двойную компрессию Хаффмана, поскольку она использует не только простое распределение вероятностей, но и двумерную вероятность. Для каждого предшествующего символа может быть вычислено распределение вероятностей каждого последующего символа. Например, если текущим символом является "e", то, скорее всего, после него появится "i" или "s" и менее всего вероятно, что за ним будет следовать "X". Результирующие распределения вероятностей более локализованы, нежели простые одномерные распределения и, таким образом, приводят к лучшей компрессии. К сожалению, имеется два недостатка: поскольку для каждого символа ASCII требуется отдельная кодовая таблица, то вся кодовая таблица Маркова становится непрактично большой. Кроме того, двумерное распределение, а следовательно, и достигнутый коэффициент сжатия в большей степени зависит от вида текста, чем просто от распределения символов. Вследствие этого был выбран слегка измененный подход, который называется РМС, поскольку его можно считать комбинацией кодирования Маркова и Хаффмана. В режиме РМС кодирование Маркова ограничивается 16 наиболее частыми "предшествующими" символами. Все остальные символы активируют для каждого следующего символа нормальную компрессию Хаффмана. Это уменьшает кодовую таблицу Маркова до разумных размеров и, кроме того, делает вероятности появления символов менее критичными, поскольку особенно редко повторяющиеся символы, как правило, имеют нестабильное распределение вероятностей. Тем не менее для оптимальной компрессии в протоколах РАСТОР-II и РАСТОР-III определены две различные таблицы для английских и немецких текстов, они выбираются автоматически. При передаче простого текста применение РМС приводит к получению коэффициента компрессии приблизительно 1,9 по сравнению с 8-битовым кодом ASCII.

Групповое/последовательное кодирование позволяет достичь эффективной компрессии больших последовательностей одинаковых байтов. Определен специальный префиксный байт "0x1D", который инициирует 3-байтовое кодирование с переменной длиной строки. Второй байт назван "кодовым байтом" и содержит исходный код переданного байта в пределах всего диапазона символов ASCII. Третий байт указывает число кодовых байтов, которые должны быть отображены на принимающей стороне в пределах между "0x01" и "0x60". Значения между "0x00" и "0x1f" передаются как "0x60" и "0x7f", значения между "0x20" и "0x60" передаются без каких-либо изменений. Например, последовательность "AAAAAAAA" с использованием 3-байтового кодирования с переменной длиной строки передается в виде "0x1D 0x41 0x68".

1.8 Характеристики сигнала и практические рекомендации

Поскольку для первоначальной установки соединения применяется ЧМн стандарт PACTOR, по-прежнему допускаются отклонения частоты соединенных станций не более ± 80 Гц. Как и в системе PACTOR-II, в модемах SCS используется мощный алгоритм слежения, предназначенный для компенсации любых отклонений и для точного преобразования сигналов при включении режима DPSK, для которого требуются высокая точность и стабильность частоты.

Для того чтобы избежать любого влияния на смежные каналы, в сигнале PACTOR-III обеспечивается очень высокая крутизна спектра. Следовательно, на больших уровнях скорости низкокачественные звуковые фильтры могут вносить искажения и на передаче, и на приеме. Для того чтобы частично компенсировать эти искажения, модемы SCS позволяют усиливать амплитуду на границах сигнала по отдельности в два приема, используя команду "Equalize", которая устанавливает значение функции PACTOR-III приема-передающего эквалайзера. Значение "0" выключает данную функцию, "1" означает среднее, и "2" – сильное усиление боковых частот сигнала.

Кроме того, необходимо учитывать то, что из-за различных возможных "тонов" настройки, относящихся к режиму ЧМн, используемому для первоначальной установки соединения, при автоматическом переключении на PACTOR-III может появиться сдвиг центральной частоты сигнала. По этой причине настройки "тонов" должны быть тщательно проверены и адаптированы для других станций в сети, с тем чтобы убедиться в том, что не возникает никаких сдвигов по частоте между соединенными станциями и что сигнал PACTOR-III расположен симметрично в пределах ширины полосы частот фильтра. Обычно для правильной работы на обеих сторонах линии связи PACTOR-III требуется иметь идентичные настройки "тонов". Во избежание несовместимости между пользователями PACTOR-III SCS рекомендует установить "тоны" на "4", определяя тоны связи ЧМн, равными частотам 1400 и 1600 Гц, которые располагаются симметрично вокруг центральной частоты системы PACTOR-III, равной 1500 Гц.

На рисунке 26 показан спектр сигнала PACTOR-III на уровне скорости 6, когда активны все 18 тонов.

1.9 Измерение качественных показателей

Качественные показатели режимов ARQ с различными уровнями скорости сильно зависят от варианта реализации протокола ARQ и автоматического выбора соответствующего уровня скорости для данных условий работы канала. PACTOR-III включает в себя ARQ-память, для того чтобы сгладить переходы между уровнями скорости и повысить пропускную способность при низких значениях отношения сигнал – шум. Наличие в ARQ-памяти комбинация повторно передаваемых пакетов данных позволяет вести безопасную передачу данных по каналам очень плохого качества, даже если каждый принятый пакет является поврежденным. На рисунке 27 показаны результаты измерений пропускной способности в канале с AWGN и в канале очень плохого качества. Отношение сигнал – шум оценивается относительно среднеквадратической выходной мощности на уровне скорости SL1, для того чтобы скорректировать различные пик-факторы. Для коэффициентов ошибок по битам, показанных на рисунке 22, максимальная пропускная способность в 2720 бит/с должна достигаться при уровне скорости SL6 в канале с отношением сигнал – шум на 14 дБ выше среднеквадратической выходной мощности для SL6. В соответствии с рисунком 20 пик-факторы уровней скорости SL1 и SL6 отличаются на 3,8 дБ. Следовательно, максимальная пропускная способность будет обеспечена в канале с отношением сигнал – шум на 18 дБ выше среднеквадратической выходной мощности для SL1, что достаточно хорошо совпадает с измеренной пропускной способностью канала AWGN, показанной на рисунке 27.

РИСУНОК 26

Спектр сигнала РАСТОР-III на уровне скорости 6, когда все 18 тонов активны

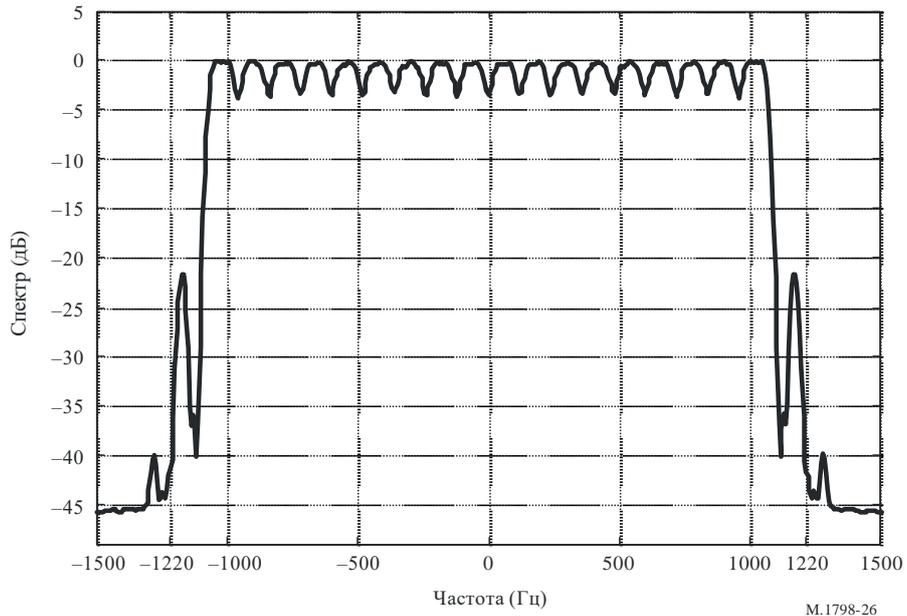


РИСУНОК 27

Пропускная способность РАСТОР-III

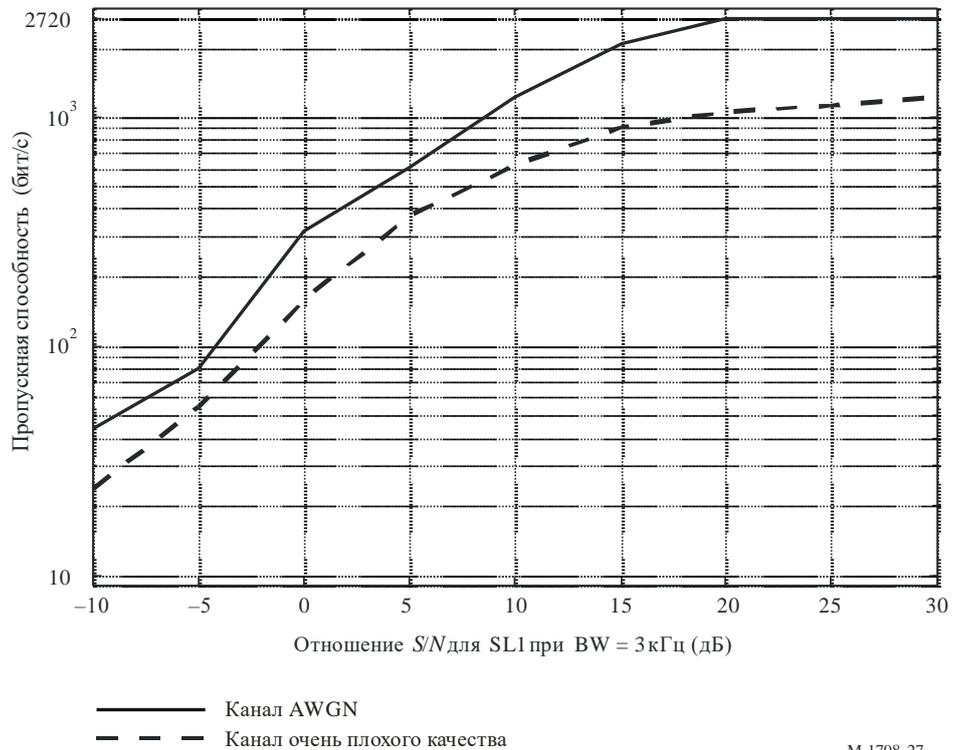


РИСУНОК 28

Коэффициент ошибок по битам для различных уровней скорости относительно энергии на бит

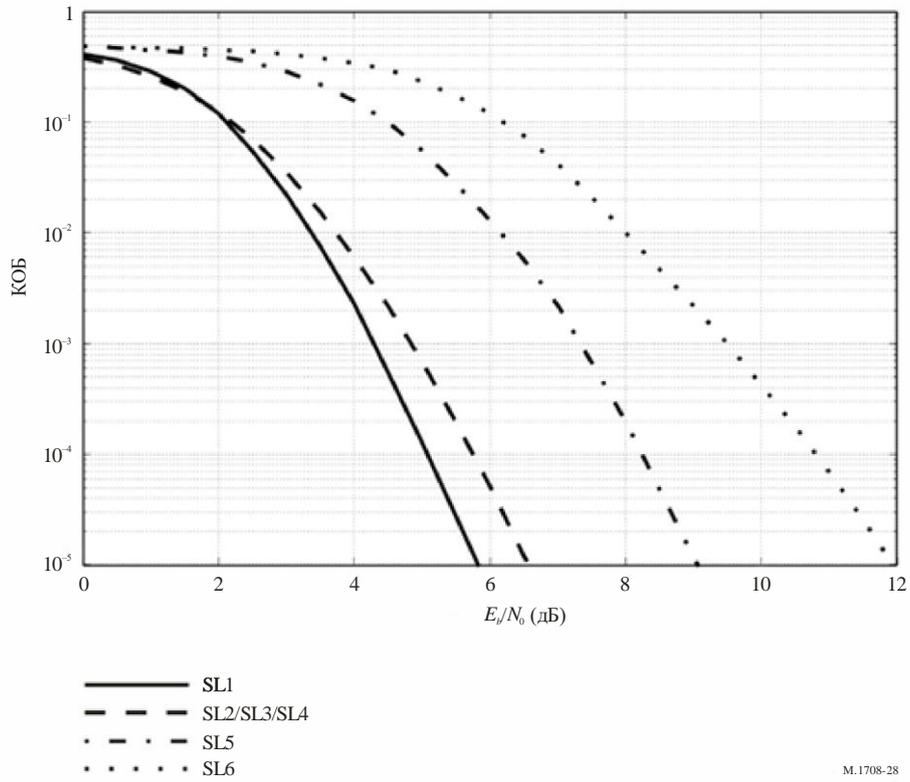
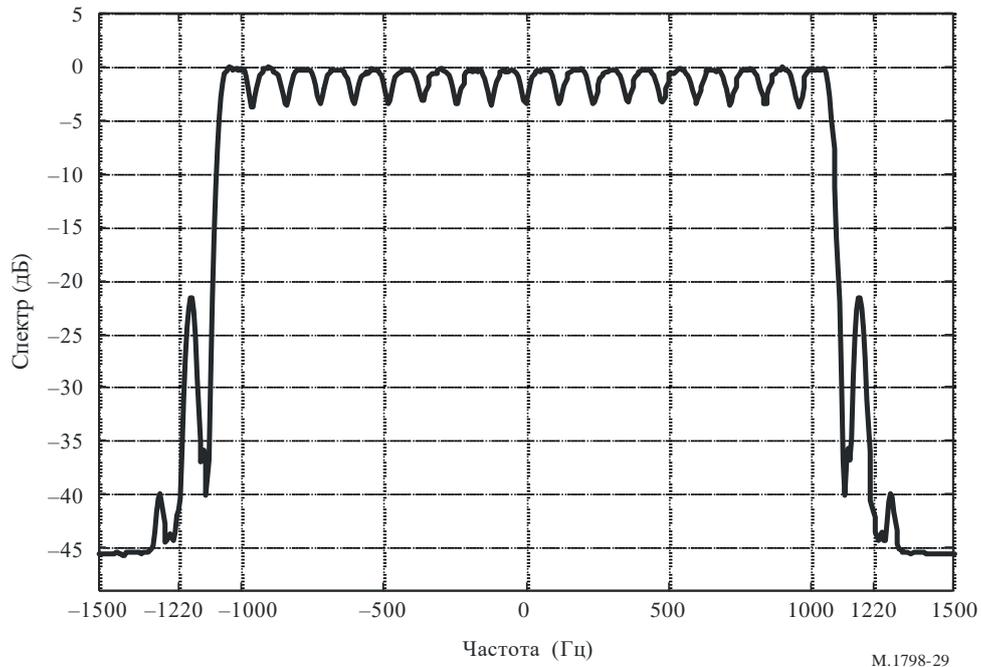


РИСУНОК 29

Спектр сигнала РАСТОР-III на уровне скорости 6, когда все 18 тонов активны



2 Типовой протокол передачи

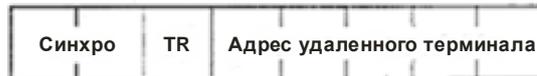
Протокол интерфейса

Физические характеристики

8 битов данных
1 стартовый бит
1 стоп-бит
1 бит четности
нечетности
2400 бит/с

Форматы слов

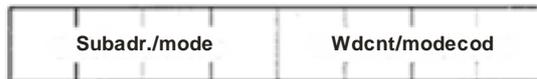
Слово адреса



Зарезервированные адреса:

C2h: Приемник
C3h: Передатчик
F Fh: Радиовещание

Командное слово



Зарезервированные команды:

00h: Переустановка
14h: Режим телекс и частотный вход
*) 24h: Режим USB и частотный вход
*) 34h: Режим AM и частотный вход
*) 44h: Режим СВ и частотный вход
*) 85h: Установить запись таблицы сканирования и № режима записи/частотный вход
*) 90h: Переход к следующей записи
*) A0h: Пустая таблица
*) B1h: Переход к записи в таблице и номер записи

*) Команды, относящиеся к цифровому избирательному вызову (ЦИВ)

Слова данных

Частотный вход:

10 МГц	1 МГц
100 кГц	10 кГц
1 кГц	100 Гц
10 Гц	1 Гц

Радиорежим + № записи:

Радиорежим	№ записи
------------	----------

1h: режим Телекс + № записи = {0h...Fh}

2h: режим USB

3h: режим AM

4h: режим CB

№ записи:

Не используется	№ записи
-----------------	----------

№ записи = {0h...Fh}

Слово статуса

Err	Адрес удаленного терминала
-----	----------------------------

Возврат ошибки состояния

Формат сообщения:

Сообщение состоит из Слова адреса, после которого следуют Командное слово и возможные соответствующие слова данных.

Пример: TX 19,1201 МГц в режиме телексной связи.

C3h

14h

19h

01h

00h

3 Сеть Global Link

Общий обзор

Сеть Global Link (GLN) – это сеть для совместной работы береговых радиостанций (CRS), предоставляющих морской подвижной службе доступ к каналам передачи данных. Из-за растущего спроса на услуги передачи электронной почты и доступа в интернет на судах, находящихся в плавании, и сокращения использования NBDP и радиотелекса эти радиостанции предоставляют услуги на коротких волнах.

Организационная структура

Все береговые радиостанции (CRS) эксплуатируются независимыми компаниями. Эти компании объединились для создания сети GLN. Они используют общую технологию и общие виды модуляции. Станции CRS имеют право предоставлять свои собственные дополнительные услуги в зависимости от местных потребностей. Если соединение с центром управления сети (NCC) нарушается по политическим или иным причинам, каждая станция способна работать независимо. В таких случаях CRS могут также обеспечивать дальнюю связь вне рамок основных сетей связи.

Техническая структура

В основе сети GLN лежит так называемый IP-мост Рactor (PIB). PIB обеспечивает прозрачную передачу данных по протоколу TCP/IP по радиоканалу 2к4 во всех СЧ/ВЧ полосах, распределенных морским службам. PIB может использоваться для любых типов услуг передачи данных с максимальной скоростью передачи компрессированного сигнала до 5600 бит/с. Все серверы сети работают с операционной системой Linux и дополнительными пакетами программ, которые гарантируют высокую устойчивость к отказам.

Центр управления сети (NCC)

NCC работает по соглашению со станциями CRS. Он отвечает за базы данных, расчеты, резервирование, безопасность данных и развитие сети. NCC также управляет почтовым сервером, используемым всеми небольшими станциями, которые не имеют собственной инфраструктуры обработки данных. NCC предоставляет базовые информационные услуги, например информацию о прогнозе погоды, компрессию сообщений электронной почты в режиме онлайн, передачу почты в режиме web mail, отслеживание и перенаправление электронной почты всем пользователям сети GLN.

Береговая радиостанция CRS

Станции CRS постоянно поддерживают в резервном режиме один или несколько радиоканалов, предназначенных для автоматической передачи данных между судами и сетью Интернет. Они имеют право предоставлять дополнительные услуги, например передачу данных (FTP), обслуживание кредитных карт, хостинг веб-сайтов и беспроводное администрирование серверов для определенных пользователей. Все станции CRS продолжают работать, даже если нарушается связь с NCC. Станции CRS отвечают за установку оборудования на своих сайтах, за получение частотных назначений у компетентных государственных организаций, за системы электропитания и создание надежных инфраструктур в местах размещения. Они также отвечают за получение всех регламентов, аттестатов и лицензий, требуемых местными властями. Все станции CRS должны иметь возможность дистанционного управления.

Станции CRS используют фиксированные частоты в полудуплексном режиме. Когда эти каналы не заняты, станции CRS передают в них 100-бодовый ЧМн сигнал маяка. Сигнал маяка содержит информацию о качестве, соответствующий позывной и сведения о готовности канала. При необходимости в сигнал маяка может быть введен идентификатор Морзе.

Все станции CRS через регулярные интервалы передают журнал учета трафика.

Судовые земные станции

Приложение, необходимое для соединения с GLN, должно быть передано на CRS. Это приложение дает возможность судовой земной станции (SES) получить доступ к любой CRS в сети GLN без дополнительной регистрации. Для автоматического соединения станция SES может использовать

существующие СЧ/ВЧ радиостанции или специализированную радиостанцию. Радиостанция соединяется с определенным связным сервером, или же управляющее программное обеспечение может быть интегрировано в новые терминалы ГМССБ. Связной сервер может быть соединен с сетью передачи данных между судами и стандартным сервером электронной почты и веб-сервером. Этот сервер автоматически выбирает наилучший из свободных каналов, если пользователь запрашивает передачу данных. Он также предлагает возможности перехода на более низкую скорость передачи, если нет ни одного свободного радиоканала.

Интернет

Все соединения между станциями CRS осуществляются через интернет. Станции CRS могут быть присоединены к интернету любым доступным способом, например по каналам SDSL, ADSL, ISDN или по модемам, установленным в телефонном канале, а также по Wi-Fi или по спутниковой линии. Суммарная пропускная способность одного радиоканала не должна быть меньше 10 кбит/с. Фиксированных линий IP для радиостанций не требуется. Сеть GLN предоставляет прямой доступ к любому веб-серверу по всему миру.

Интерфейсы

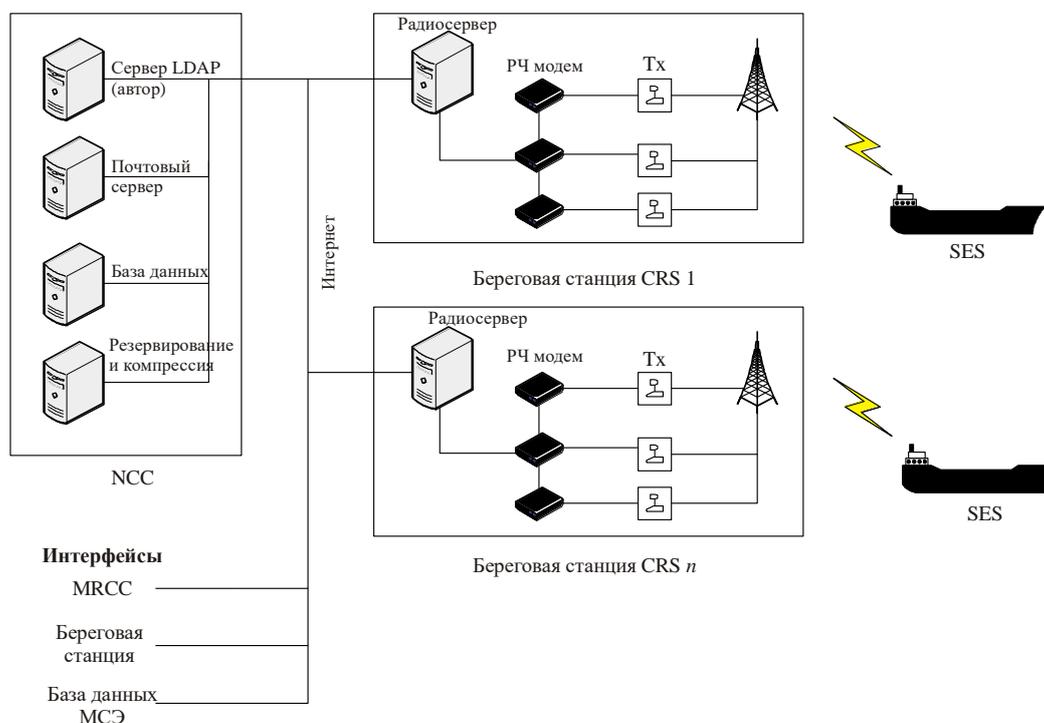
Благодаря использованию стандартной интернет-технологии на каждом участке сети сеть GLN открыта для любых дополнительных услуг, таких как передача данных телеметрии, чат-конференции с другими сетями, передача данных позиционирования, а также связи судно – судно и судно – берег.

Безопасность данных

Данные шифруются на всех участках соединения между станциями CRS, SES и NCC. Более того, данные, передаваемые по радиоканалу, не могут быть прочтены другими радиослушателями. Брандмауэры, спам-фильтры, программы проверки на вирусы и другие способы обеспечения безопасности самоочевидны.

РИСУНОК 30

Общий вид сети Global Link



MRCC: Центр координации спасательных операций на море.

М.1798-30

Услуги

Сеть GLN предоставляет коммерческие услуги связи, а также все типы услуг связи, которые в настоящее время охвачены системой радиотелеграфа, являющейся частью ГМССБ. Поскольку РІВ дает возможность передавать данные при отношении S/N менее 0, каналы связи устанавливаются в сложных условиях.

Услуга электронной почты

Сеть GLN дает возможность доступа к любому серверу электронной почты всемирной сети. Приложения и документы могут пересылаться по сети GLN с берега и на берег. Все данные будут скомпрессированы в режиме онлайн, и прерванные соединения будут автоматически восстановлены без повторной передачи данных.

Услуга передачи информации о погоде

Сеть GLN дает возможность всем судовым станциям (SES) бесплатно получать информацию о погоде. В услугу включены факсимильные сообщения и прогнозы погоды, а также ледовые карты и данные о толщине льда.

Отслеживание судов

Информация о позиционировании передается по любой линии связи от станции SES до центра NCC и может быть передана на любую службу слежения или на адрес электронной почты. В систему встроены порт NMEA 0183.

Почта для экипажа

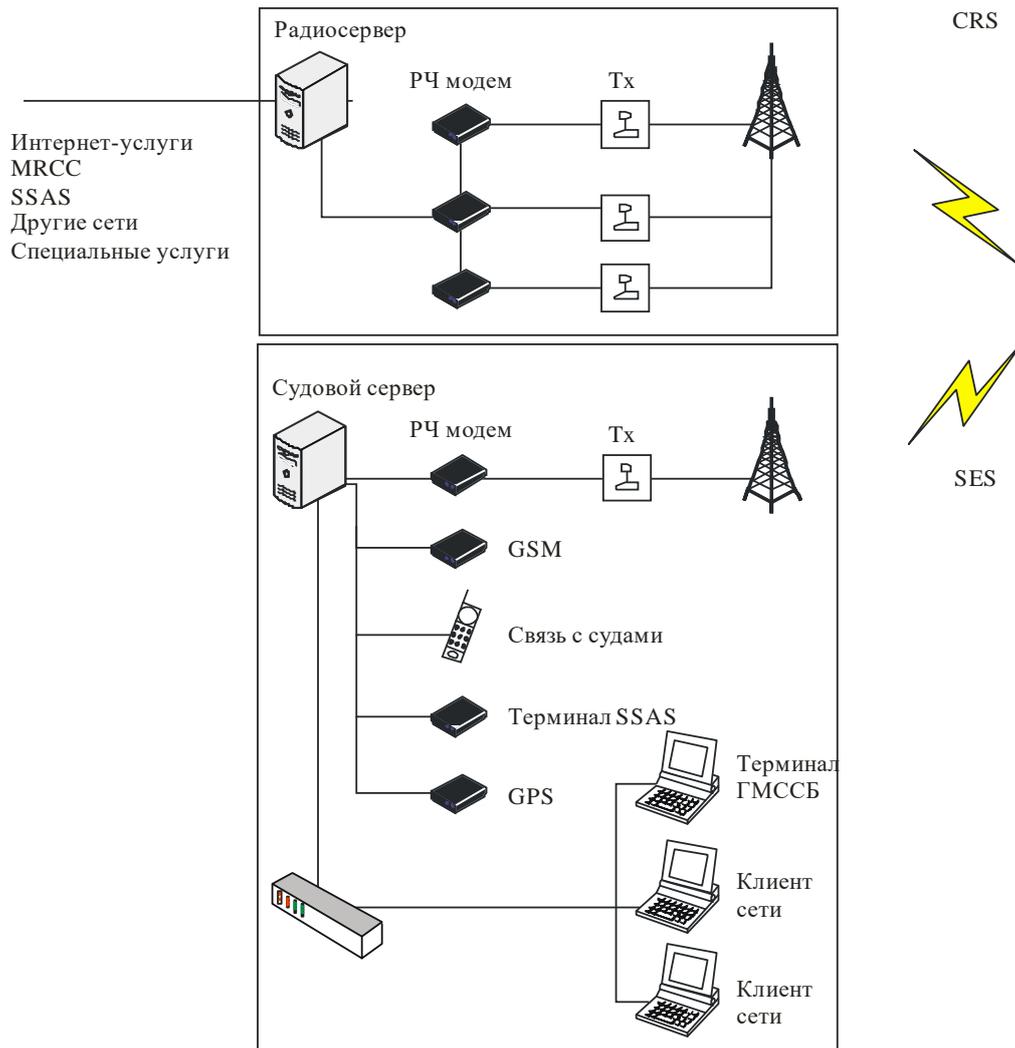
На каждом судне может быть организовано до 255 счетов электронной почты. Они могут оплачиваться через судовладельческую компанию, либо экипаж может платить по кредитным картам непосредственно станции CRS.

Судовая система аварийной сигнализации (SSAS)

В системе реализована возможность SSAS.

РИСУНОК 31

Описание береговой радиостанции и судовой радиостанции



М.1798-31

Охват

Сеть GLN обеспечивает всемирный охват. Она не является закрытой сетью и в любой момент времени открыта для новых сайтов. Новые станции в сети с самого начала пользуются преимуществами всемирного охвата для судов. Это возможно благодаря технологиям роуминга.

Дальность

В зависимости от местоположения и качества радиооборудования, шумов окружающей среды, используемых антенн и передаваемой мощности средний диапазон дальности для каждой станции лежит в пределах от 1,750 до 2,500 морской мили.

РИСУНОК 32

Радиостанции сети Global Link по всему миру
(август 2006 года)



M.1798-32

Места расположения (по состоянию на август 2006 года – возможны изменения)

Норвегия, 3 сайта, до 12 каналов, 6 МГц, 8 МГц, 12 МГц

Германия, 1 сайт, 9 каналов, 4 МГц, 6 МГц, 8 МГц, 12 МГц, 17 МГц

Швейцария, 1 сайт, 10 каналов, 4 МГц, 6 МГц, 8 МГц, 12 МГц, 17 МГц

Кения, 1 сайт, 15 каналов, 4 МГц, 6 МГц, 8 МГц, 12 МГц, 17 МГц

Южно-Африканская Республика, 1 сайт, 15 каналов, 4 МГц, 6 МГц, 8 МГц, 12 МГц, 17 МГц

Ангола, 1 сайт, 15 каналов, 4 МГц, 6 МГц, 8 МГц, 12 МГц, 17 МГц

Китай, 1 сайт, 5 каналов, 4 МГц, 6 МГц, 8 МГц, 12 МГц, 17 МГц

Филиппины, 1 сайт, 5 каналов, 4 МГц, 6 МГц, 8 МГц, 12 МГц, 17 МГц

Австралия, 1 сайт, 5 каналов, 4 МГц, 6 МГц, 8 МГц, 12 МГц, 17 МГц

Аргентина, 1 сайт

Чили, 1 сайт

США, штат Род-Айленд, 1 сайт, 5 каналов, 4 МГц, 6 МГц, 8 МГц, 12 МГц, 17 МГц

США, штат Вашингтон, 1 сайт, 5 каналов, 4 МГц, 6 МГц, 8 МГц, 12 МГц, 17 МГц

США, штат Алабама, 1 сайт, 5 каналов, 4 МГц, 6 МГц, 8 МГц, 12 МГц, 17 МГц

Приложение 4

Широкополосная ВЧ передача данных

1 Введение

Планируется, что система протокола Интернет для судовой связи (IPBC) обеспечит передачу данных в ВЧ полосах морской службы 4–27,5 МГц в радиоканале с шириной полосы пропускания 10–20 кГц.

Эта система может использоваться на всех судах, хотя изначально изучалась для рыболовецких судов.

В этом документе описывается архитектура системы и ее предназначение.

2 Системные требования

- использование ВЧ-полос частот морской службы;
- установка на борту оборудования IPBC; ВЧ-передача данных;
- повышение скорости передачи данных в соответствии с реальными системами;
- динамическое управление каналами радиосвязи;
- многопользовательская;
- системный подход, стимулирующий разработку недорогих подвижных станций;
- оптимизация ВЧ-спектра.

3 Описание системы

3.1 Общая информация

Радиосистема передачи данных делится на четыре вектора:

- пользователи сети;
- поставщик доступа;
- передача и прием береговой ВЧ-станции;
- подвижная судовая ВЧ-станция.

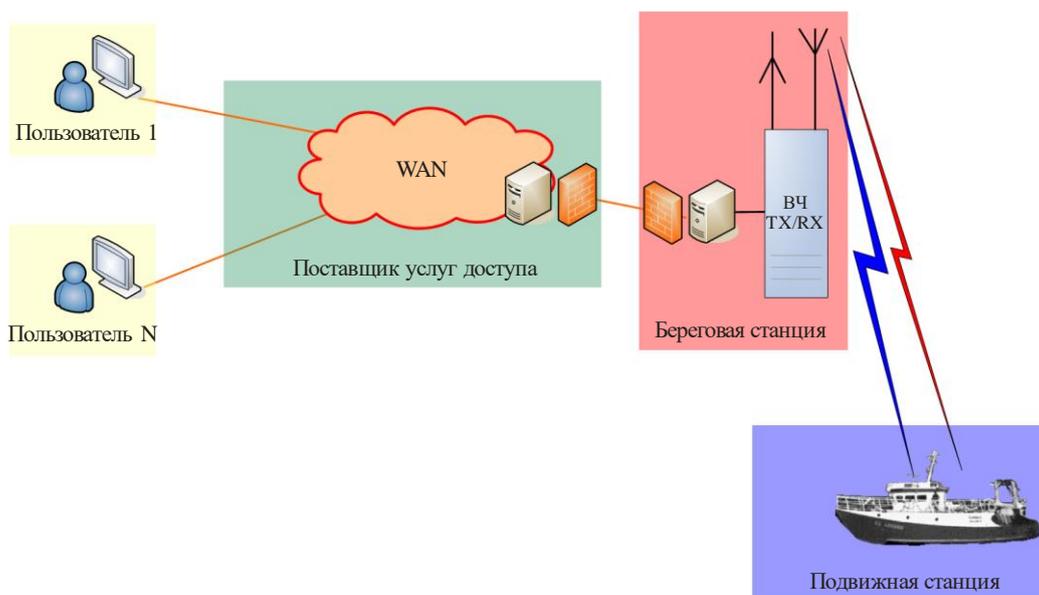
Эта система предназначена для того, чтобы дать судам возможность доступа к сети Интернет с целью передачи цифровой почты по радиоканалу в ВЧ-диапазоне морской службы (4–27,5 МГц) с шириной полосы канала 10–20 кГц и обеспечить полезную скорость радиопередачи данных до 22 кбит/с.

Для расстояний от 40 до 250 морских миль будут использоваться низкие частоты (от 4 до 8 МГц), обеспечивающие распространение сигнала земной волной.

Для дальней связи свыше 200 морских миль будут использоваться частоты от 8 до 27,5 МГц. В этом случае неизбежно распространение ионосферной волны. Будет применимо кодирование модуляции.

Система работает не в реальном масштабе времени; связь идет в режиме "передача файлов".

Прямой связи судно – судно не планируется.

РИСУНОК 33
Общая структура

М.1798-33

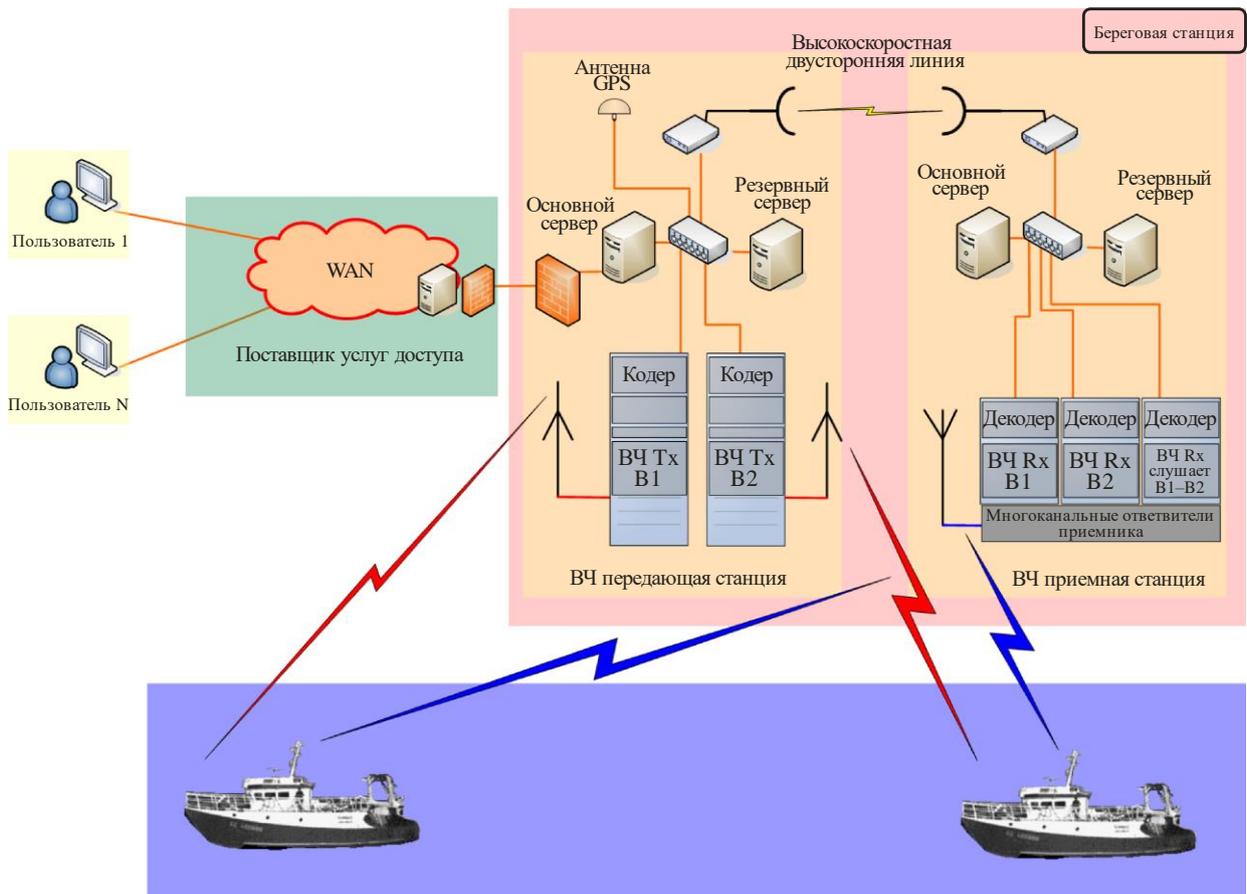
3.2 ВЧ-радиоканал

Этот канал основан на двух компонентах:

- береговая станция;
- подвижная морская станция.

РИСУНОК 34

Общая структура – ВЧ-радиоканал



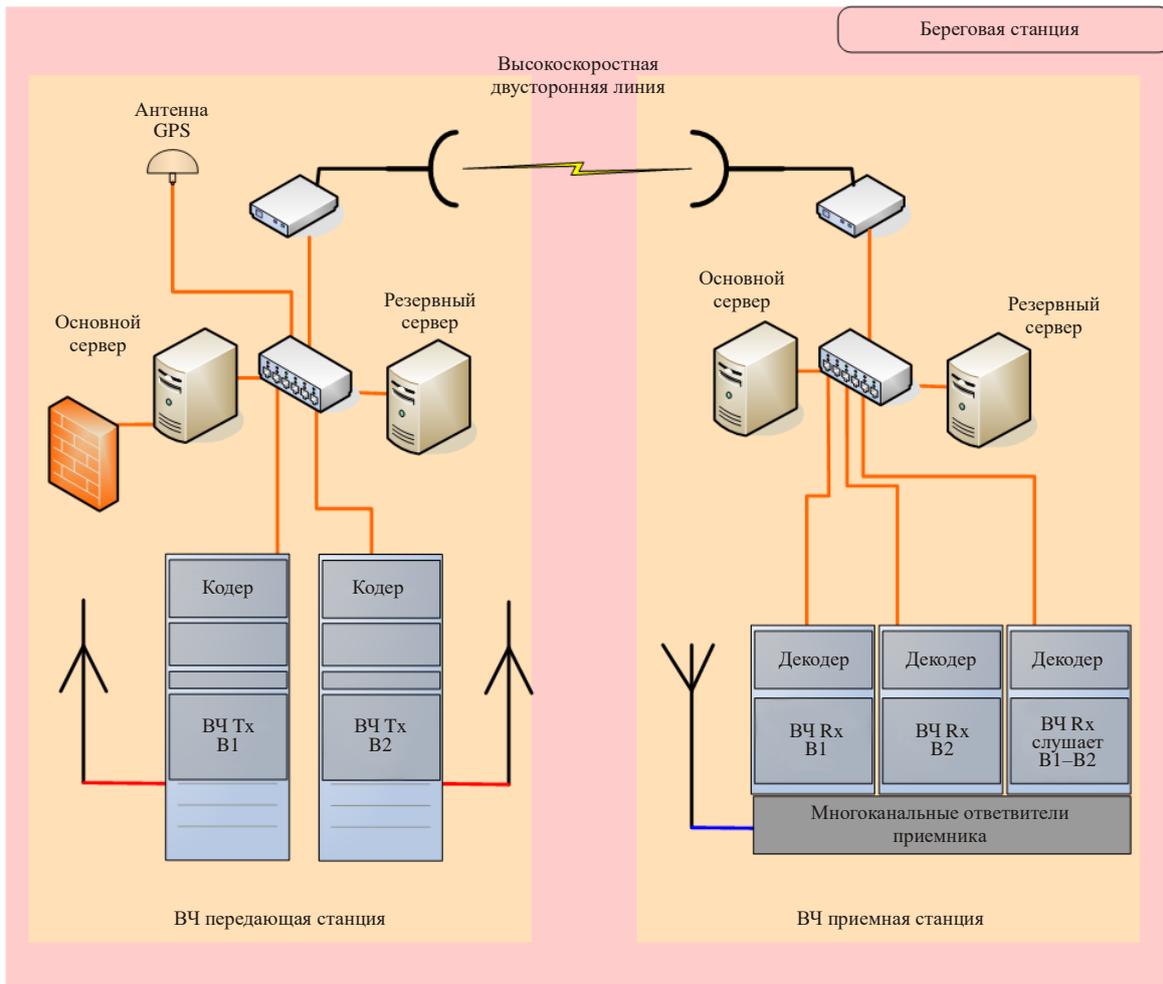
М.1798-34

3.2.1 Береговая станция

Береговая станция может быть оборудована каналами в нескольких ВЧ-полосах, для того чтобы расширить область покрытия. Для передачи трафика планируется использовать динамическое управление передатчиками.

Передающая часть физически отделена от приемной части, для того чтобы обеспечить одновременную работу передатчиков и приемников.

РИСУНОК 35
Структура береговой станции



M.1798-35

3.2.1.1 Приемная станция

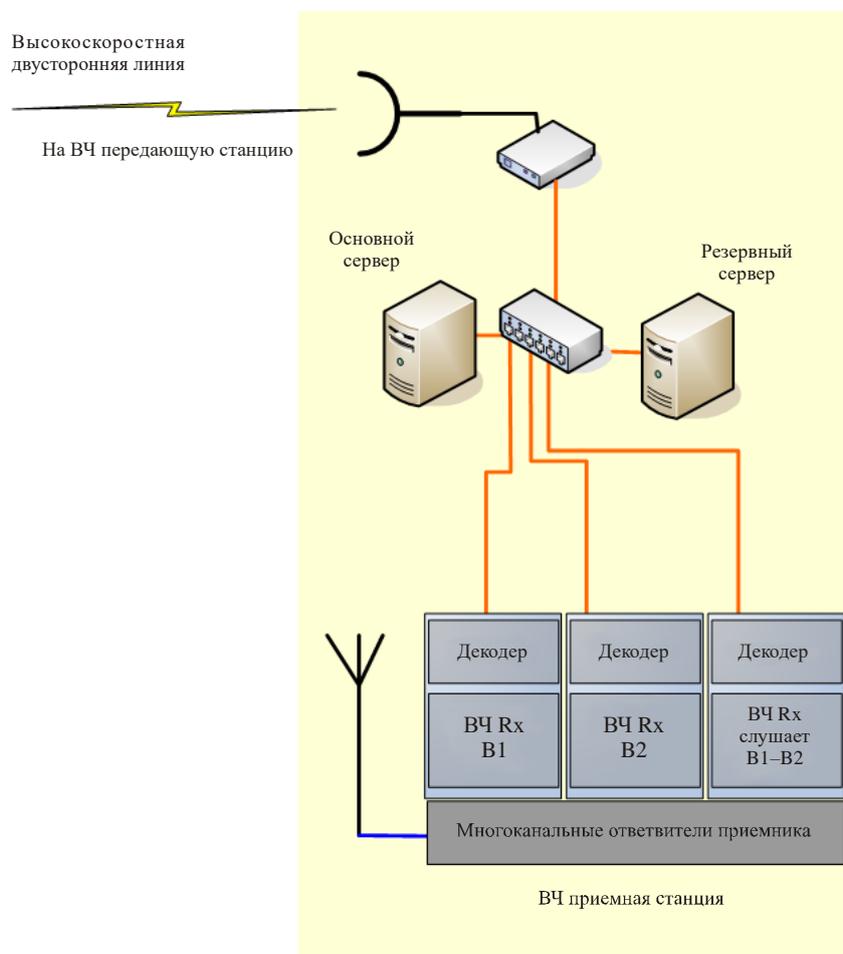
Планируется иметь множество фиксированных частот приемника в соответствии с числом используемых каналов.

Демодулированный сигнал от каждого приемника передается на сервер, расположенный в месте приема.

Этот сервер связан с местом передачи посредством двусторонней высокоскоростной линии.

РИСУНОК 36

Структура приемной береговой станции



М.1798-36

3.2.1.2 Передающая станция

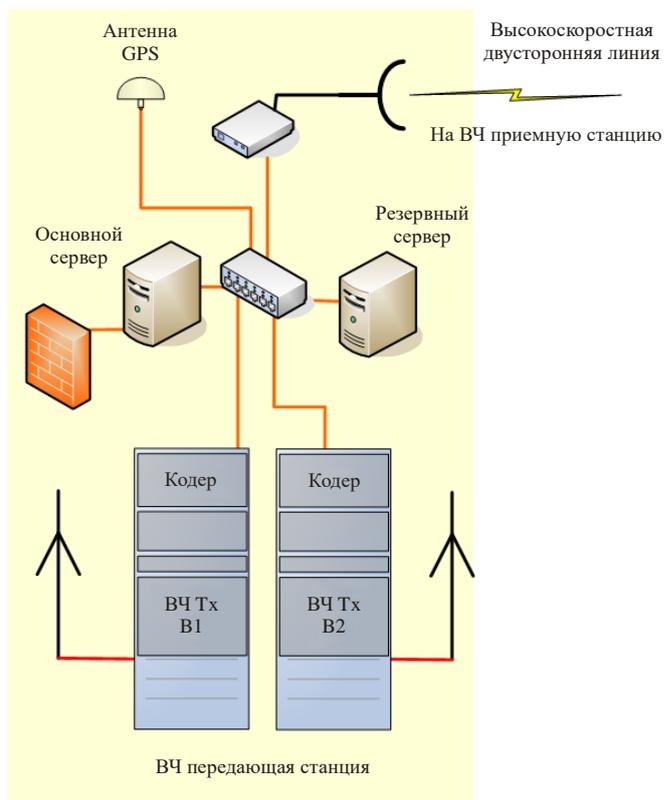
Планируется иметь как минимум один передатчик для каждой используемой ВЧ-полосы частот морской службы и один резервный передатчик. В случае большого трафика резервный передатчик может использоваться для еще одного канала радиопередачи.

Синхронизацию передачи обеспечивает GPS-приемник.

Эта береговая станция имеет соединение с интернетом через поставщика услуг доступа.

РИСУНОК 37

Структура передающей береговой станции



М.1798-37

3.2.1.3 ВЧ морская подвижная станция

Эта система изначально изучалась для оборудования судов средней длины (длиной 12/30 м), но она может подойти для судов всех видов.

Для судов используется полудуплексный режим связи.

Подвижная станция состоит из приемопередатчика и интерфейса "человек-машина".

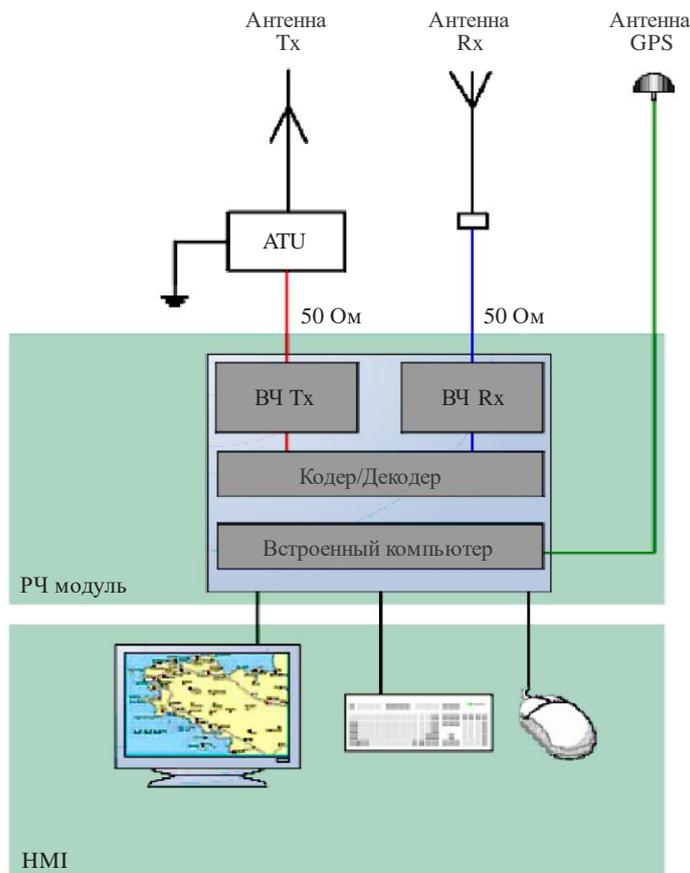
Передатчик и приемник работают на разных частотах.

Мощность ВЧ-усилителя составит приблизительно 150 Вт в амплитуде (300 Вт в размахе (PEP)) с хорошей линейностью, для того чтобы обеспечить модуляцию в канале шириной 10–20 кГц.

Приемник GPS используется для определения позиции судна и для получения опорного сигнала синхронизации.

Для пользователя система является абсолютно прозрачной.

РИСУНОК 38
Структура подвижной станции



М.1798-38

3.3 Режимы работы

Подвижная морская станция постоянно слушает эфир на одной из частот передачи береговой станции в этом районе мореплавания.

Если станция является многополосной и многоканальной, то наилучшая частота в районе мореплавания будет выбираться автоматически на основании приведенной ниже информации:

- позиция судна, определенная приемником GPS;
- записанная база данных морской станции, включая глобальный частотный план береговой радиосети IPBC;
- указатель силы принимаемого сигнала;
- наилучшее соотношение сигнал/шум.

В том случае, когда судно находится в зоне ответственности двух береговых станций, выбор делается исходя из вышеприведенных параметров с добавлением данных о курсе и скорости движения для определения следующей позиции судна и затем соответствующей зоны покрытия.

Передатчик береговой станции ведет непрерывную передачу:

- информации, адресованной всем судам (радиовещательный режим);
- информации, адресованной только группе судов (избирательный радиовещательный режим);
- информации и сообщений, адресованных одному судну;
- информации для управления движением;
- подтверждения приема данных, переданных с судов на берег.

Различают два режима работы:

- запрос канала берег – судно;
- запрос канала судно – берег.

3.3.1 Режим 1: Запрос канала берег – судно

Поставщик услуг принимает сообщение, адресованное на судно.

После автоматического поиска в базе данных для определения последней позиции судна, это сообщение передается на промежуточную береговую станцию, которая участвует в радиосвязи с судном.

Береговая станция передает сообщение на выбранное судно; в каждый переданный кадр включается его ID.

Приемник судна сохраняет в буфере каждый принятый кадр.

Передатчик судна регулярно подтверждает прием кадров.

На протяжении всего времени передачи для связи с этим судном сохраняется одна и та же частота до приема подтверждения полного приема (АСК).

Береговая станция должна прекратить передачу сообщения, если канал радиосвязи становится слишком плохим из-за условий распространения.

Тогда приемник судна ищет канал радиопередачи более высокого качества.

3.3.2 Режим 2. Запрос канала судно – берег

Когда пользователь подвижной станции уже подготовил свое сообщение, и указал адрес, процесс становится автоматическим и прозрачным. Передача файлов выполняется не в реальном времени.

Подвижная станция для создания канала связи с береговой станцией использует те же опорные сигналы синхронизации от приемника GPS.

Подвижная станция непрерывно сообщает о свободных "слотах", которые могут использоваться для нового соединения.

Судно выбирает свободный "слот" и передает запрос соединения, включающий ID, позицию, количество слотов, требуемых для передачи, и часть файла.

Если передача с судна принята береговой станцией без искажений, она передает сигнал подтверждения (АСК) и выделяет слоты для выполнения передачи.

Береговая станция регулярно подтверждает принятые кадры.

Сообщение сохраняется в буфере прокси-сервера береговой станции и затем передается поставщику услуг доступа.

3.3.3 Отслеживание судна

При включении радиооборудования подвижной станции процесс сигнализации выполняется автоматически. Подвижная станция соединяется с наиболее пригодной радиосотой в соответствии с позицией судна и доступностью радиосети, используя режим 2 (запрос канала судно – берег).

Если нет доступной радиосоты, то станция регулярно предпринимает новые попытки идентификации.

Каждая подвижная станция через короткие интервалы получает сигналы от береговой станции данной радиосоты, для того чтобы иметь данные о ее местоположении (автоматическое отслеживание). Полученная информация дополняет конфиденциальную базу данных, которая требуется для управления трафиком.

Если береговая станция несколько раз подряд не может соединиться с подвижной станцией, считается, что подвижная станция вышла из зоны обслуживания данной радиосоты.

Прежде чем выключать бортовое оборудование, на береговую станцию передается автоматический сигнал, информирующий ее о том, что подвижная станция покидает радиосеть IPBC.

3.4 Многократное использование частот

Для береговых станций, использующих низкие частоты (4–8 МГц, дальность связи 40–200 морских миль), будет использоваться распространение земной волной. Это упрощает многократное использование частот несколькими береговыми станциями.

Высокие частоты, наоборот, должны использоваться совместно работающими береговыми станциями.

3.5 Система протокола Интернет для судовой связи и глобальная морская система связи при бедствии и для обеспечения безопасности

Изначально не планировалось, что система IPBC станет частью оборудования ГМССБ. Оно не предназначено для управления во время бедствия на море.

Передачи оборудования IPBC запрещены, если используется подвижная станция ГМССБ.

В будущем она сможет эффективно заменить радиотелеграф.

Эта система также может существенно улучшить безопасность мореплавания. Система IPBC предоставляет непрерывную и своевременную информацию, которая может быть передана в конкретный регион по приемлемой цене.

Однако возможен и экстренный доступ "Система сигнализации о безопасности судна".

3.6 Другие применения протокола Интернет для судовой связи

Она должна обеспечивать экономическую возможность для всех развивающихся стран управлять своей морской территорией в том, что касается ресурсов, защиты и экологии.

4 Архитектура системы

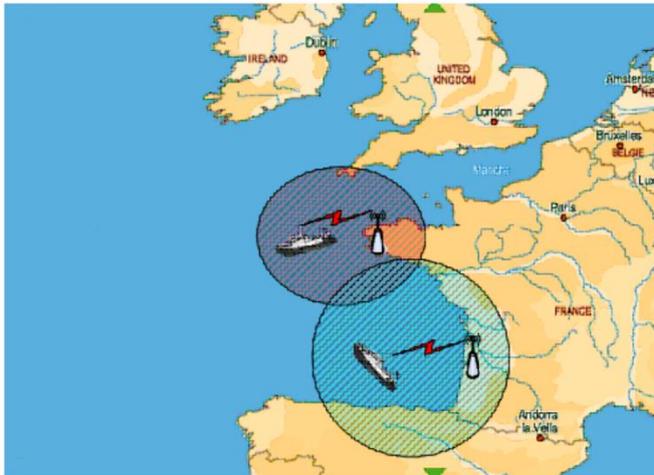
4.1 Общий принцип

Радиоканал должен быть надежным и безопасным.

Использование канала радиопередачи оптимизируется протоколами связи. Поэтому приложения не работают в режиме реального времени, и вся связь осуществляется в режиме "передачи файлов".

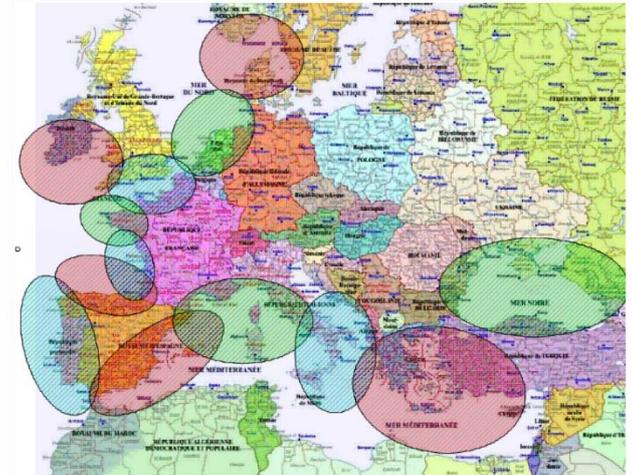
Канал радиопередачи используется совместно всеми подвижными станциями в радиосете.

РИСУНОК 39
Радиосота для низких частот



M.1798-39

РИСУНОК 40
Пример управления частотами



● F1 ● F2 ● F3

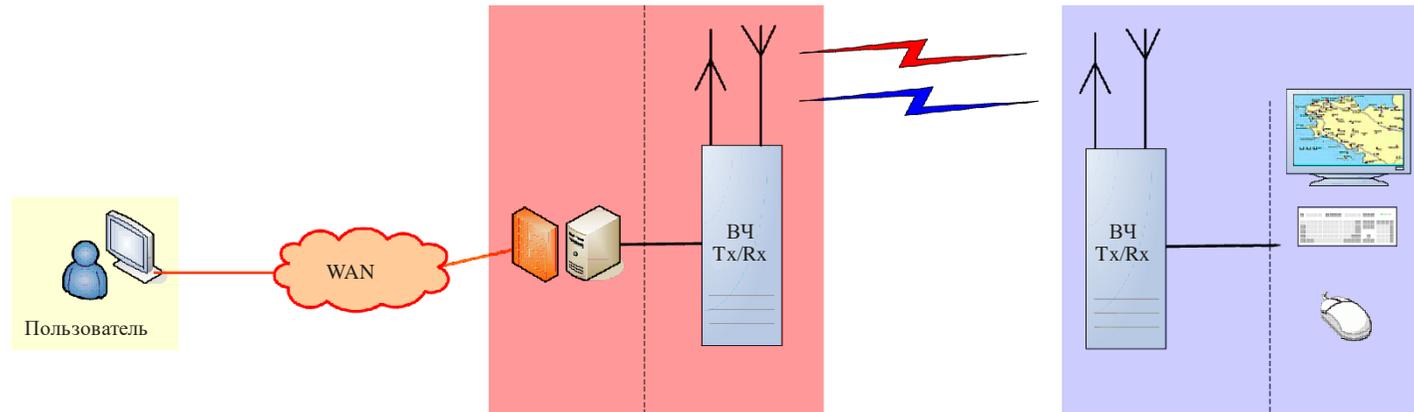
M.1798-40

4.2 Модель взаимосвязи открытых систем

Эту систему можно описать при помощи модели взаимосвязи открытых систем (ВОС).

РИСУНОК 41

Модель взаимосвязи открытых систем



L7	Приложение
L4	Транспорт
L3	Сеть
L2	Канал передачи данных
L1	MAC (физический)
	Представление (физическое)
	Поддержка (физическая)

Модель ВОС

SMTP pop-сервер
TCP UDP
IP
Ethernet
L1

Пользователь

SMTP pop-сервер
TCP UDP
IP
Ethernet
L1

Береговая станция

– Выделенные приложения – Прокси
– Разделение – Объединение – Управление ACK
/
– Управление радиоканалом – Шифрование – Фильтрация – Коррекция ошибок
MAC
– Синхронизация по GPS – Кодирование – Модуляция
PC

– Выделенные приложения – Прокси	SMTP pop-сервер
– Разделение – Объединение – Управление ACK	TCP UDP
/	IP
– Управление радиоканалом – Шифрование – Фильтрация – Коррекция ошибок	Ethernet
MAC	L1
– Синхронизация по GPS – Кодирование – Модуляция	
PC	

Подвижная станция

На каждом окончании радиоканала стандартное соединение с местной сетью осуществляется через интерфейсы. На берегу эта локальная сеть имеет выход в интернет.

4.3 Физический уровень (L1)

Этот уровень является интерфейсом между программным миром и передачей в радиоканале.

Этот уровень включает в себя:

- физический подуровень поддержки;
- физический подуровень представления:
 - модуляцию;
 - кодирование;
 - синхронизацию;
- подуровень MAC.

РИСУНОК 42

Модель взаимосвязи открытых систем – физический уровень L1

L7	Выделенные приложения Прокси
L4	Разделение Объединение Управление АСК
L3	/
L2	Управление радиоканалом Шифрование Фильтрация Коррекция ошибок
L1	MAC
	Синхронизация по GPS Кодирование Модуляция
	РЧ

М.1798-42

4.3.1 Физическая поддержка

Физическая поддержка – это канал радиопередачи, основные характеристики которого зависят от частоты.

Канал радиопередачи может быть подвержен:

- многолучевости;
- эффекту Доплера;
- задержке распространения.

Подвижная станция работает в полудуплексном режиме.

4.3.2 Физическое представление

Это уровень осуществляет модуляцию и демодуляцию сигнала, синхронизацию по сигналу GPS.

4.3.2.1 Модуляция на основе ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте

Канал радиопередачи использует данные, кодированные при помощи OFDM.

Этот процесс позволяет достичь хорошего компромисса между скоростью передачи и устойчивостью сигнала в соответствии с ограничениями канала радиопередачи.

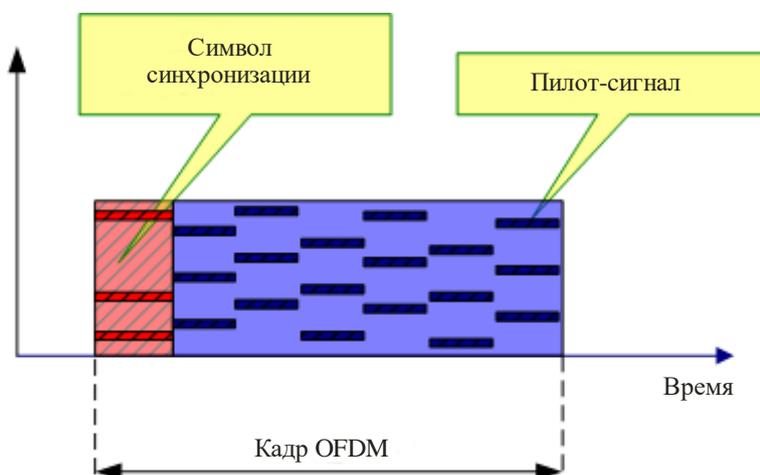
Режим OFDM использует поднесущие, каждая из которых по отдельности модулирована QAM.

В режиме OFDM должны использоваться кадры фиксированной длины. Начало каждого кадра резервируется для преамбулы синхронизации.

Описание канала радиопередачи получается при помощи некоторых пилотных поднесущих.

РИСУНОК 43

Процесс ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте



М.1798-43

Подробное описание дано в главе 5.

4.3.2.2 Кодирование модуляции

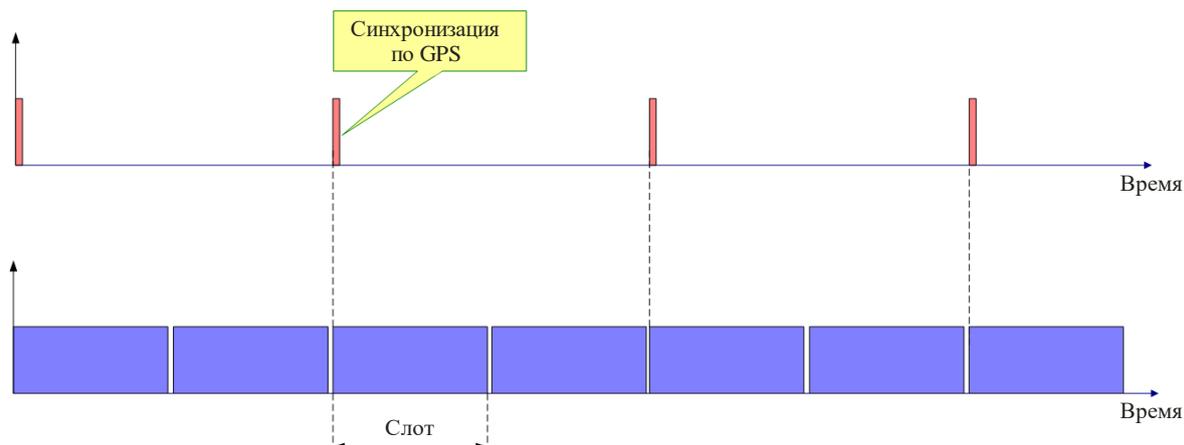
Кодирование применяется к данным, предназначенным для передачи, с целью оптимизации спектра канала радиопередачи.

4.3.2.3 Синхронизация по сигналу GPS

Этот подуровень выполняет синхронизацию кадров по сигналу GPS; он является опорным сигналом времени для всех подвижных и береговых станций. Для этой цели этот промежуток времени – общий для всех станций – делится на слоты OFDM, длина которых равна длине кадра.

Каждый слот может быть занят или не занят кадром OFDM.

РИСУНОК 44
Синхронизация по сигналу GPS



М.1798-44

4.3.3 Управление доступом к среде передачи

На этом подуровне идентифицируется каждая береговая и подвижная станция. Номер ID может быть номером MMSI судна или береговой станции.

4.4 Уровень канала (L2)

Уровень канала состоит из:

- подуровня коррекции ошибок;
- подуровня фильтрации;
- подуровня шифрования;
- подуровня управления радиоканалом.

РИСУНОК 45
Модель взаимодействия открытых систем – уровень канала L2

L7	Выделенные приложения Прокси
L4	Разделение Объединение Управление АСК
L3	/
L2	Управление радиоканалом Шифрование Фильтрация Коррекция ошибок
L1	MAC
	Синхронизация по GPS Кодирование Модуляция
	РЧ

М.1798-45

4.4.1 Коррекция ошибок

Коррекция ошибок зависит от желаемой устойчивости кодирования.

Подробное описание дано в пункте 6.1.

4.4.2 Фильтрация

Этот подуровень различен для береговой и подвижной станций.

Для береговой станции:

- при передаче к сообщению, адресованному конкретному судну, добавляется ID;
- при приеме производится проверка сообщений, действительно ли они получены от нужного судна.

Для подвижной станции:

- При передаче к сообщению добавляется ID.
- При приеме сохраняются только те сообщения, которые адресованы данной станции.

4.4.3 Шифрование

Для обеспечения секретности к данным может применяться шифрование.

4.4.4 Управление радиоканалом

Этот подуровень формирует протокол управления радиоканалом. Он основан на связи ведущий/ведомый.

Ведущим является береговая станция, а ведомыми – подвижные станции.

4.4.4.1 Управление радиоканалом на стороне береговой станции

Береговая станция является ведущим:

- она управляет командами передачи на подвижные станции;
- она передает сообщения на подвижные станции;
- она передает уведомления (АСК).

Список подвижных станций в радиосоте постоянно известен береговой станции.

Подробное описание дано в пункте 6.2.

4.4.4.2 Управление радиоканалом на стороне судовой станции

Береговая станция регулярно выделяет свободные слоты для осуществления связи с подвижной станцией.

Промежуток между свободными слотами может динамически меняться в соответствии с трафиком в канале радиопередачи.

Подвижная станция является ведомой; сообщения на береговую станцию могут передаваться только двумя способами:

- если ее сообщение может уместиться в одном кадре, она передает его целиком в свободном слоте;
- если нет, то она запрашивает выделение слотов в свободном слоте, передавая в нем и начало сообщения; береговая станция подтверждает прием и выделяет слоты, в которых подвижная станция сможет передать оставшуюся часть сообщения.

Уровень канала хранит в памяти карту слотов, переданных береговой станцией, для того чтобы знать о наличии свободных слотов.

4.5 Транспортный уровень (L4)

Транспортный уровень отвечает за выполнение следующих функций:

- деление больших файлов на несколько пакетов;
- объединение пакетов в один файл;
- передачу и прием АСК.

РИСУНОК 46

Модель взаимодействия открытых систем – Транспортный уровень L4

L7	Выделенные приложения Прокси
L4	Разделение Объединение Управление АСК
L3	/
L2	Управление радиоканалом Шифрование Фильтрация Коррекция ошибок
L1	MAC
	Синхронизация по GPS Кодирование Модуляция
	РЧ

М.1798-46

Этот уровень отвечает за деление файлов на пакеты соответствующего размера с более низкими уровнями (размер кадра OFDM) и за объединение пакетов обратно в файлы для более высоких уровней.

На этом уровне используется два транспортных протокола для ВЧ-канала связи:

- первый обеспечивает надежное соединение, управляя проверкой приема. Он используется в основном для передачи почты;
- второй не управляет проверкой приема, он используется для радиовещательной передачи и отслеживания.

В каждом протоколе одновременно может передаваться только один файл.

4.5.1 Уровень приложений (L7)

РИСУНОК 47

Модель взаимодействия открытых систем – Уровень приложений L7

L7	Выделенные приложения Прокси
L4	Разделение Объединение Управление АСК
L3	/
L2	Управление радиоканалом Шифрование Фильтрация Коррекция ошибок
L1	MAC
	Синхронизация по GPS Кодирование Модуляция
	РЧ

М.1798-47

Этот уровень приложений предоставляет интерфейс доступа к радиосети.

Интерфейсы связи приложений могут быть:

- предназначены для IPBC (отслеживание судна, прогноз погоды и т. п.);
- стандартными, использующими выделенный прокси-сервер (например, почтовый, FTP и др.).

5 Принцип уровня L1 – ортогональное мультиплексирование с разделением по частоте

5.1 Введение

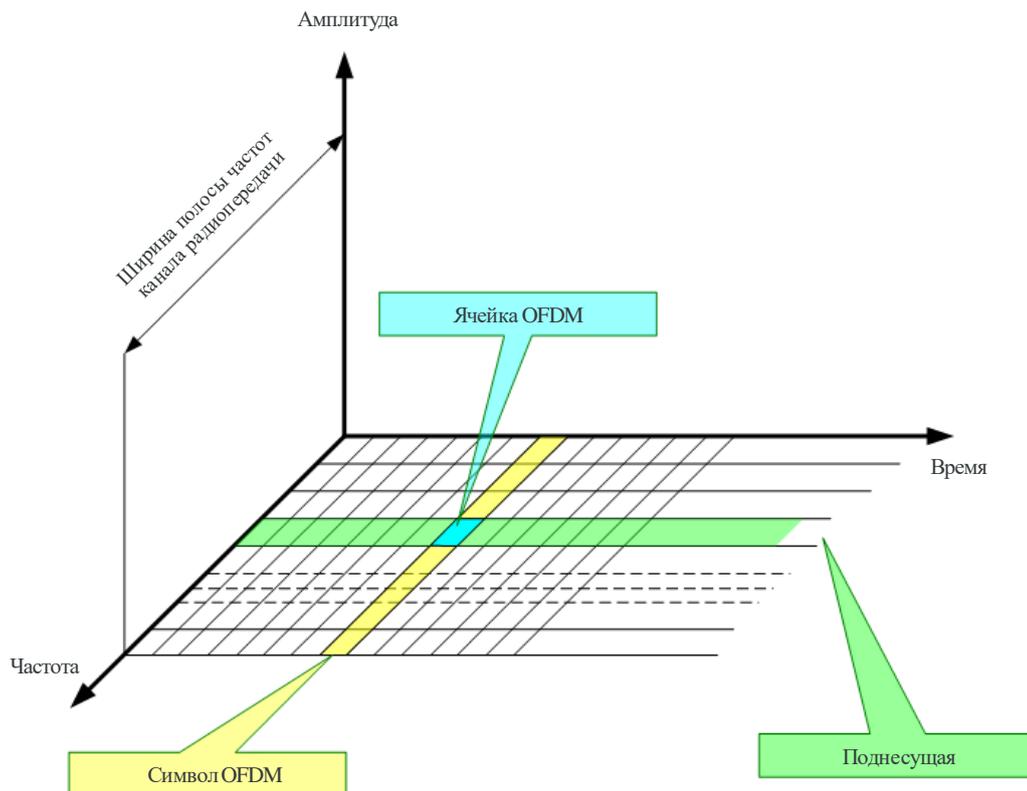
Ширина полосы канала радиопередачи делится в частотной области, образуя поднесущие.

Занятость канала радиопередачи создается в каждый момент времени, образуя символы OFDM .

Ячейка OFDM эквивалентна символу OFDM.

РИСУНОК 48

Введение в ортогональное мультиплексирование с разделением по частоте



М.1798-48

5.2 Принцип

Для достижения высокой эффективности использования спектра при передаче данных, OFDM использует большое число близко расположенных ортогональных поднесущих. Эти поднесущие разнесены по частоте ($F_u = 1/T_u$), где T_u – длительность символа OFDM.

Для увеличения разнесенности сигнала, обусловленной многолучевостью, особенно на дальних расстояниях, фазы поднесущих ортогональны относительно друг друга.

Защитный интервал (T_d) вводится в символ OFDM для уменьшения влияния многолучевости, снижая, таким образом, межсимвольную интерференцию.

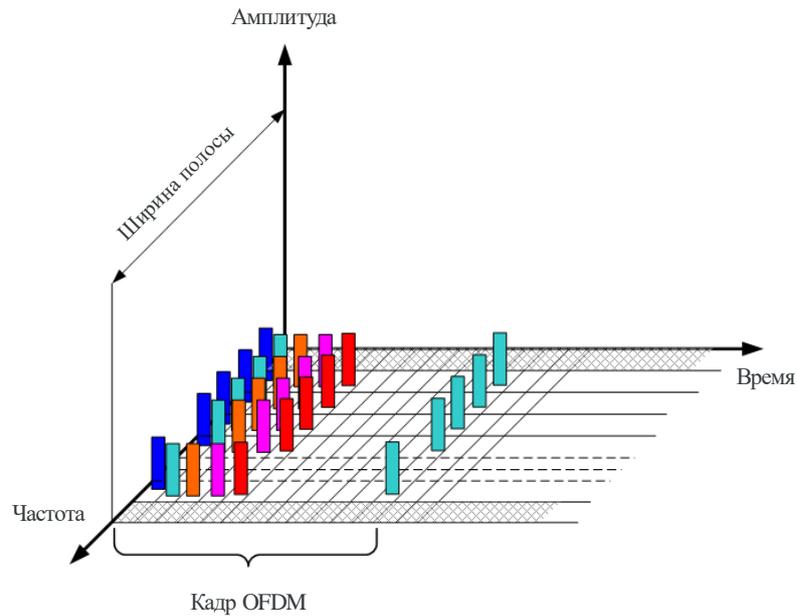
Длительность символа OFDM $T_s = T_u + T_d$.

Символы OFDM затем объединяются, образуя кадр OFDM.

Длительность кадра OFDM равна T_f .

РИСУНОК 49

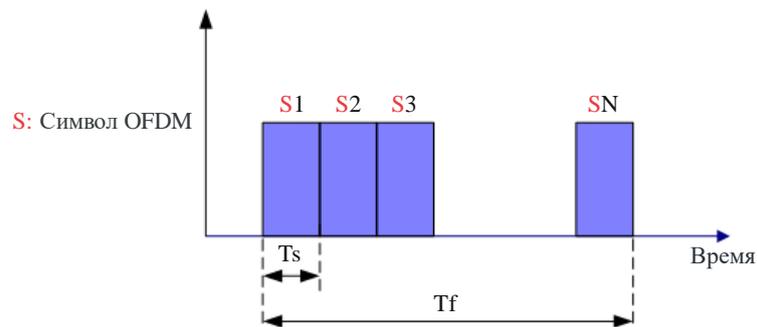
Спектральное представление кадра ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте



М.1798-49

РИСУНОК 50

Временное представление кадра ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте



М.1798-50

5.3 Модуляция

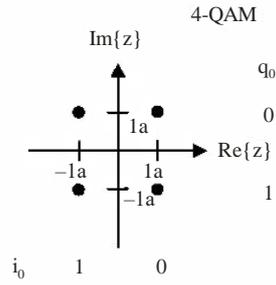
Каждая поднесущая модулируется по амплитуде и фазе (QAM – квадратурная амплитудная модуляция).

Шаблоны модуляции могут иметь 64 состояния (6 битов, 64-QAM), 16 состояний (4 бита, 16-QAM) или 4 состояния (2 бита, 4-QAM).

Шаблон модуляции зависит от желаемой устойчивости сигнала.

РИСУНОК 51

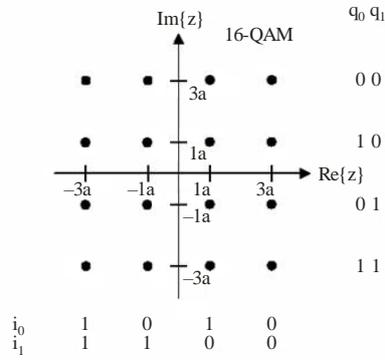
Сигнальное созвездие 4-позиционной квадратурной амплитудной модуляции



М.1798-51

РИСУНОК 52

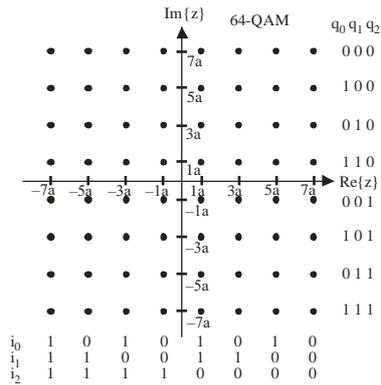
Сигнальное созвездие 16-позиционной квадратурной амплитудной модуляции



М.1798-52

РИСУНОК 53

Сигнальное созвездие 64-позиционной квадратурной амплитудной модуляции



М.1798-53

5.4 Синхронизация

Для того чтобы обеспечить корректную демодуляцию каждой поднесущей, для каждой поднесущей должна быть определена характеристика канала радиопередачи и должен использоваться эквалайзер. Для этого некоторые из поднесущих OFDM-символов могут передавать пилот-сигналы.

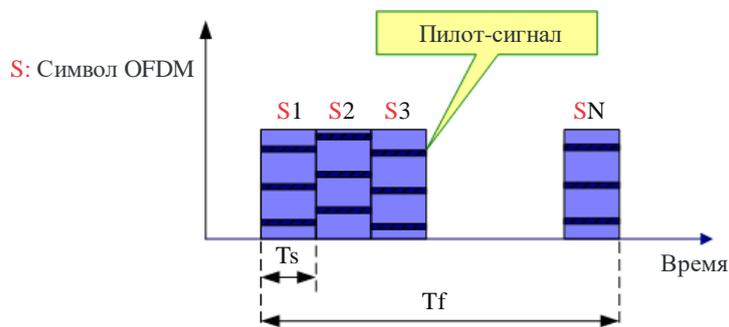
Пилот-сигналы позволяют приемнику:

- определить, принят ли сигнал;
- оценить сдвиг частоты;
- оценить канал радиопередачи.

Число пилот-сигналов зависит от желаемой устойчивости сигнала.

РИСУНОК 54

Пилот-сигнал ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте

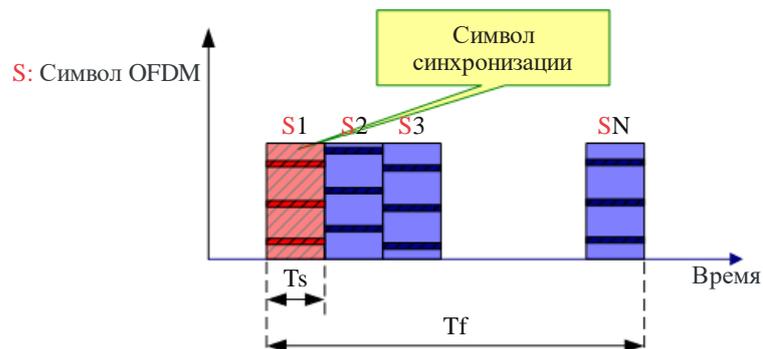


М.1798-54

Первым передается известный символ синхронизации, для того чтобы синхронизировать по времени каждый кадр OFDM.

РИСУНОК 55

Символ синхронизации

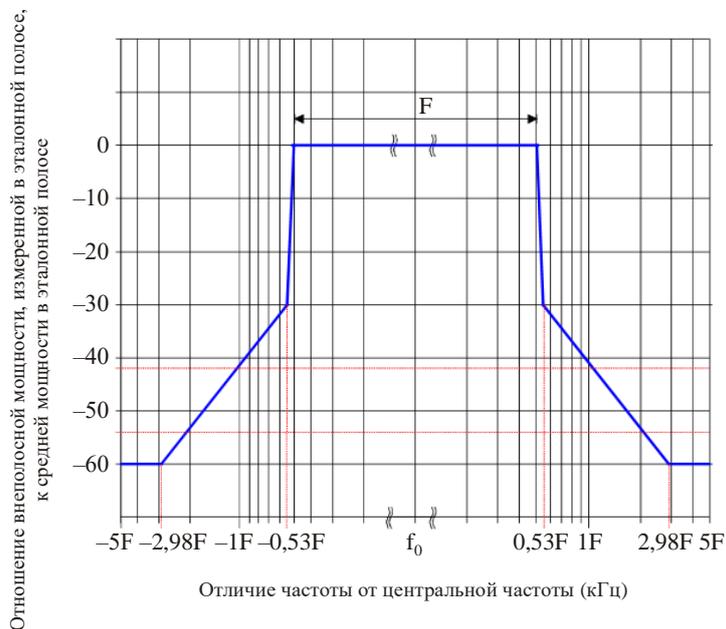


М.1798-55

5.5 Загрузка спектра сигнала ВЧ

РИСУНОК 56

Загрузка спектра сигнала ВЧ с шириной полосы $F = 10\text{--}20$ кГц



М.1798-56

6 Принцип уровня канала (L2)

Уровень канала состоит из:

- подуровня коррекции ошибок;
- подуровня фильтрации;
- подуровня шифрования;
- подуровня управления радиоканалом.

6.1 Коррекция ошибок

Схема коррекции ошибок зависит от желаемой устойчивости кодирования.

Эффективность может меняться от 0,5 до 0,75 (турбокод) в зависимости от схем коррекции ошибок и шаблонов модуляции.

ТАБЛИЦА 6

Общая эффективность в зависимости от коррекции ошибок (исследование LEST)

Конфигурация	Эффективность внешнего кода (если используется)	Эффективность внутреннего кода (если используется)	Эффективность из-за прореживания	Общая эффективность кодирования
№ 1	RS(204,188) $\frac{188}{204} = \frac{47}{51} \approx 0,92$	Не используется		$\frac{188}{204} = \frac{47}{51} \approx 0,92$
№ 2 и № 3	RS(204,188) $\frac{188}{204} = \frac{47}{51} \approx 0,92$	Конволюционный код NRSC (K = 7) $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{47}{102} \approx 0,46$
			$\frac{2}{3}$	$\frac{94}{153} \approx 0,61$
			$\frac{3}{4}$	$\frac{141}{204} \approx 0,69$
			$\frac{5}{6}$	$\frac{235}{306} \approx 0,77$
			$\frac{7}{8}$	$\frac{329}{408} \approx 0,81$
№ 4		Турбокод (двойной бинарный) $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2} = 0,5$
			$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4} = 0,75$

6.2 Управление радиоканалом на стороне береговой станции

Этот подуровень выполняет протокол управления радиоканалом. Он основан на связи ведущий/ведомый. В ней есть ведущий – береговая станция; и один или несколько ведомых – подвижные станции.

Протокол управления радиоканалом включает в себя полудуплексную работу и время для коммутации антенны для подвижной станции.

Береговая станция может быть оборудована несколькими приемопередатчиками для управления несколькими каналами радиопередачи.

Береговая станция – ведущий:

- она управляет командами передачи на подвижные станции;
- она направляет сообщения на подвижные станции;
- она направляет АСК.

Береговая станция постоянно имеет список подвижных станций, находящихся в радиосоте, и они по отдельности могут быть опрошены в любое время.

Береговая станция проверяет канал, включая в каждый переданный кадр метку заголовка.

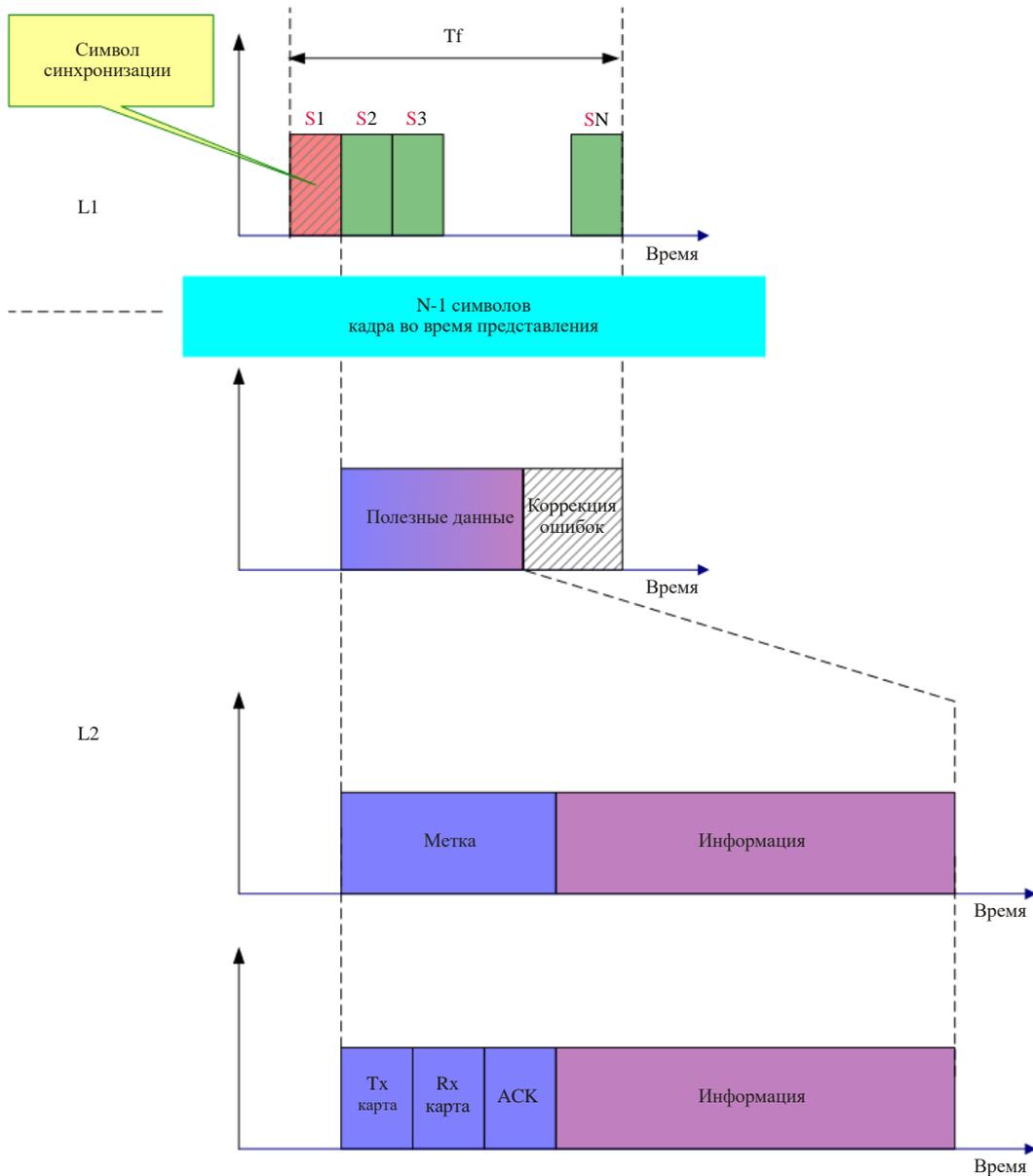
Метка заголовка состоит из:

- карты N следующих слотов для передачи подвижных станций;
- карты N следующих слотов, предназначенных для приема на подвижных станциях;
- M последних уведомлений (АСК).

Параметры N и M могут динамически меняться в соответствии с количеством подвижных станций, использующих канал радиопередачи.

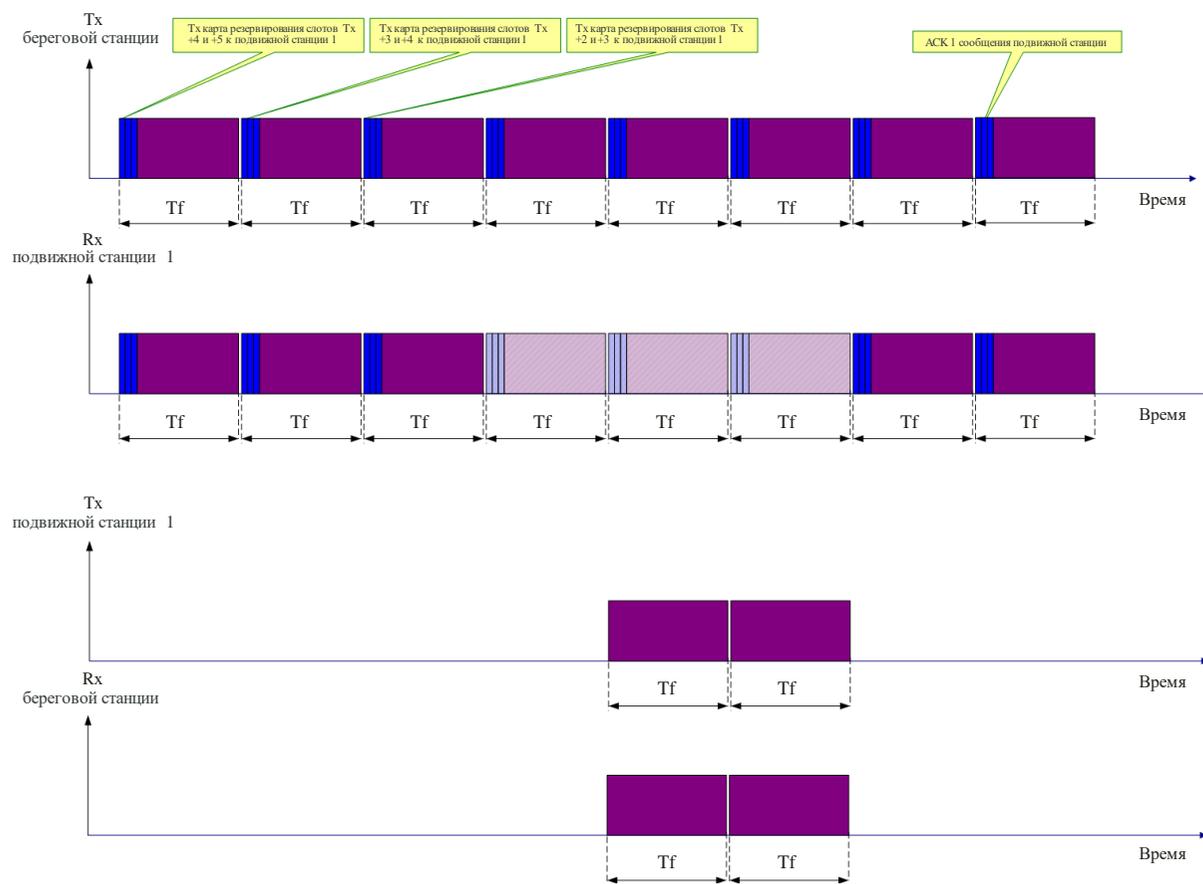
РИСУНОК 57

Структура кадра ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте на уровнях L1 и L2



6.3 Хронограмма управления радиоканалом

РИСУНОК 58
Хронограмма управления радиоканалом



7 Основа для экспериментов

Натурные испытания в реальном времени запланированы на 2008–2009 годы.

Символ OFDM равен кратному числу элементарных отрезков времени $T = 83$ мкс.

Система IPBC может предоставить несколько режимов защиты в соответствии с желаемой устойчивостью сигнала и условиями распространения. Ниже представлен выбранный режим для экспериментов с распространением сигнала посредством земной волны.

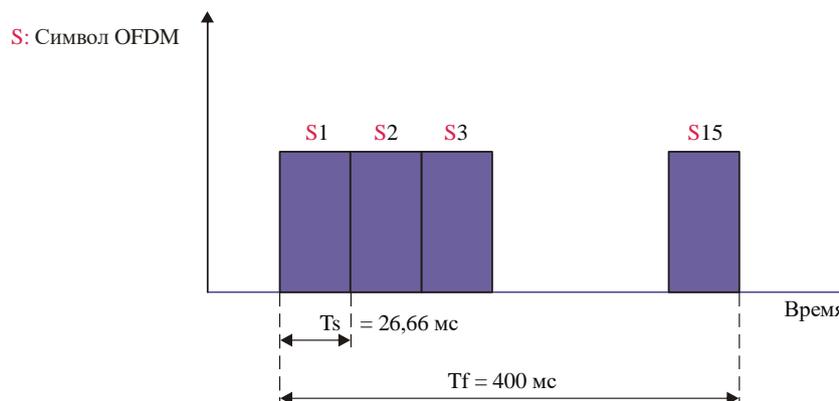
ТАБЛИЦА 7

Обзор характеристических параметров ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте

Элементарное время T (мкс)	83
Полезная длительность символа T_u (мс)	$288 \times T = 24$
Длительность защитного интервала T_g (мс)	$32 \times T = 2,66$
Полная длительность символа T_s (мс)	26,66
Длительность кадра T_f (мс)	400
Число символов/кадров	15

РИСУНОК 59

Временные параметры ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте



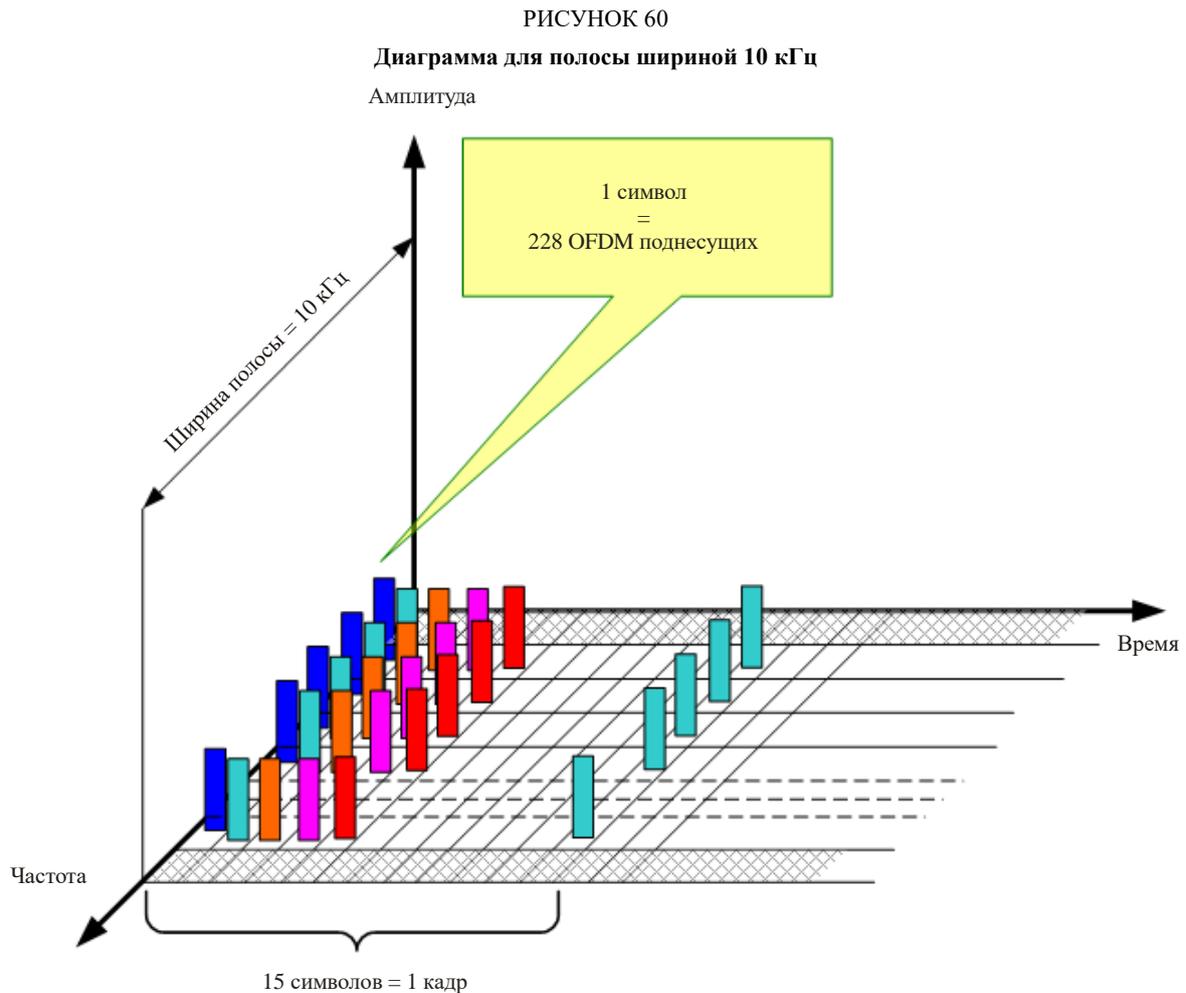
М.1798-59

Расстояние между поднесущими равно $1/T_u = 41,66$ Гц.

ТАБЛИЦА 8

Число поднесущих в зависимости от ширины полосы

Ширина полосы (кГц)	Число поднесущих
10	228
20	460



М.1798-60

Символ OFDM равен нескольким битам в соответствии с модуляцией. Для полосы шириной 10 кГц символ состоит из 228 поднесущих.

Каждая поднесущая модулируется по схеме QAM и может отображаться при помощи 6, 4 или 2 битов для 64-QAM, 16-QAM и 4-QAM.

Скорость передачи данных в радиоканале приведена в таблице 9.

ТАБЛИЦА 9

**Скорость передачи данных в радиоканале в зависимости
от квадратурной амплитудной модуляции**

Тип QAM	Битов/символ	Битов/кадр (400 м)	Битов/с
64	1368	20 520	51 300
16	912	13 680	34 200
4	456	6840	17 100

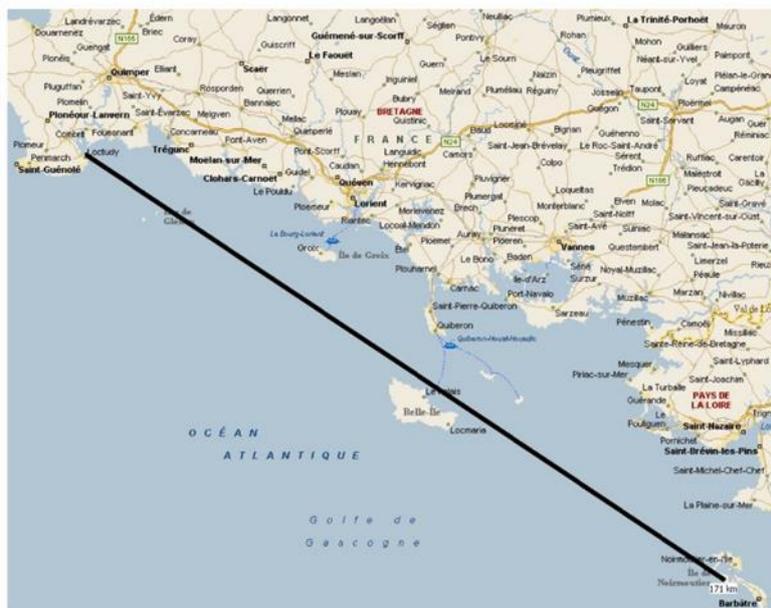
8 Результаты первых испытаний

8.1 Кампания по измерению условий распространения, морское путешествие земной волны

В 2007 году компания Telecom Bretagne провела работу по измерению реальных условий распространения на трассе берег – море – берег длиной 170 км, для того чтобы проверить ослабление в канале, допустимую когерентность, ширину полосы и отсутствие многолучевости.

РИСУНОК 61

Визуальное отображение таблицы измерений



M.1798-61

Одновременно система ионосферных радаров SCIPION записывала результаты в реальном времени.

Использовались следующие частоты:

- 4177 кГц;
- 6270 кГц;
- 8385 кГц;
- 12 495 кГц.

Вывод:

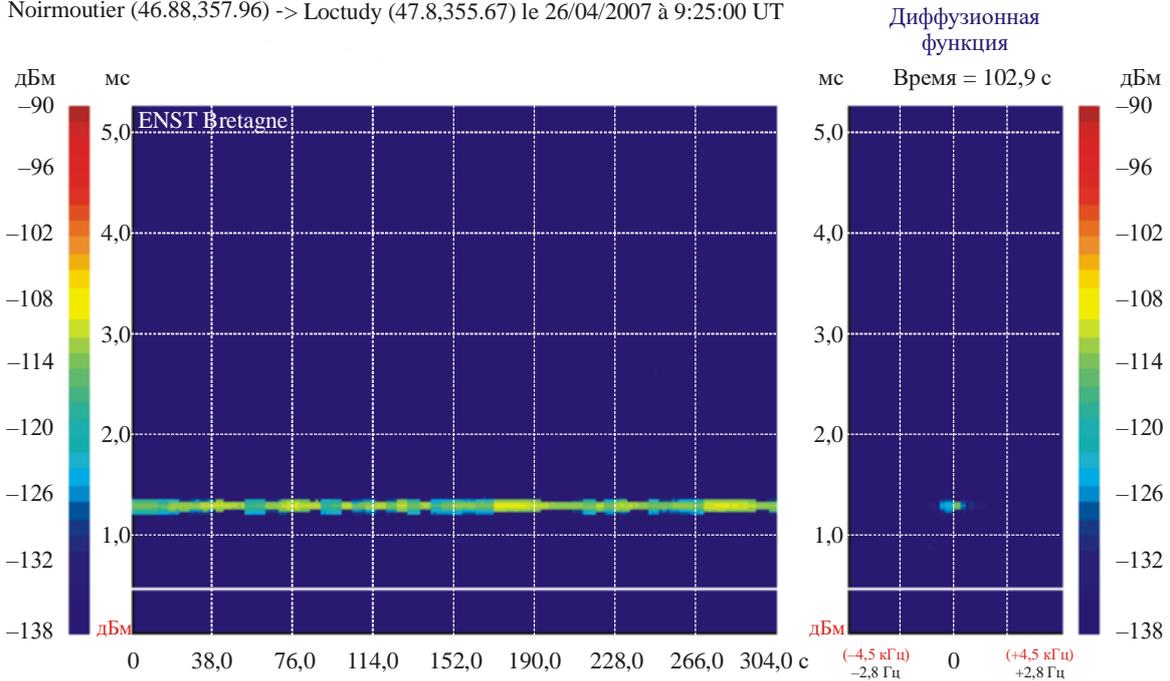
- ослабление для морской поверхностной волны соответствует теоретическим результатам (публикации МСЭ);
- ширина полосы когерентности: > 9 кГц;
- ионосферные волны проходят в слоях E и F.

Следующие рисунки иллюстрируют результаты измерений.

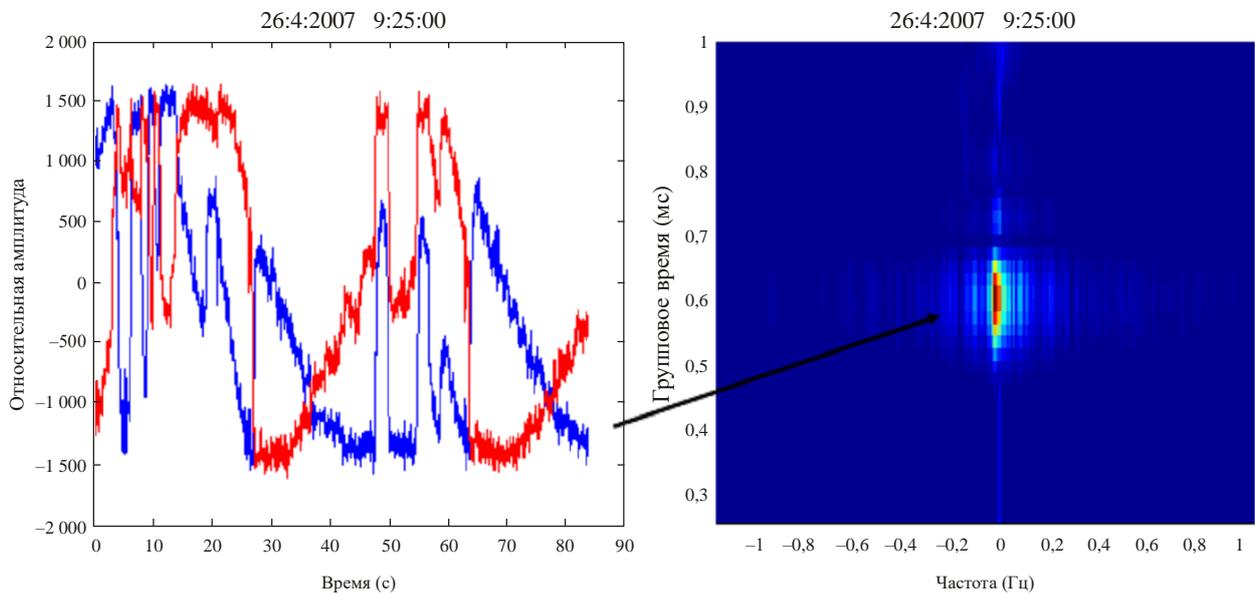
РИСУНОК 62

Характеристика канала радиопередачи на частоте $F = 4,177$ МГц

Noirmoutier (46.88,357.96) -> Loctudy (47.8,355.67) le 26/04/2007 à 9:25:00 UT



Измерение в канале на фиксированной частоте, данные с радара SCIPION



M.1798-62

Контроль земной волны (каналы I и Q) на 84 с
Разрешение: 40,96 мс

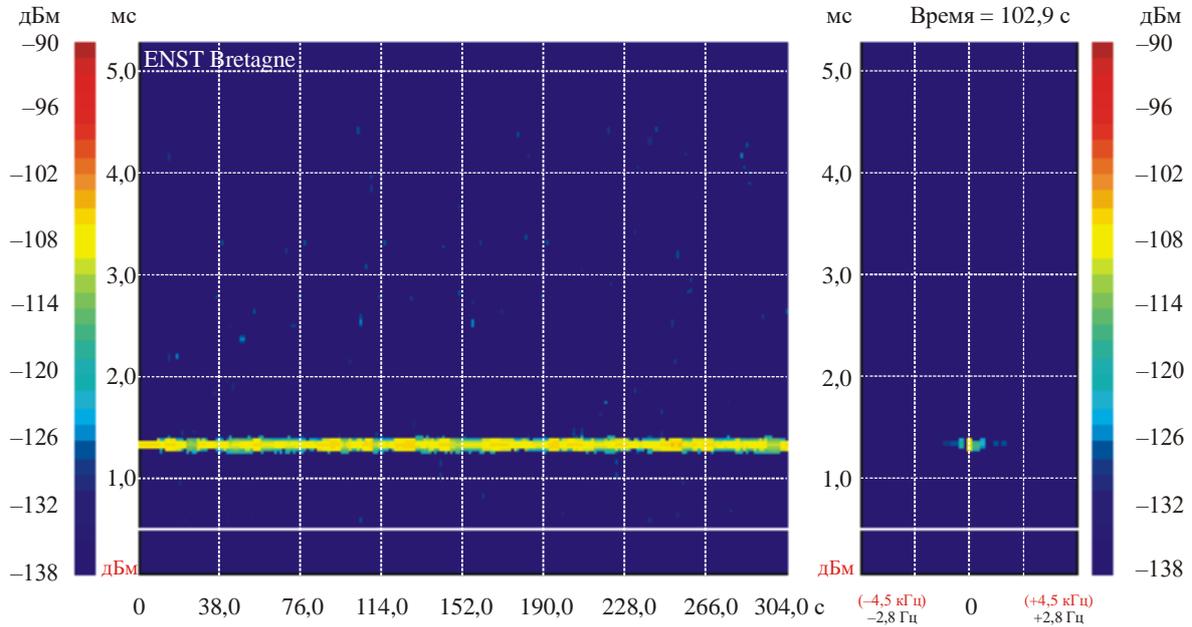
Спектр 2048 отсчетов
Разрешение: 0,012 Гц

РИСУНОК 63

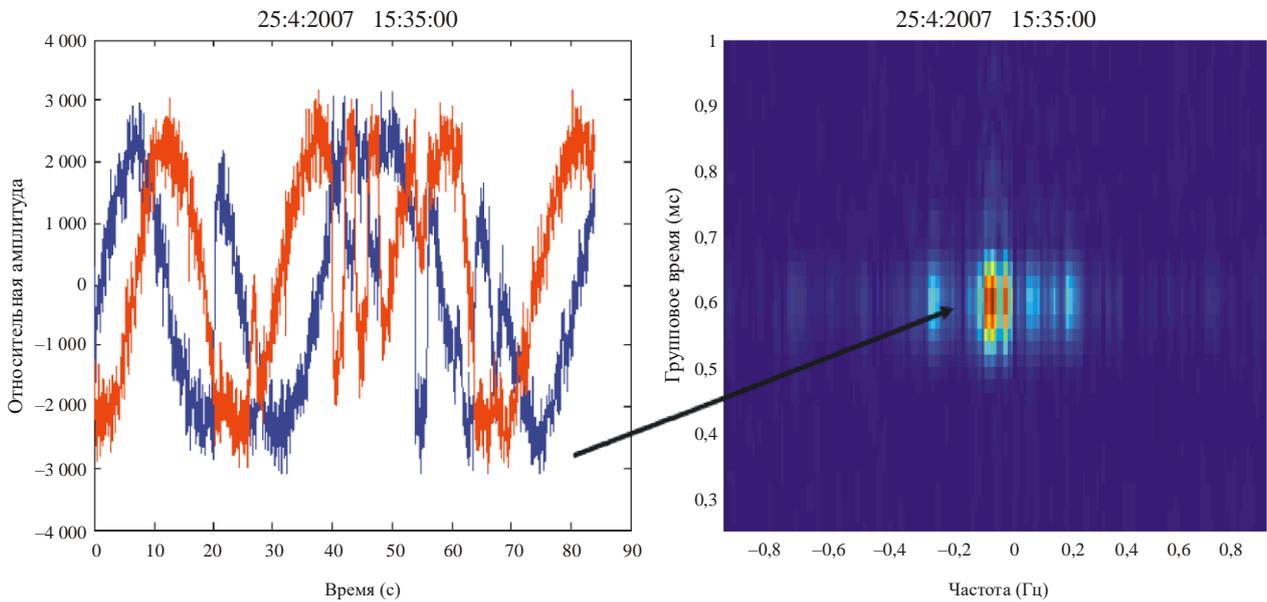
Характеристика канала радиопередачи на частоте $F = 6,27$ МГц

Noirmoutier (46.88,357.96) -> Loctudy (47.8,355.67) le 25/04/2007 à 15:35:00 UT

Диффузионная функция



Измерение в канале на фиксированной частоте, данные с радара SCIPION



М.1798-63

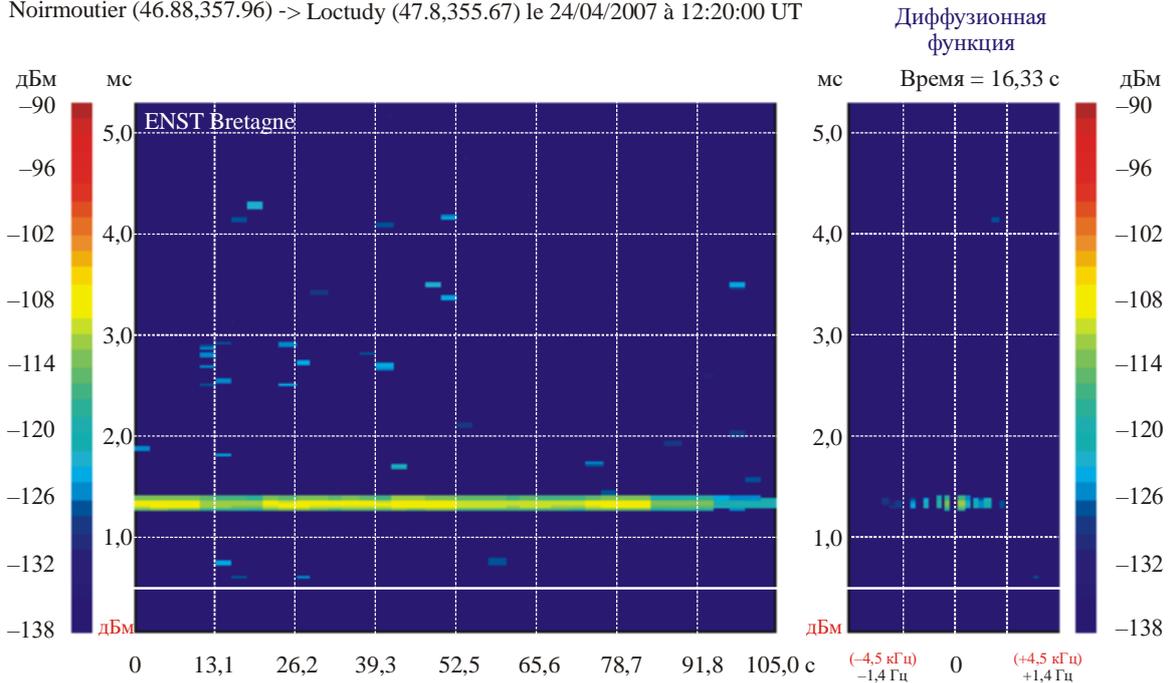
Контроль земной волны (каналы I и Q) на 84 с
Разрешение: 40,96 мс

Спектр 2048 отсчетов
Разрешение: 0,012 Гц

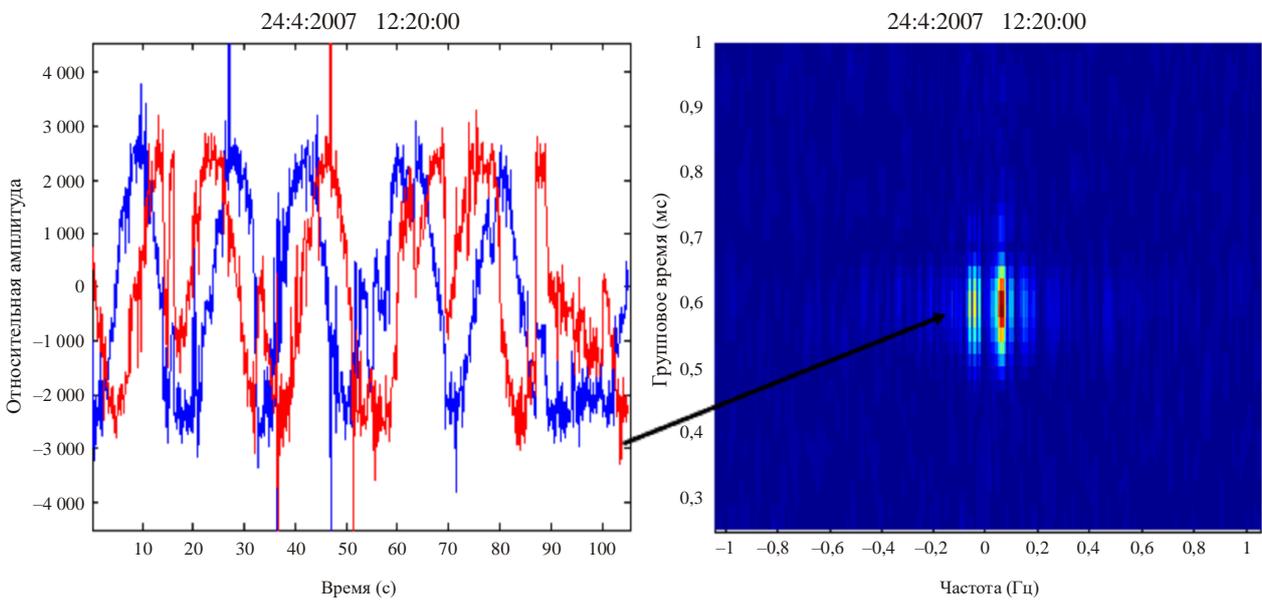
РИСУНОК 64

Характеристика канала радиопередачи на частоте $F = 8,385$ МГц

Noirmoutier (46.88,357.96) -> Loctudy (47.8,355.67) le 24/04/2007 à 12:20:00 UT



Измерение в канале на фиксированной частоте, данные с радара SCIPION



M.1798-64

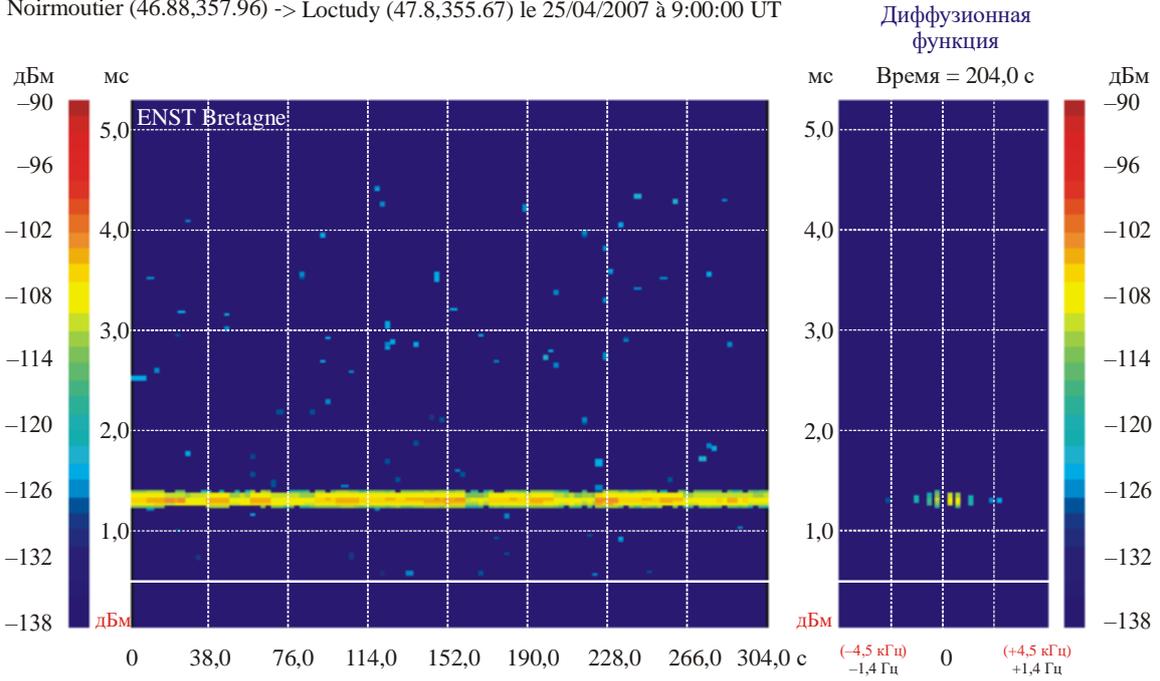
Контроль земной волны (каналы I и Q) на 105 с
Разрешение: 81,92 мс

Спектр 1280 отсчетов
Разрешение: 0,009 Гц

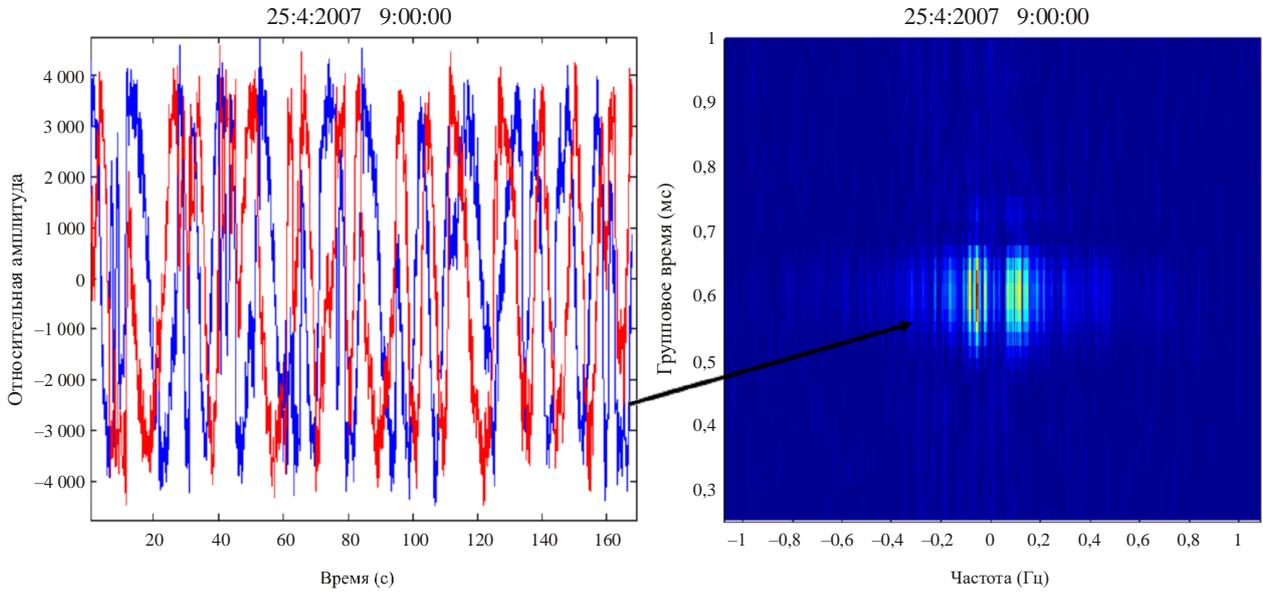
РИСУНОК 65

Характеристика канала радиопередачи на частоте $F = 12,495$ МГц

Noirmoutier (46.88,357.96) -> Loctudy (47.8,355.67) le 25/04/2007 à 9:00:00 UT



Измерение в канале на фиксированной частоте, данные с радара SCIPION



М.1798-65

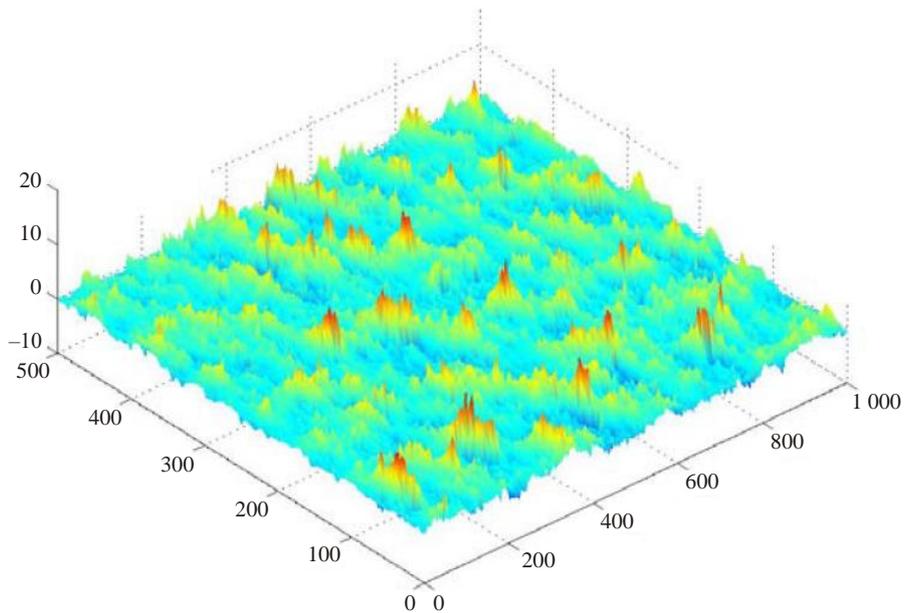
Контроль земной волны (каналы I и Q) на 167 с
Разрешение: 81,92 мс

Спектр 2048 отсчетов
Разрешение: 0,006 Гц

8.2 Моделирование канала

В процессе исследования создана модель ВЧ-канала радиопередачи для распространения земной волной при передачах берег – море.

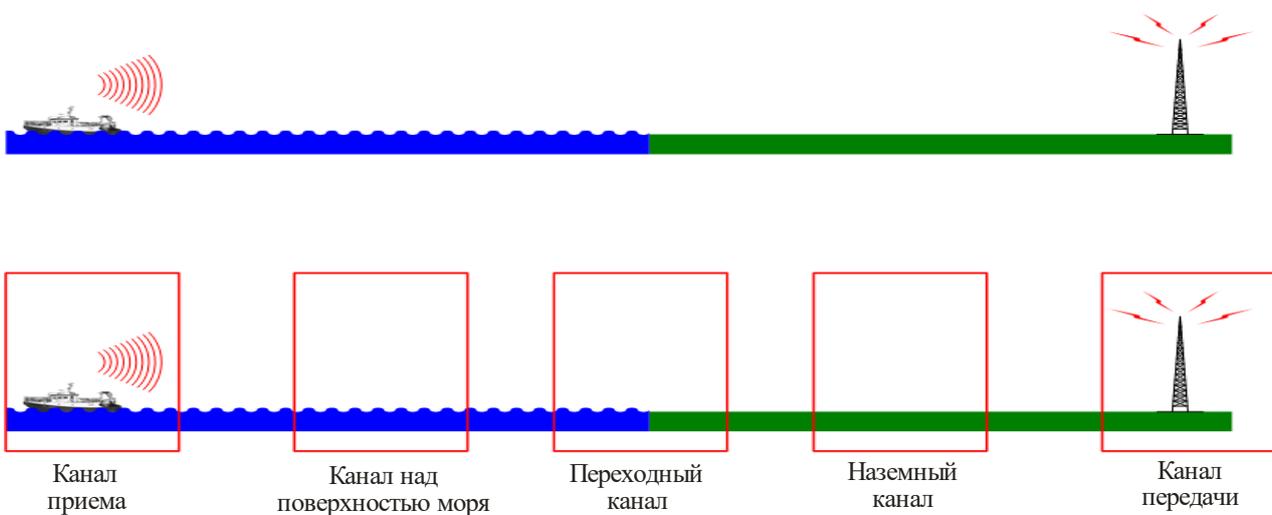
РИСУНОК 66
Волновая модель



М.1798-66

Это исследование включало в себя векторы переходов берег – море – берег и учитывало волновой эффект.

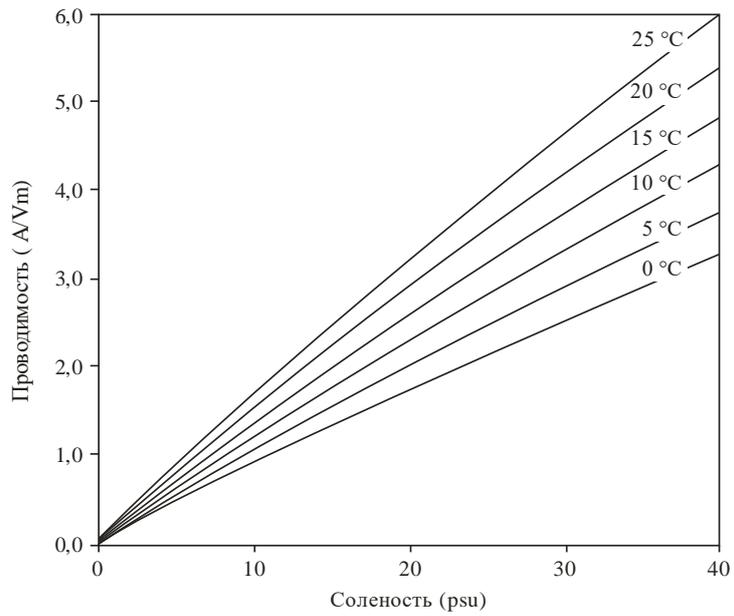
РИСУНОК 67
Представление канала радиопередачи в виде теоретических подканалов



М.1798-67

РИСУНОК 68

Проводимость моря в зависимости от его солености при некоторых температурах

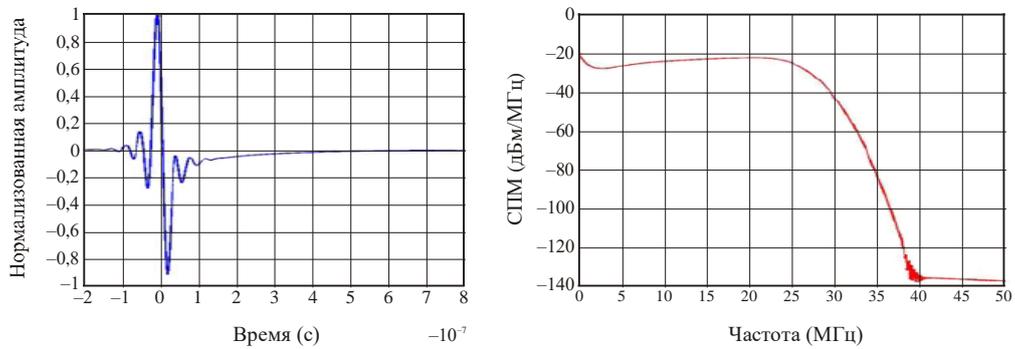


М.1798-68

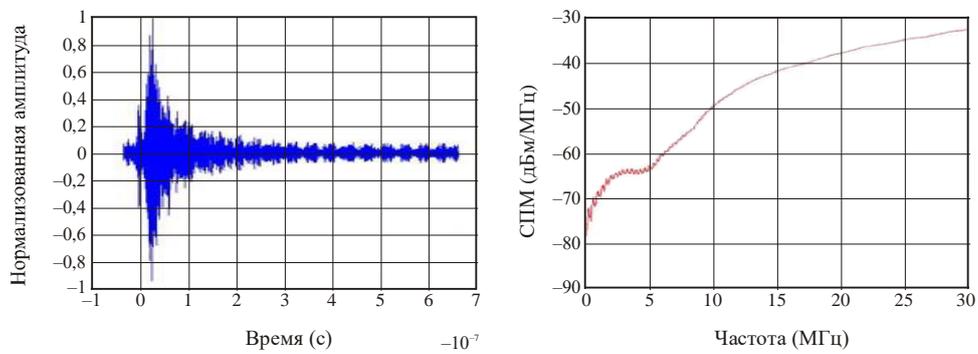
РИСУНОК 69

Импульсная характеристика земного подканала

Передача:



Прием:

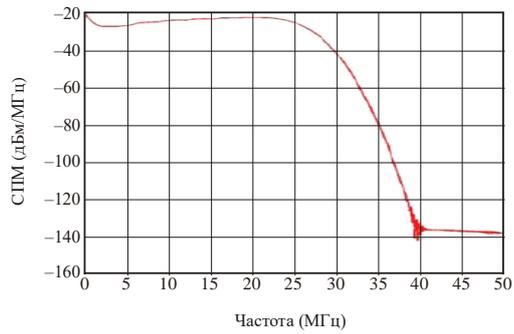
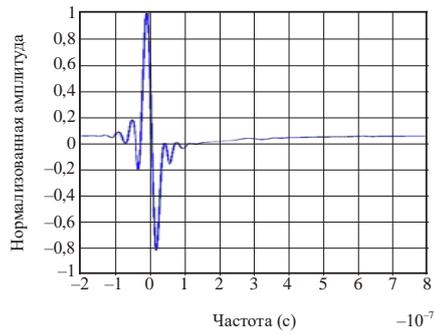


М.1798-69

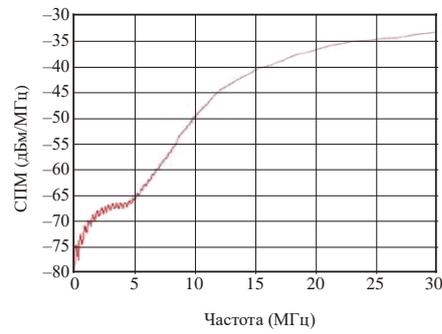
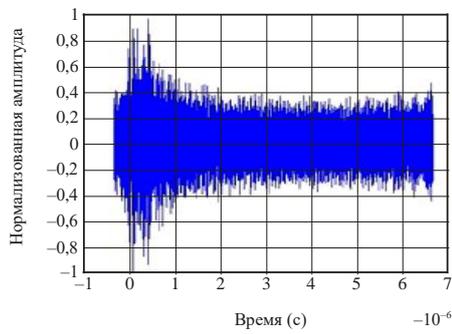
РИСУНОК 70

Импульсная характеристика переходного подканала

Передача:



Прием:

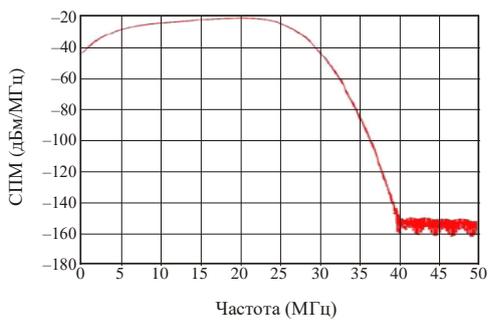
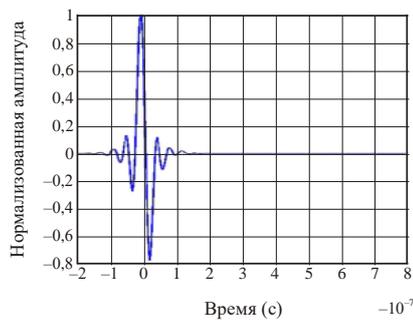


М.1798-70

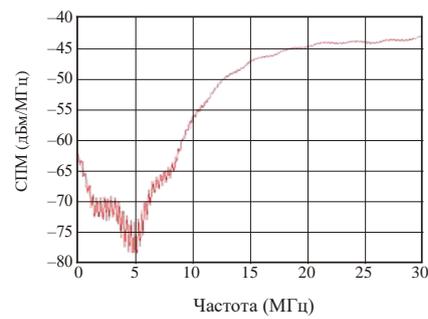
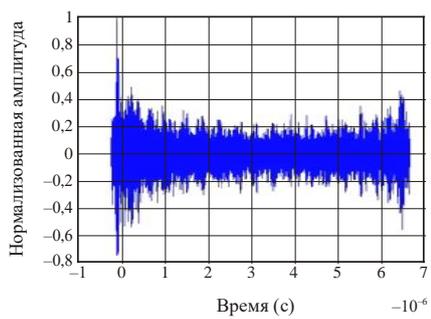
РИСУНОК 71

Импульсная характеристика морского подканала

Передача:



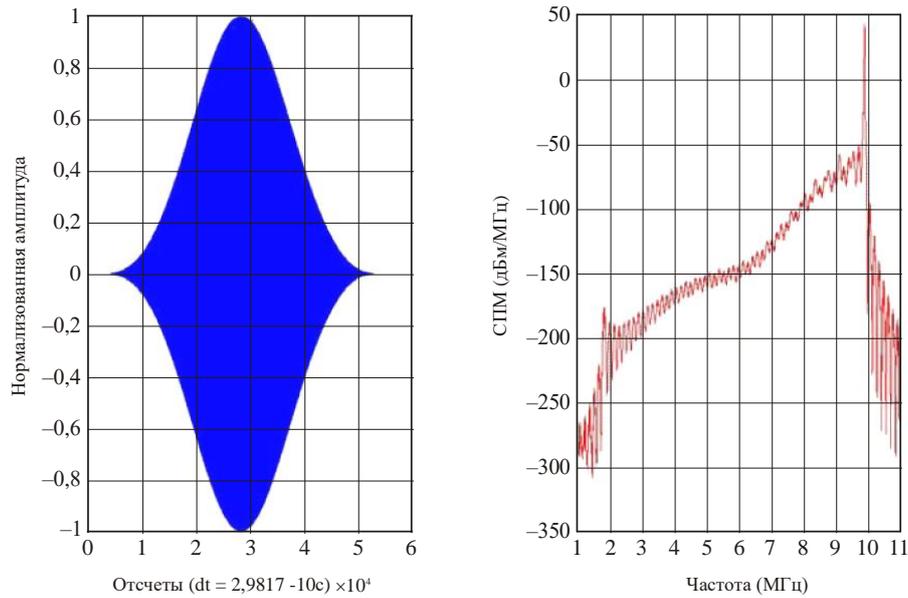
Прием:



М.1798-71

РИСУНОК 72

Импульсная характеристика основного канала на частотах от 2 до 10 МГц



М.1798-72

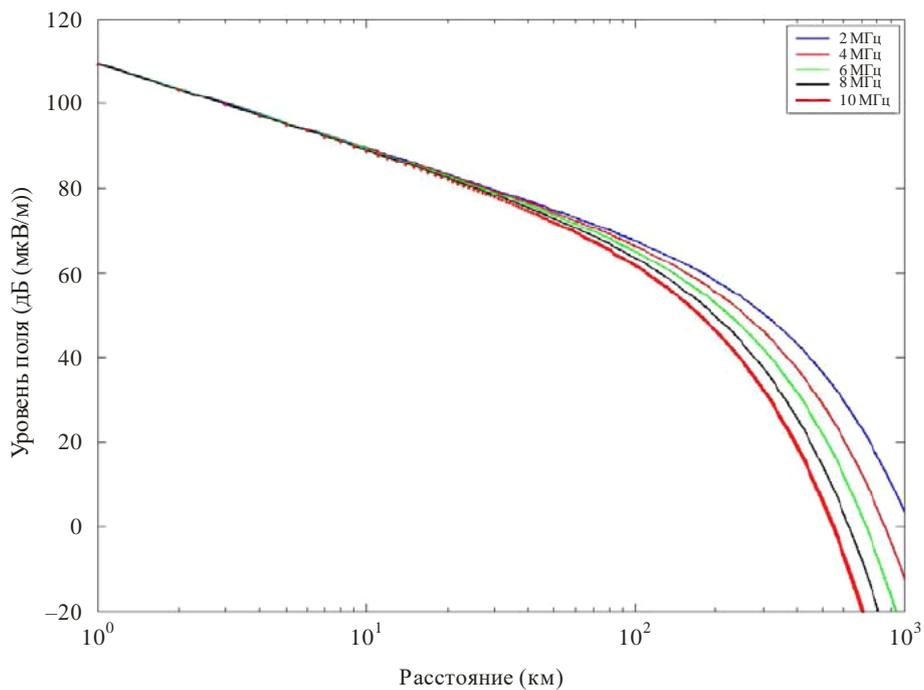
Расчеты уровня поля, метод Миллингтона.

Примем следующие параметры:

- средняя соленость моря: $\sigma = 5$ с/м, $E = 70$;
- вертикальная поляризация;
- средняя мощность: 1 кВт.

РИСУНОК 73

Уровень поля в зависимости от расстояния



М.1798-73

9 Результаты экспериментов

В течение 2009 года было выполнено несколько экспериментов с компонентами системы ИРВС:

- распространение поверхностной волны;
- передатчик;
- приемник.

Для испытаний по передаче данных

Точка передачи располагалась в городе Бресте (Франция).

Точка контрольного приема располагалась в городе Куимпере (Франция).

Для получения характеристик поверхностной радиоволны

Два рыболовецких судна были оснащены испытательным оборудованием с целью подтверждения первой серии измерений для получения характеристик канала распространения поверхностной волны, а именно:

- потери в канале на пути распространения;
- полоса когерентности;
- наличие или отсутствие многолучевости (наличие ионосферной волны);
- изменяемость канала.

Рыболовецкое судно длиной 25 м было оснащено системой Scirion (ионосферный радиозонд, разработанный компанией Telecom Bretagne во Франции), соединенной с вертикальной штыревой антенной длиной 7,5 м.

Использовались следующие частоты:

- 8240 кГц;
- 4080 кГц.

Метод модуляции "дифференциальная двоичная фазовая манипуляция", мощность радиочастотного (РЧ) сигнала 20 Вт.

Передача велась в автоматическом режиме последовательностями длиной 1 минута в течение целой четверти часа или получаса.

Приемник GPS использовался для синхронизации по времени и для отслеживания позиции судна.

РИСУНОК 74

Изображения внутреннего и наружного бортового оборудования



М.1798-74

Были установлены три приемные системы

- Первая – на возвышенности Корсен (Бретань, Франция) в непосредственной близости от моря. Использовалась штыревая антенна.
- Вторая система была установлена в здании компании Telecom Bretagne около Бреста. Использовалась рамочная антенна.
- Третья точка – около Куимпера, та же, что использовалась в испытаниях по передаче данных, использовалась для контроля и была оснащена вертикальной антенной и магнитной рамочной антенной.

РИСУНОК 75

Изображение места и приемной антенны в Корсене

M.1798-75

Передающая система была включена, как только судно покинуло порт, и в случае неисправности или любой проблемы капитан мог ее отключить.

9.1 Результаты и их интерпретация

Влияние расстояния морской трассы между передатчиком и приемником (TX/RX) на силу принимаемого поля.

На следующем рисунке показано изменение уровня приема сигнала, записанного на станции Корсен, судно находится на расстоянии от 192 до 240 км.

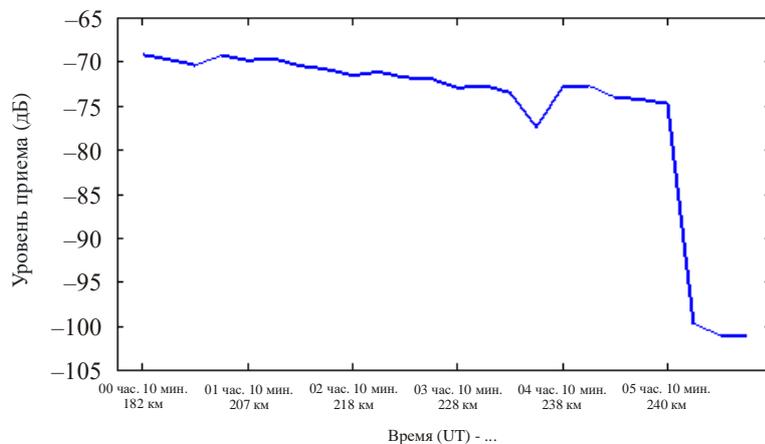
Квазилинейные изменения позволяют оценить измерение принимаемой мощности в зависимости от расстояния.

Потерю мощности, наблюдаемую на расстоянии до 236 км, можно объяснить передвижением судна.

Передатчик был выключен на расстоянии 240 км.

РИСУНОК 76

Изменение уровня приема сигнала на станции Корсен 13 мая 2009 года с 00 час. 10 мин. до 05 час. 50 мин. на расстоянии от 192 км до 240 км



M.1798-76

На рисунке 77 показано изменение уровня мощности сигнала, записанного на станции Брест (слева) на рамочную антенну и на станции Корсен (справа) на штыревую антенну вблизи моря.

Явно видно изменение уровня с изменением расстояния.

Эти изменения различны, поскольку использованы разные типы антенн, а также из-за влияния наземной трассы от станции в Бресте.

РИСУНОК 77

Последовательность записей сигнала, принимаемого в Бресте и Корсене

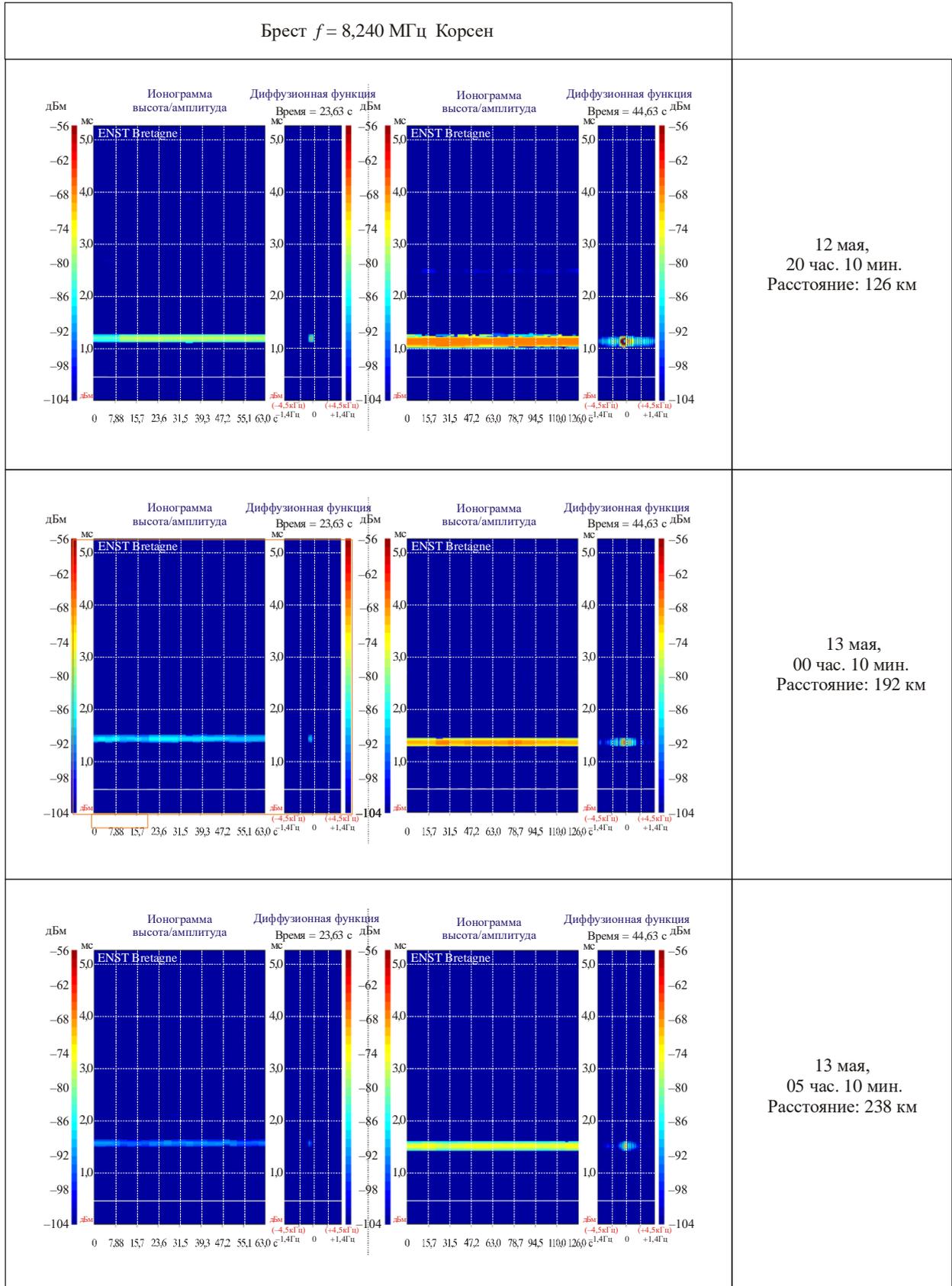
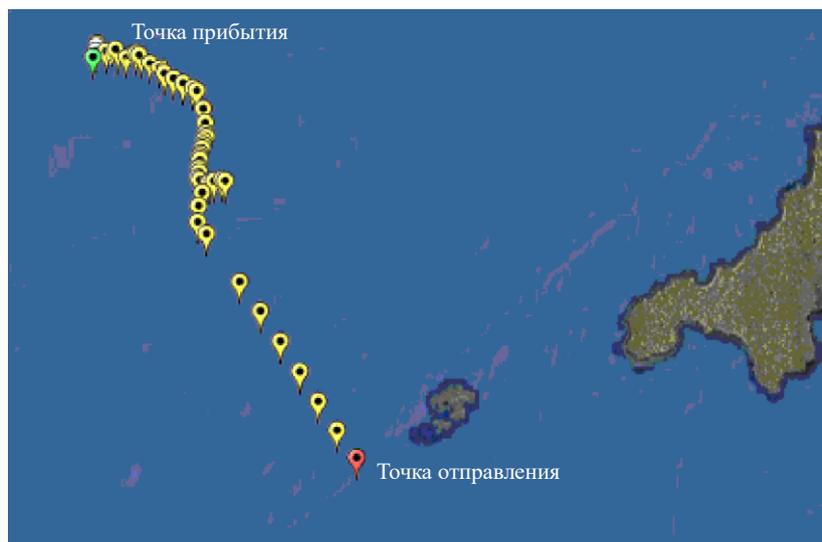


РИСУНОК 78

Путь, пройденный траулером 11 июля 2009 года,
расстояние менялось от 205 до 327 км

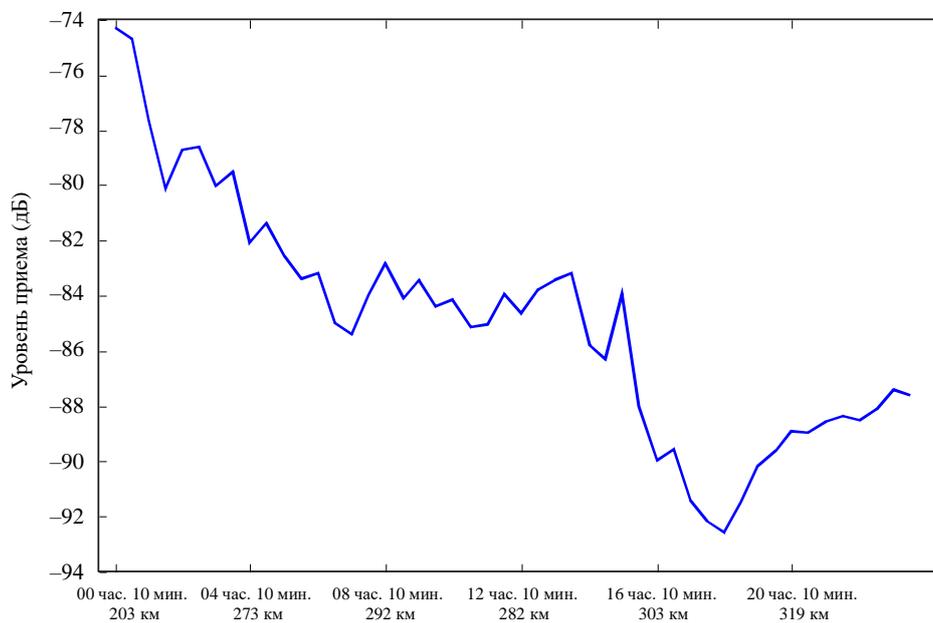


М.1798-78

Линейное изменение уровня приема в зависимости от расстояния также показано на рисунке 79, соответствует пути, изображенному на рисунке 78.

РИСУНОК 79

Изменение уровня приема в Корсене 11 июля 2009 года



М.1798-79

9.2 Влияние земли на смешанный путь земля/море

На рисунках 80 и 81 первые четыре точки соответствуют примерно равным расстояниям между TX/RX (± 2 км). Однако изменение уровня приема между этими точками равно примерно 25 дБ.

Это объясняется переходом между земной и морской волнами и возможным влиянием частичного эффекта маскировки из-за близкого расположения побережья.

РИСУНОК 80

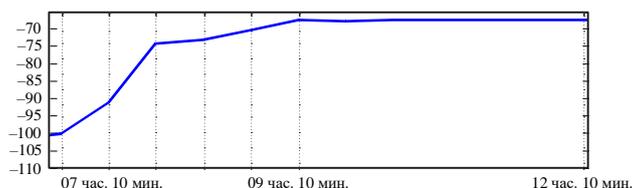
Путь, пройденный траулером 10 июля 2009 года
между 06 час. 40 мин. и 12 час. 10 мин.



М.1798-80

РИСУНОК 81

Изменение уровня приема в Корсене 10 июля 2009 года



М.1798-81

На рисунках 82 и 83 показан пример, для которого разница уровней приема между двумя точками составляет примерно 25 дБ.

Эта разница объясняется главным образом наземным участком трассы до станции в Бресте длиной 25 км.

РИСУНОК 82

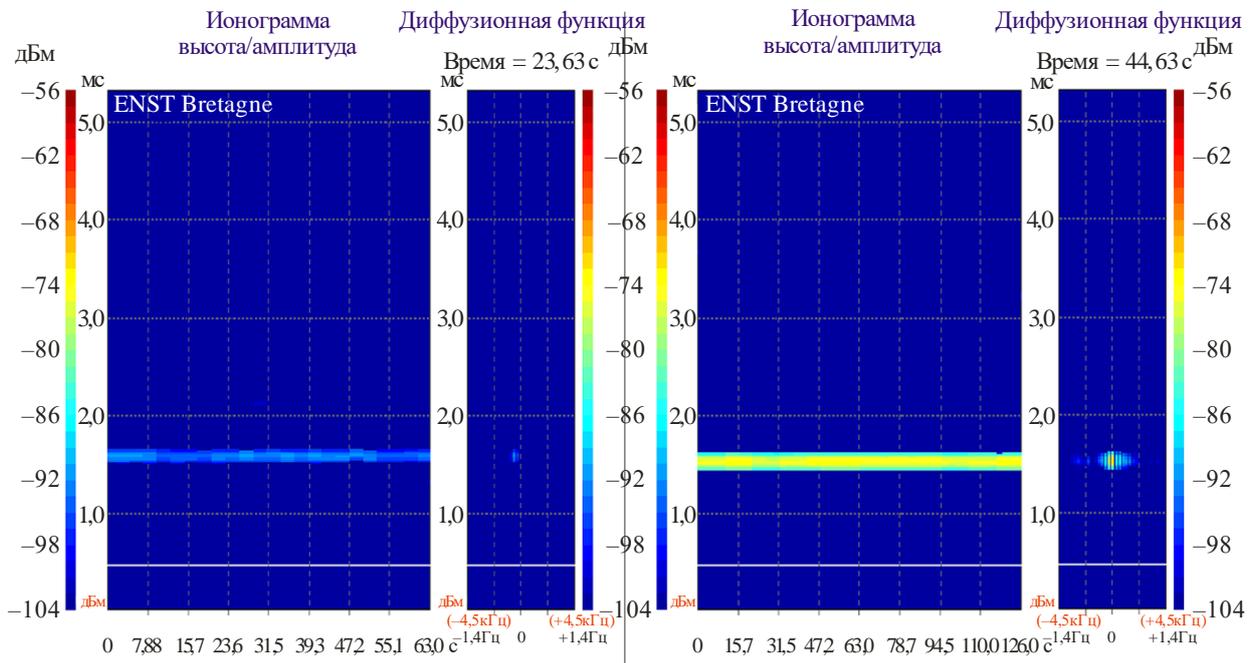
Позиция траулера 13 мая 2009 года в 05 час. 10 мин.



М.1798-82

РИСУНОК 83

Запись сигнала, принятого в Бресте, слева, и в Корсене, справа, 13 мая 2009 года в 05 час. 10 мин.



М.1798-83

Другой анализ подтвердил влияние антенны на избирательность трассы приема.

Ионосферная волна в Бресте намного более сильная, чем в Корсене.

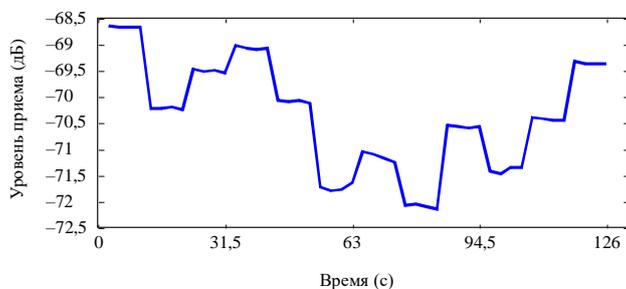
В Корсене групповое время позволяет отличить морскую волну (1,8 мс) от ионосферной > 2 мс.

Таким образом, наложение и расширение различных трасс из-за наличия ионосферной волны и морской волны должно учитываться в спецификации приемников и приемных антенн.

На следующих рисунках даны указания по изменениям уровней принимаемого сигнала для учета перемещений судна даже в течение коротких периодов времени из-за изменения ориентации судна или состояния моря.

РИСУНОК 84

**Изменение уровня принимаемого сигнала в Корсене
13 мая 2009 года с 00 час. 40 мин. до 00 час. 42 мин.**

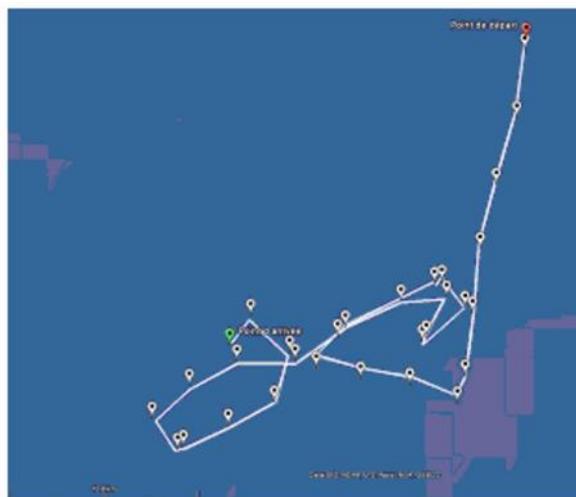


M.1798-84

На рисунках 85 и 86 показана ситуация рыболовства, во время которой расстояние останется стабильным (± 7 км) и когда наблюдаются многочисленные изменения, обуславливающие значительные флуктуации принимаемого сигнала.

РИСУНОК 85

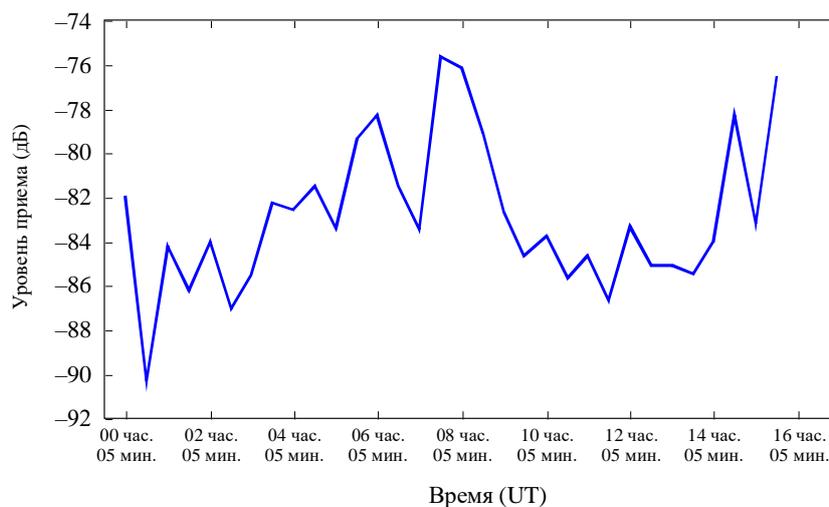
**Путь, пройденный траулером 9 июня 2009 года
между 00 час. 05 мин. и 15 час. 15 мин.**



M.1798-85

РИСУНОК 86

Изменение уровня принимаемого сигнала в Корсене 9 июня 2009 года между 00 час. 05 мин. и 15 час. 15 мин.



М.1798-86

9.3 Передача данных

Для испытаний использовался протокол OFDM.

9.3.1 Береговые испытания

Использовался непрерывный сигнал с РЧ мощностью 1 кВт.

Применялся усилитель класса АВ с разделительным фильтром для уменьшения интермодуляции и для повышения общей линейности, совместимой с модуляцией OFDM.

Было выполнено согласование антенны, для того чтобы обеспечивать ширину полосы сигнала более 12 кГц.

Использовались различные антенны, в частности вертикальный диполь длиной 16 м, дополненный плоскостью экранирования земли с углом в 30 радиан и радиусом 20 м.

Выбор вертикальной антенны оправдан необходимостью сохранить ту же поляризацию, что и у судовой антенны, для содействия распространению морской волны.



9.3.2 Судно

Использовался непрерывный сигнал с РЧ-мощностью 250 Вт.

В качестве антенны применен вертикальный диполь длиной 7,50 м с согласованным представлением "pi", обеспечивающий ширину полосы более 12 кГц (канал OFDM шириной 10 кГц).

9.4 Прием

9.4.1 Побережье

Приемник, соединенный с вертикальной антенной – стандартным диполем длиной 8 м и согласованным сопротивлением 50 Ом, – обеспечивающий ширину полосы 12 кГц на низких частотах, позволяет работать программному обеспечению декодера.

Использовалось несколько приемников, что позволяло одновременно контролировать несколько частот и сравнивать несколько типов приемных антенн.



9.4.2 Судно

На судне для передачи и приема использовалась одна и та же антенна.

Перед широкополосным приемником (> 12 кГц) стоял предусилитель для РЧ-полос 4 и 8 МГц, распределенных администраций Франции для испытаний.

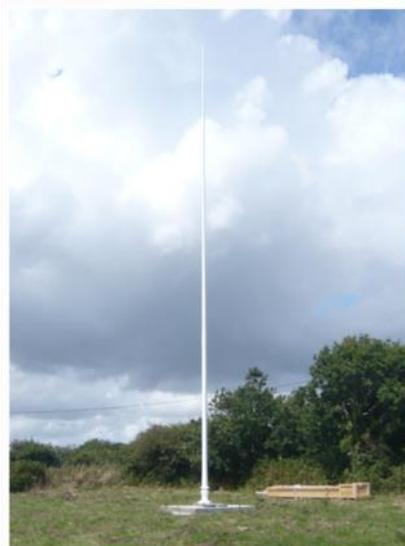


9.5 Выводы

- Результаты экспериментов показывают, насколько важно размещать береговые станции вблизи моря для минимизации наземного участка трассы.
- Показана важность применения вертикальной поляризации.
- Важным элементом для ослабления ионосферной волны является использование для ионосферной волны антенны с максимально возможно слабой вертикальной диаграммой направленности.
- Измерения поверхностной морской волны подтверждают:
 - уменьшение принимаемого сигнала с ростом частоты;
 - уровень принимаемого сигнала обратно пропорционален расстоянию;
 - уровень принимаемого сигнала сильно ослабляется во время пересечения наземного участка трассы;
 - оценка радиоканала соответствует и отличается не более чем на несколько дБ от результатов, опубликованных МСЭ;
 - представляется, что большую часть времени полоса когерентности превышает 9 кГц;
 - максимальная дисперсия ослаблена;
 - ионосферная волна (в слое E на высоте 90–100 км) и/или в слое F (на высоте в среднем 200 км) может создавать уровни поля сигнала более высокие, чем поверхностная волна.

Это показывает важность разработки для береговых станций передающих и приемных антенн с очень слабыми диаграммами направленности в вертикальной плоскости.

РИСУНОК 87

Передающая антенна в Бресте

М.1798-87

Приложение 5**Система широкополосного обмена данными в диапазонах ВЧ
для связи пункта с пунктом****1 Введение**

В этом приложении описана система связи пункта с пунктом (РТР) для обмена цифровыми данными в направлениях берег – судно, судно – берег и судно – судно.

Система применима для многих служб, таких как службы обмена данными РТР, службы электронной почты и службы передачи сведений о местоположении судна.

Система работает в ВЧ-полосах морской службы 4–27,5 МГц в канале радиосвязи с шириной полосы 10 кГц, обеспечивая скорость передачи данных до 51 кбит/с.

Система устанавливает канал связи с использованием FSK, а затем обменивается данными с использованием OFDM.

Система работает в полудуплексном режиме с использованием модуляции OFDM.

В системе используется адаптивная модуляция и кодирование для оптимизации спектральной эффективности и пропускной способности в ВЧ-полосе морской службы.

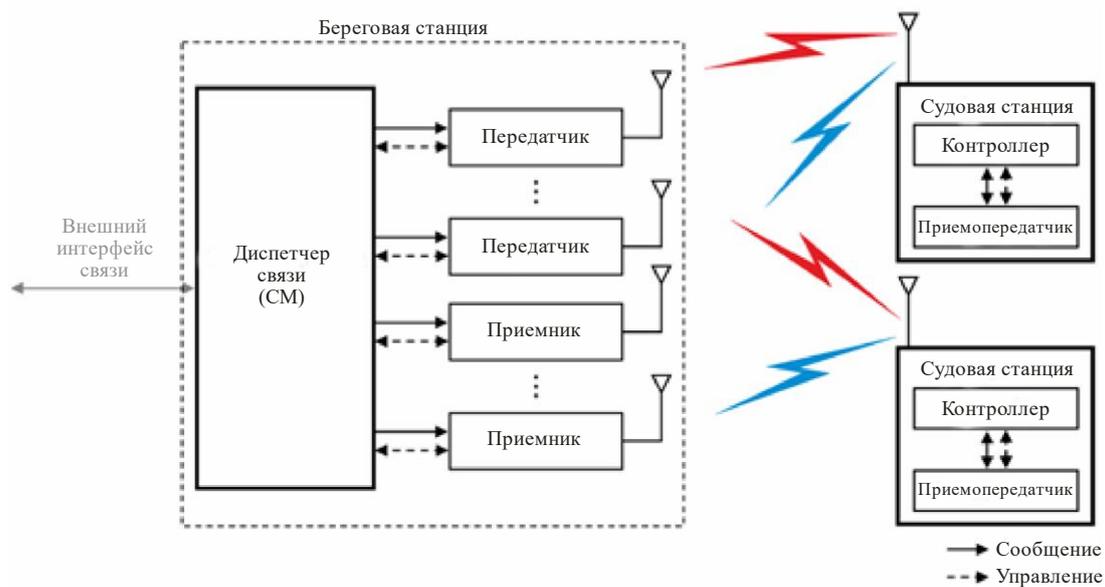
2 Обзор системы

Система состоит из следующих компонентов:

- береговая ВЧ-станция;
- судовая ВЧ-станция;
- диспетчер связи (СМ).

РИСУНОК 88

Система широкополосного обмена данными в диапазонах ВЧ для системы связи пункта с пунктом



2.1 Береговая станция

Береговая станция состоит из отдельных передатчиков и приемников.

Береговая станция может вести передачу на нескольких частотах одновременно.

В качестве опорного сигнала синхронизации береговая станция использует сигнал ГНСС.

2.2 Судовая станция

Судовая станция состоит из радиопередатчика и приемника.

Для определения местоположения судна судовая станция использует сигнал ГНСС.

2.3 Диспетчер связи

СМ передает или принимает сообщения или сигналы управления с помощью береговых передатчиков и береговых приемников.

СМ управляет широкополосной ВЧ-связью.

СМ может устанавливать связь с внешними пользователями через сетевой интерфейс.

3 Архитектура системы

3.1 Береговой передатчик

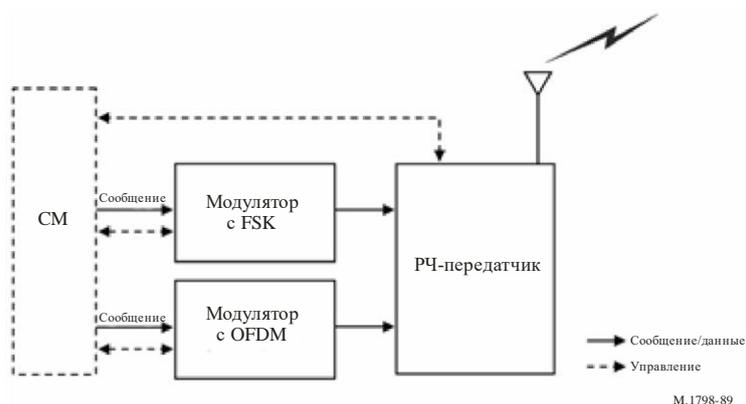
Береговой передатчик:

- принимает сообщения от СМ;
- преобразует сообщения в сигнал FSK;
- преобразует сообщения в сигнал OFDM;
- передает радиосигналы на суда через антенны;
- сообщает о рабочем состоянии в СМ.

Береговой передатчик состоит из следующих компонентов:

- модулятор с FSK;
- модулятор с OFDM;
- РЧ-передатчик;
- передающая антенна.

РИСУНОК 89
Береговой передатчик



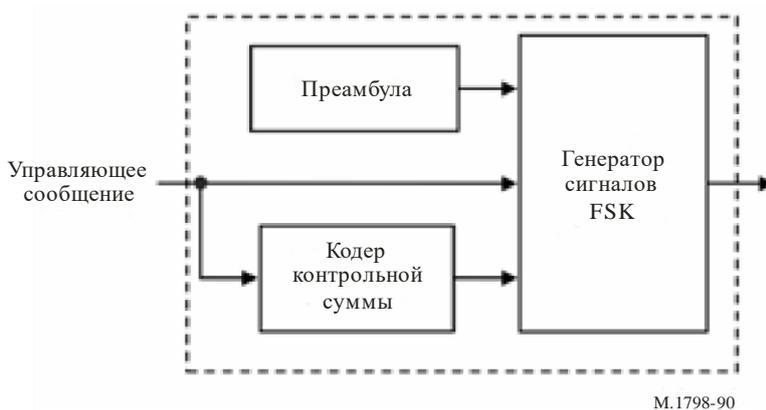
3.1.1 Модулятор с частотной манипуляцией

Модулятор с FSK используется для установления соединений РТР.

Модулятор с FSK генерирует преамбулу, управляющее сообщение и контрольную сумму.

Управляющее сообщение содержит информацию для установления соединения РТР.

РИСУНОК 90
Модулятор с частотной манипуляцией



3.1.1.1 Преамбула

Преамбула представляет собой код длиной два байта.

Преамбула описана в пункте 5.2.2.

3.1.1.2 Кодер контрольной суммы

Кодер контрольной суммы генерирует слово длиной в один байт.

3.1.1.3 Генератор сигналов частотной манипуляции

Генератор сигналов FSK описан в пункте 4.1.

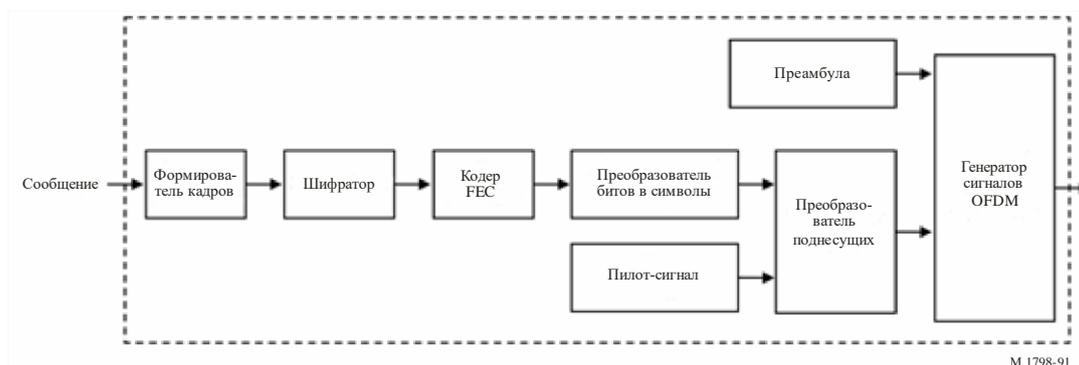
3.1.2 Модулятор с ортогональным мультиплексированием с разделением по частоте

Модулятор с OFDM генерирует преамбулу, сообщения, код контроля FEC и пилот-сигнал.

Модулятор с OFDM состоит из формирователя преамбулы, формирователя кадров, шифратора, кодера FEC, преобразователя битов в символы, формирователя пилот-сигнала, преобразователя поднесущих и генератора сигналов OFDM.

РИСУНОК 91

Модулятор с ортогональным мультиплексированием с разделением по частоте



3.1.2.1 Преамбула

Преамбула используется в качестве первого символа OFDM.

Преамбула описана в пункте 4.2.6.

3.1.2.2 Формирователь кадров

Формирователь кадров генерирует кадр в соответствии со спецификациями, указанными в пунктах 4.2.2, 5.3.2 и 5.3.3.

3.1.2.3 Шифратор

Шифратор рандомизирует входные данные во избежание длинной последовательности из единиц и нулей. Шифратор описан в пункте 4.2.3.

3.1.2.4 Кодер с упреждающей коррекцией ошибок

Схема коррекции ошибок определяет устойчивость кодирования.

В системе используется код Рида – Соломона (RS), сверточный код и турбокод.

FEC описан в пункте 4.2.5.

3.1.2.5 Преобразователь битов в символы

Преобразование битов в символы описано в пункте 4.2.4.

3.1.2.6 Пилот-сигнал

Пилот-сигнал описан в пункте 4.2.6.

3.1.2.7 Преобразователь поднесущих

Преобразователь поднесущих организует поднесущие OFDM в соответствии с форматированными потоками и пилот-сигналом.

3.1.2.8 Генератор сигналов ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте

Генератор сигнала OFDM создает сигнал OFDM основной полосы в соответствии с выходным сигналом преобразователя поднесущих.

Генератор сигналов OFDM подробно описан в пункте 4.2.

3.1.3 Радиопередатчик

Радиопередатчик преобразует сигналы основной полосы частот с повышением частоты в РЧ-сигналы 4–27,5 МГц и усиливает их до требуемой мощности передачи.

Выходную мощность радиосигнала берегового передатчика можно регулировать до 1 кВт RMS.

Технические характеристики радиопередатчика приведены в пункте 4.4.

3.2 Береговой приемник

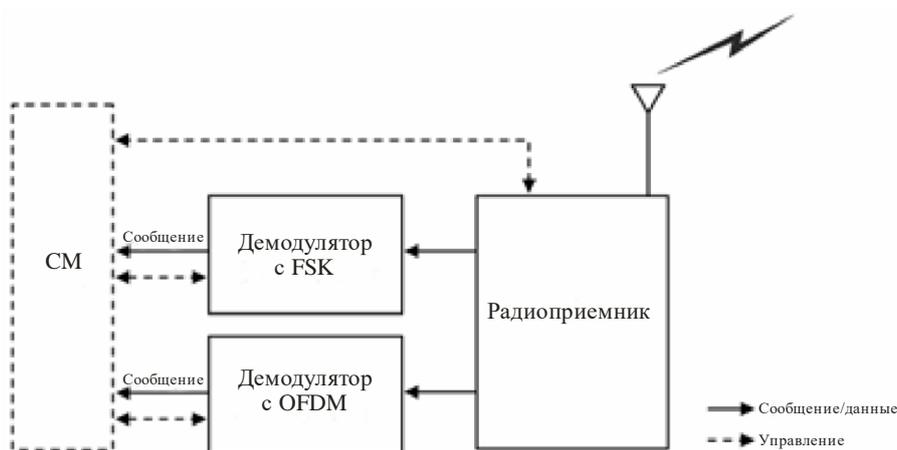
Береговой приемник:

- принимает радиосигналы от судов через антенны;
- преобразует сигналы FSK в сообщения;
- преобразует сигналы OFDM в сообщения;
- передает сообщения в СМ;
- проверяет рабочее состояние и сообщает результаты в СМ.

Береговой приемник состоит из следующих компонентов:

- демодулятор с FSK;
- демодулятор с OFDM;
- радиоприемник;
- приемная антенна.

РИСУНОК 92
Береговой приемник

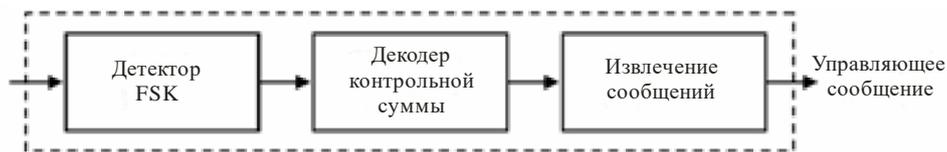


3.2.1 Демодулятор с частотной манипуляцией

Демодулятор с FSK обнаруживает сигналы FSK в принятых радиосигналах и извлекает сообщения. Дешифратор контрольной суммы проверяет целостность данных.

РИСУНОК 93

Функциональная блок-схема демодулятора с частотной манипуляцией



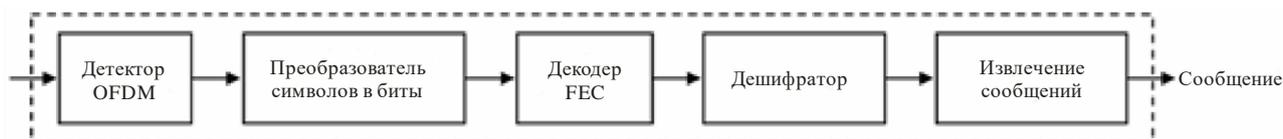
М.1798-93

3.2.2 Демодулятор с ортогональным мультиплексированием с разделением по частоте

Демодулятор с OFDM обнаруживает сигналы OFDM в принятых радиосигналах и извлекает сообщения. Декодер FEC восстанавливает исходные данные.

РИСУНОК 94

Функциональная блок-схема демодулятора с ортогональным мультиплексированием с разделением по частоте



М.1798-94

3.2.3 Радиоприемник

Радиоприемник преобразует принятые радиосигналы с понижением частоты в сигналы основной полосы частот и усиливает их до уровня, достаточного для аналого-цифрового преобразователя.

Технические характеристики радиоприемника приведены в пункте 4.5.

3.3 Судовая станция

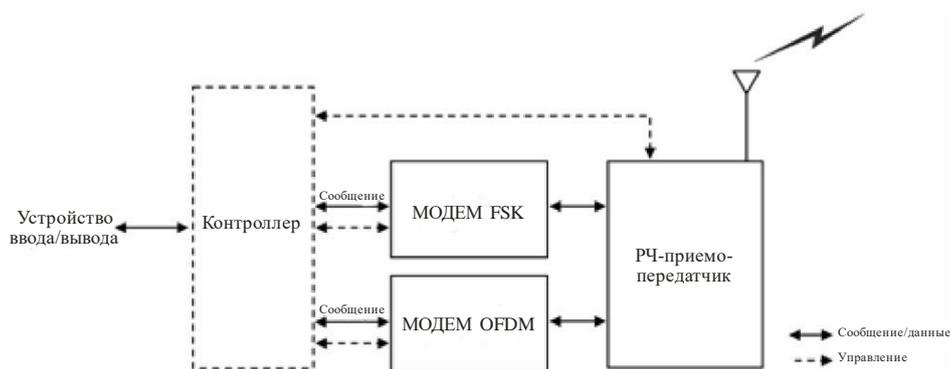
Судовая станция:

- принимает сообщения от устройства ввода через контроллер;
- преобразует сообщения в сигналы FSK или OFDM;
- передает РЧ-сигналы на береговые станции или другие судовые станции через антенну;
- принимает РЧ-сигналы от береговых станций или других судовых станций через антенну;
- преобразует сигналы FSK или OFDM в сообщения;
- передает сообщения в контроллер;
- проверяет рабочее состояние и сообщает результаты в контроллер.

Судовая станция состоит из следующих компонентов:

- контроллер;
- модем FSK;
- модем OFDM;
- РЧ приемопередатчик и антенна.

РИСУНОК 95
Судовая станция



M.1798-95

3.3.1 Контроллер

Это устройство принимает следующую информацию:

- сообщения от внешних устройств;
- сообщения от демодулятора FSK;
- сообщения от демодулятора OFDM;
- сигналы контроля от модема;
- сигналы контроля от РЧ-приемопередатчика.

Устройство передает следующую информацию:

- сообщения на внешние устройства отображения информации;
- сообщения на внешние запоминающие устройства;
- сообщения в модулятор с FSK;
- сообщения в модулятор с OFDM;
- управляющие сигналы в модем;
- управляющие сигналы в РЧ-приемопередатчик.

Управляющие функции контроллера:

- проверка качества обслуживания (QoS);
- управление расписанием;
- управление планированием передачи пакетов;
- управление параметрами FSK, OFDM и РЧ-приемопередатчика.

Устройство обеспечивает внешние интерфейсы данных с другими устройствами.

3.3.2 Модем с частотной манипуляцией

Модем с FSK тот же, что описан в пунктах 3.1.1 и 3.2.1.

3.3.3 Модем с ортогональным мультиплексированием с разделением по частоте

Модем с OFDM тот же, что описан в пунктах 3.1.2 и 3.2.2.

3.3.4 РЧ-приемопередатчик

Радиопередатчик преобразует сигналы основной полосы частот с повышением частоты в РЧ-сигналы и усиливает их до требуемой мощности передачи. Радиоприемник преобразует принятые радиосигналы в сигналы основной полосы частот и усиливает их до уровня, достаточного для аналого-цифрового преобразователя.

Выходную мощность радиосигнала судового передатчика можно регулировать до 100 Вт RMS. Технические характеристики РЧ-приемопередатчика приведены в пункте 4.6.

3.4 Диспетчер связи

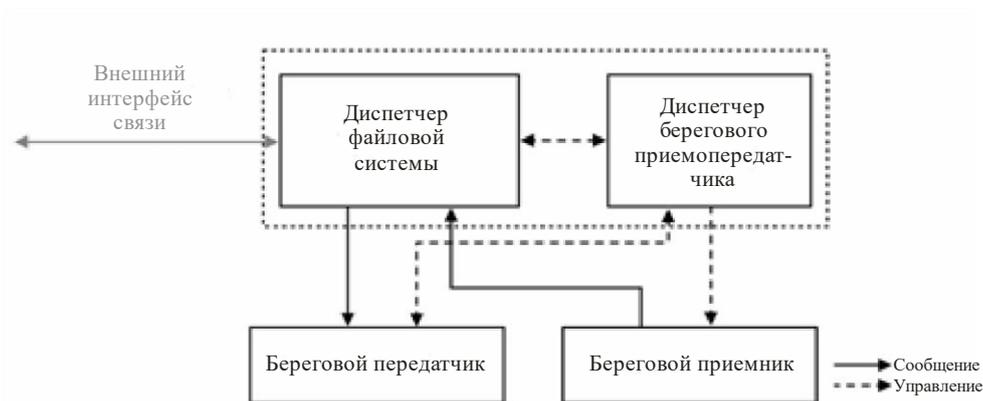
СМ обеспечивает следующие функции:

- управление рабочими параметрами берегового передатчика и берегового приемника;
- управление расписанием связи;
- управление планированием передачи пакетов;
- контроль рабочего состояния и качество связи берегового передатчика и берегового приемника;
- обмен информацией с внешними пользователями.

СМ состоит из следующих компонентов:

- диспетчер файловой системы;
- диспетчер берегового приемопередатчика.

РИСУНОК 96
Диспетчер связи



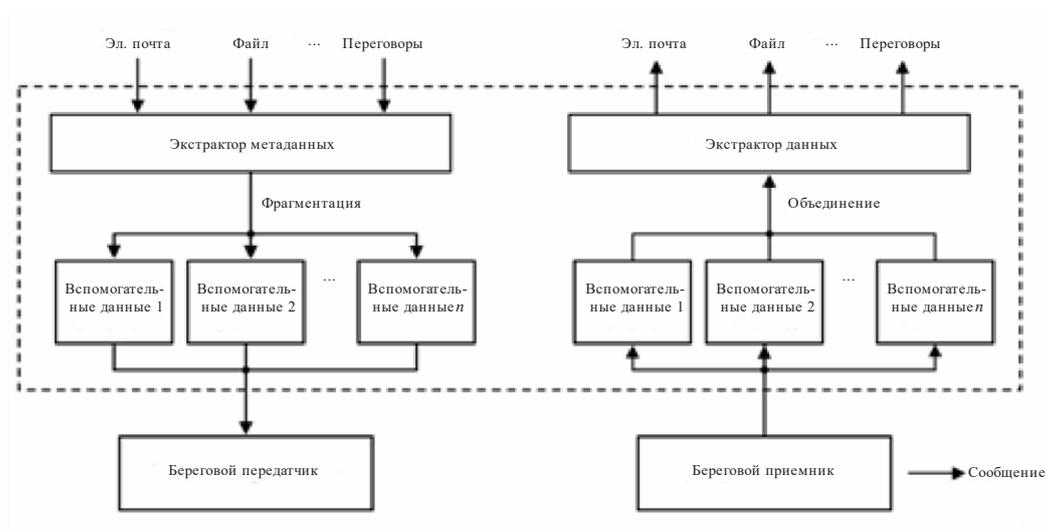
М.1798-96

3.4.1 Диспетчер файловой системы

Диспетчер файловой системы:

- делит метаданные на блоки вспомогательных данных для передачи;
- объединяет полученные блоки вспомогательных данных в метаданные;
- передает сообщения на береговой передатчик;
- принимает сообщения от берегового приемника.

РИСУНОК 97
Диспетчер файловой системы



М.1798-97

3.4.2 Диспетчер берегового приемопередатчика

Диспетчер берегового приемопередатчика осуществляет следующие функции управления связью:

- управление протоколом связи FSK;
- управление расписанием связи FSK;
- управление расписанием пакетов FSK;
- управление протоколом связи OFDM;
- управление расписанием связи OFDM;
- управление расписанием пакетов OFDM;
- передача подтверждения;
- контроль QoS;

а также контролирует следующие параметры приемопередатчика:

- параметры FSK (скорость, тип и т. д.);
- параметры OFDM (модуляция, FEC и т. д.);
- несущая частота;
- мощность передачи;
- коэффициент усиления приемника;
- переключение между передачей и приемом.

4 Технические характеристики

4.1 Модулятор с частотной манипуляцией

4.1.1 Модуляция

Данные (управляющее сообщение) передаются с использованием двоичной модуляции FSK.

Скорость передачи данных составляет 100 бит/с.

Сдвиг частоты между знаком и пробелом составляет 170 Гц (+85 Гц для знака и –85 Гц для пробела).

4.2 Модуляция с ортогональным мультиплексированием с разделением по частоте

4.2.1 Введение

Для достижения высокой эффективности использования спектра при передаче данных OFDM использует большое количество близко расположенных ($41^{2/3}$ Гц) ортогональных поднесущих. Эти поднесущие разнесены по частоте ($F_u = 1/T_u$), где T_u – длительность символа OFDM.

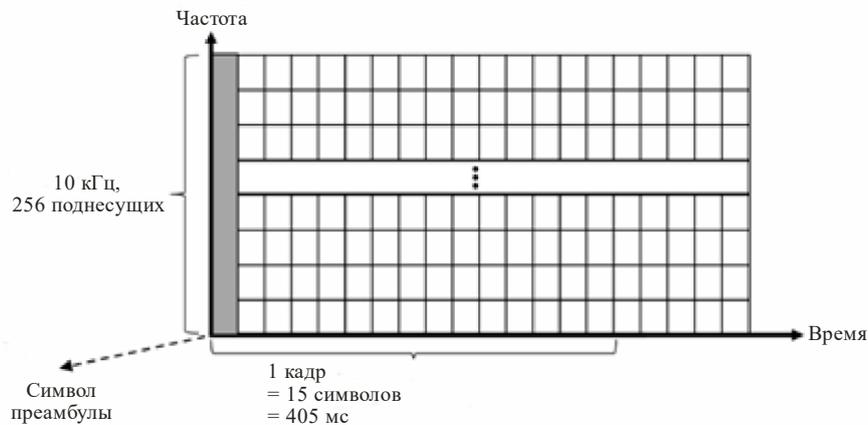
Длительность символа OFDM равна $T_s = T_u + T_g$.

В символ OFDM вводится защитный интервал (T_g) для уменьшения влияния многолучевости, что приводит к уменьшению межсимвольных помех.

Затем символы OFDM объединяются, образуя кадр OFDM.

РИСУНОК 98

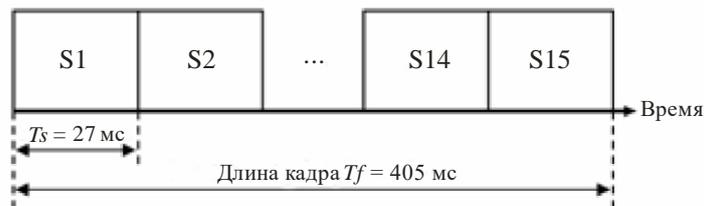
Спектральное представление кадра с ортогональным мультиплексированием с разделением по частоте



М.1798-98

РИСУНОК 99

Кадр ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте



М.1798-99

4.2.2 Параметры ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте

ТАБЛИЦА 10

Параметры ортогонального мультиплексирования с разделением по частоте

Параметр	Значение
Ширина полосы	10 кГц
Количество поднесущих	256
Количество поднесущих для передачи данных	228
Эталонная частота дискретизации (коэффициент передискретизации $\times 3$)	32 тыс. отсчетов/с
Период БПФ (T_u)	24 мс
Разнос поднесущих	412/3 Гц
Защитный интервал (T_g)	3 мс
Длительность символа ($T_s = T_u + T_g$)	27 мс
Количество символов в кадре (N_s)	15
Длина кадра (T_f)	405 мс
Количество символов в коротком кадре	2
Длина короткого кадра	54 мс
Модуляция	4-QAM, 16-QAM, 64-QAM
ФЕС	Сверточный код, код РС, турбокод

4.2.3 Шифратор

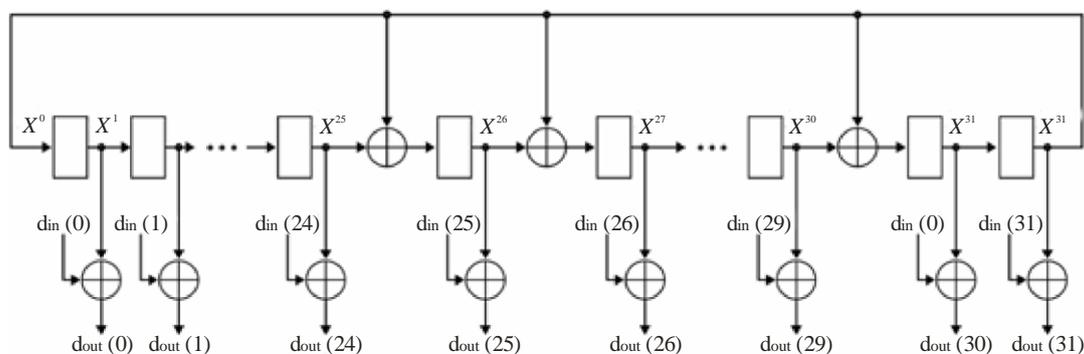
Для шифратора используется структура генератора CRC-32.

Шифратор генерирует 32-битные выходные данные путем выполнения операции "исключающее ИЛИ" над 32-битным выходным кодом регистра и 32-битным входным кодом.

Многочлен представлен в виде $x^{32} + x^{31} + x^{27} + x^{26} + 1$.

Для реализации шифратора используется 32-битный сдвиговый регистр.

РИСУНОК 100
Шифратор слов



M.1798-100

ПРИМЕЧАНИЕ. – В демодуляторе 32-битные исходные данные генерируются с помощью операции "исключающее ИЛИ" над 32-битными принятыми данными и 32-битным выходным кодом генератора, используемого в модуляторе. Таким образом, схема дешифратора слов в демодуляторе аналогична той, что показана на рисунке 100.

4.2.4 Модуляция

Каждая поднесущая модулируется с применением 4-позиционной квадратурной амплитудной модуляции (QAM), 16-позиционной QAM или 64-позиционной QAM.

РИСУНОК 101

Сигнальное созвездие 4-позиционной квадратурной амплитудной модуляции

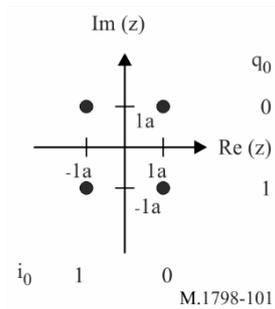


РИСУНОК 102

Сигнальное созвездие 16-позиционной квадратурной амплитудной модуляции

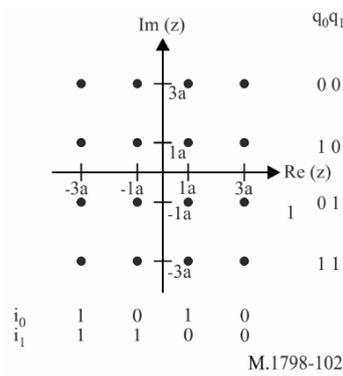
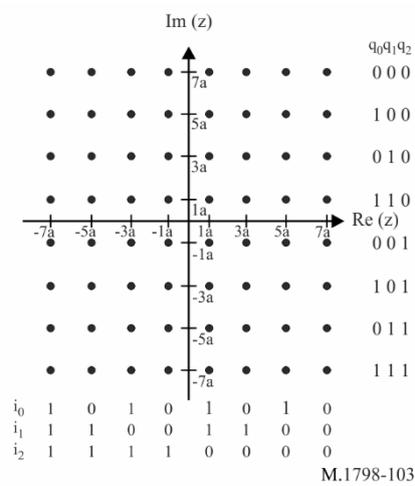


РИСУНОК 103

Сигнальное созвездие 64-позиционной квадратурной амплитудной модуляции



4.2.5 Упреждающая коррекция ошибок

Схема коррекции ошибок зависит от желаемой устойчивости кодирования.

В системе используется код RS и/или сверточный код либо турбокод.

ТАБЛИЦА 11

Схемы упреждающей коррекции ошибок

Режим	Внешний код	Внутренний код	
1	RS (204,188)	–	
2		Сверточный код ($K = 7, r = 1/2$)	Прореживание 1/2
3			Прореживание 2/3
4			Прореживание 3/4
5			Прореживание 5/6
6			Прореживание 7/8
7	–	Турбокод (двойной двоичный, $r = 1/2$)	Прореживание 1/2
8		–	Прореживание 3/4

4.2.6 Синхронизация

Для того чтобы обеспечить корректную демодуляцию каждой поднесущей, для каждой поднесущей должна быть определена характеристика канала радиопередачи и должен использоваться эквалайзер. Для этого некоторые из поднесущих OFDM-символов могут передавать пилот-сигналы.

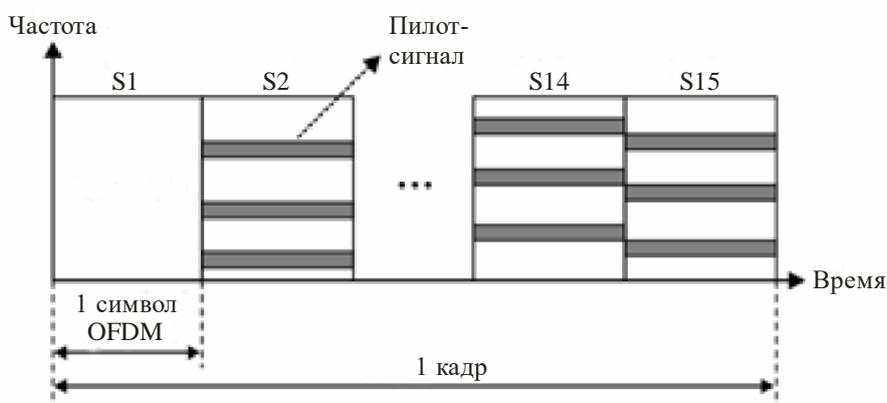
Пилот-сигналы позволяют приемнику:

- оценить сдвиг частоты;
- оценить канал радиопередачи.

Число пилот-сигналов зависит от желаемой устойчивости сигнала.

РИСУНОК 104

Пилот-сигналы в составе сигналов с ортогональным мультиплексированием с разделением по частоте

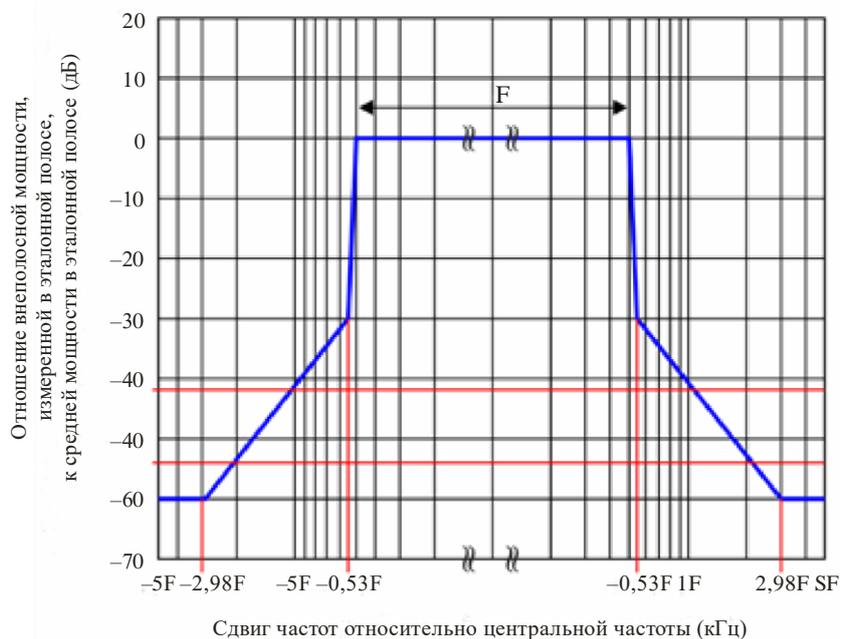


М.1798-104

4.2.7 Загруженность спектра радиосигнала

РИСУНОК 105

Загруженность спектра радиосигнала с шириной полосы $F = 10$ кГц



М.1798-105

4.3 Скорость передачи данных

В канале с шириной полосы 10 кГц максимальная скорость передачи необработанных данных составляет около 51 кбит/с.

4.4 Технические характеристики передатчика береговой станции

ТАБЛИЦА 14

Технические характеристики передатчика береговой станции

Параметр	Значение
Мощность передатчика	До 1 кВт (RMS)
Диапазон частот	4–27,5 МГц
Допустимое отклонение несущей частоты	В пределах $\pm 0,3$ части на миллион
Загруженность спектра	В соответствии с требованием рисунка 105
Побочное излучение	≥ 50 дБн, без превышения абсолютной средней мощности 50 мВт (+17 дБм)

4.5 Технические характеристики приемника береговой станции

ТАБЛИЦА 15

Минимальные технические характеристики приемника береговой станции

Параметр	Значение
Диапазон частот	4–27,5 МГц
Защита соседнего канала	20 дБ (при ±10 кГц) 25 дБ (при ±20 кГц) 35 дБ (при ±30 кГц)
Чувствительность	Лучше –95 дБм (КОБ = 0,05 после исправления ошибок при длине блока 1000 бит, при загрузенности полосы частот 10 кГц)
Подавление помех по побочным каналам	≥ 60 дБ
Интермодуляция	≥ 50 дБ
Блокирование	≥ 40 дБ ($ f-f_c > 30$ кГц)

4.6 Технические характеристики приемопередатчика судовой станции

ТАБЛИЦА 16

Технические характеристики передатчика судовой станции

Параметр	Значение
Мощность передачи	До 100 Вт (RMS)
Диапазон частот	4–27,5 МГц
Отклонение несущей частоты	В пределах ±0,3 части на миллион
Загруженность спектра	В соответствии с требованием рисунка 105
Побочное излучение	≥ 43 дБн, без превышения абсолютной средней мощности 50 мВт (+17 дБм)

ТАБЛИЦА 17

Минимальные технические характеристики приемника судовой станции

Параметр	Значение
Диапазон частот	4–27,5 МГц
Защита соседнего канала	20 дБ (при ±10 кГц) 25 дБ (при ±20 кГц) 35 дБ (при ±30 кГц)
Чувствительность	Лучше –95 дБм (КОБ = 0,05 после исправления ошибок при длине блока 1000 бит, при загрузенности полосы частот 10 кГц)
Подавление помех по побочным каналам	≥ 60 дБ
Интермодуляция	≥ 50 дБ
Блокирование	≥ 40 дБ

5 Протокол связи

5.1 Характеристики

Система выполняет этап установления соединения и этап обмена данными по протоколу РТР.

Система является полудуплексной.

При связи по РТР передающая станция (ISS) передает информацию, а приемная (IRS) принимает информацию и передает ISS подтверждение.

ISS и IRS береговых и судовых станций одинаковы.

На этапе установления соединения используется модуляция FSK.

На этапе передачи данных используется модуляция OFDM.

РИСУНОК 106
Протокол связи



М.1798-106

5.2 Установление канала связи с использованием частотной манипуляции

5.2.1 Длительность кадра

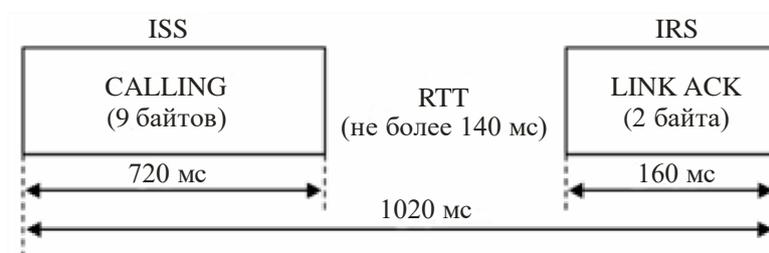
Длительность кадра установления связи составляет 1020 мс.

Если IRS не отвечает, ISS повторно передает блок вызова каждые 1020 мс.

Длина блока вызова составляет 720 мс, а длина блока запроса канала – 160 мс.

Максимально допустимое время прохождения сигнала в обоих направлениях (RTT) составляет 140 мс.

РИСУНОК 107
Длительность кадра установления связи



М.1798-107

5.2.2 Формат блоков

5.2.2.1 Блок вызова CALLING

Длина данных блока CALLING составляет 9 байтов.

Для обнаружения блока CALLING в IRS используется двухбайтовый символ преамбулы.

SC1-SC9 означают MMSI IRS (MMSI определен в последней версии Рекомендации МСЭ-R М.585).

MMSI IRS передается в 4,5 байта путем упаковки двух цифр MMSI в один байт.

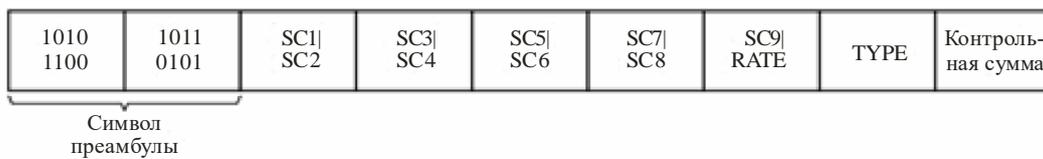
Фрагмент RATE определяет формат канала.

Однобайтовое поле TYPE используется для определения формата передаваемых данных.

Однобайтовая контрольная сумма включена для подтверждения того, что кадр вызова был принят без ошибок.

РИСУНОК 108

Формат блока вызова CALLING



М.1798-108

ТАБЛИЦА 18

Значение полей RATE и TYPE в блоке вызова CALLING

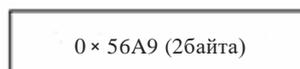
RATE		TYPE	
Значение	Режим связи	Значение	Тип данных
2	FSK200	0	Файл
3	FSK100	1	Изображение
4	DPSK600		
5	DPSK400		
6	DPSK200		
8	OFDM ($N = 32, M = 4$)		
14	Приложение 5		

5.2.2.2 Блок подтверждение приема LINK ACK

Когда MMSI в принятом блоке вызова CALLING совпадает, IRS отвечает блоком LINK ACK.

РИСУНОК 109

Формат блока подтверждения приема LINK ACK



М.1798-109

5.2.3 Сценарии протокола

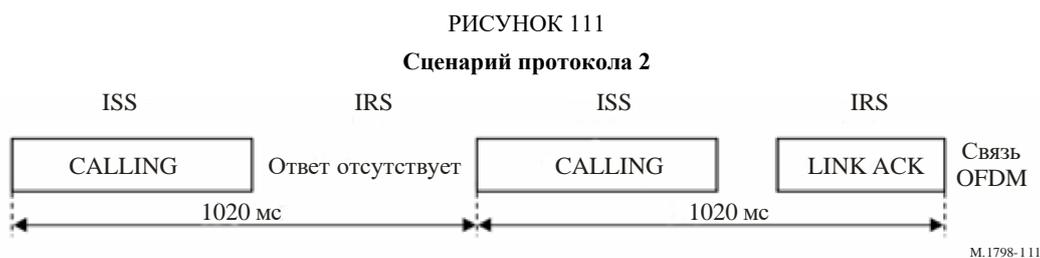
5.2.3.1 Сценарий 1

Если ISS не получает блок LINK ACK, то ISS повторно передает блок вызова CALLING каждые 1020 мс.



5.2.3.2 Сценарий 2

Если ISS принимает блок LINK ACK, то после установления канала связи с длительностью кадра 1020 мс ISS переходит на связь OFDM. Сигнал OFDM передается с модуляцией 64-QAM и режимом 7 FEC (см. таблицу 11).



5.3 Передача данных с использованием ортогонального мультиплексирования с частотным разделением

5.3.1 Длительность кадров

Длительность кадра передачи данных составляет 729 мс.

ISS передает данные или команду каждые 729 мс.

Длительность кадра ISS составляет 405 мс, а длительность кадра IRS – 54 мс.



5.3.2 Формат блока управления станции, передающей информацию

ISS может передавать три управляющих сообщения: MYCALL, END и OVER.

5.3.2.1 Управляющий блок MYCALL

Управляющее сообщение блока MYCALL имеет формат 0xE0.

MMSI IRS передается в 4,5 байта путем упаковки двух цифр MMSI в один байт.

Остальная часть пакета заполнена шаблоном заполнения.

РИСУНОК 113

Формат управляющего блока MYCALL

Преамбула (1 символ OFDM)	Управление (0 × E0) (1 байт)	MMSI (9 цифр) (4,5 байта)	Шаблон заполнения ('1010')
	+ FEC		

М.1798-113

5.3.2.2 Управляющий блок END

Управляющее сообщение блока END имеет формат 0x86.

Остальная часть пакета заполнена шаблонами заполнения.

Управляющий блок END используется для сигнализации об окончании соединения.

РИСУНОК 114

Формат управляющего блока END

Преамбула (1 символ OFDM)	Управление (0 × 86) (1 байт)	Шаблон заполнения ('1010')
	+ FEC	

М.1798-114

5.3.2.3 Управляющий блок OVER

Управляющее сообщение блока OVER имеет формат 0x98.

Остальная часть пакета заполнена шаблонами заполнения.

Управляющий блок OVER используется для сигнализации о роли обмена между ISS и IRS.

РИСУНОК 115

Формат управляющего блока OVER

Преамбула (1 символ OFDM)	Управление (0 × 98) (1 байт)	Шаблон заполнения ('1010')
	+ FEC	

М.1798-115

5.3.3 Формат блока ответа станции, принимающей информацию

IRS может передавать четыре ответных сообщения: ACK, NAK, END_ACK и FORCED_OVER.

Блок ответа IRS состоит из одного OFDM-символа преамбулы и одного OFDM-символа управляющего сообщения.

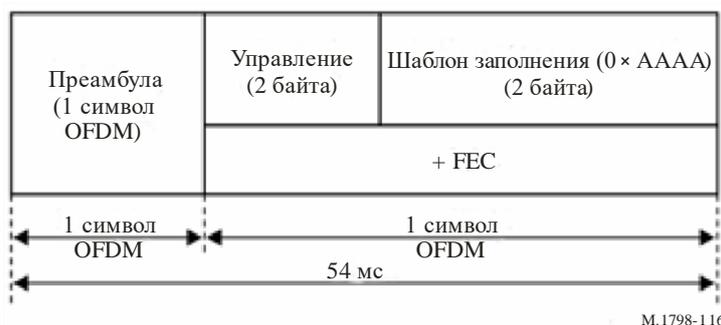
5.3.3.1 Блоки ответа подтверждения приема, END_ACK и FORCED_OVER

Управляющие сообщения блоков ACK, END_ACK и FORCED_OVER имеют формат соответственно 0x56A9, 0x956A и 0x6A95.

Остальная часть пакета заполнена шаблонами заполнения.

РИСУНОК 116

Формат блоков ответа подтверждения приема, END_ACK и FORCED_OVER



5.3.3.2 Блок ответа "отсутствие подтверждения"

Управляющее сообщение блока NAK имеет формат 0xA956.

В ISS передается двухбайтовое сообщение управления режимом модуляции и FEC для изменения схемы модуляции и/или FEC.

РИСУНОК 117

Формат блока ответа "отсутствие подтверждения"



5.3.4 Сценарии протокола

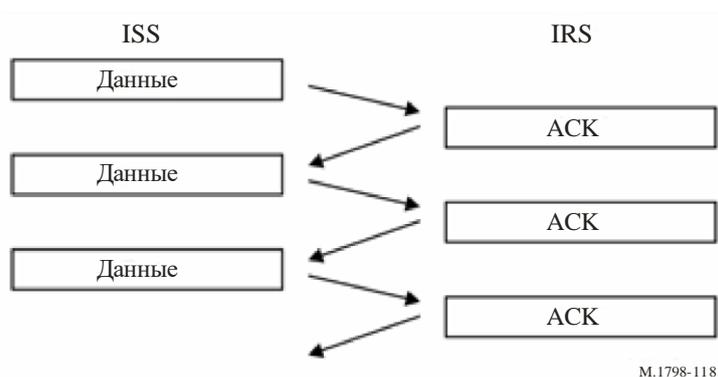
5.3.4.1 Сценарий передачи данных 1

Если IRS принимает данные без ошибок, то IRS отвечает сообщением ACK.

После получения сообщения ACK ISS передает следующие данные.

РИСУНОК 118

Сценарий протокола передачи данных 1



5.3.4.2 Сценарий передачи данных 2

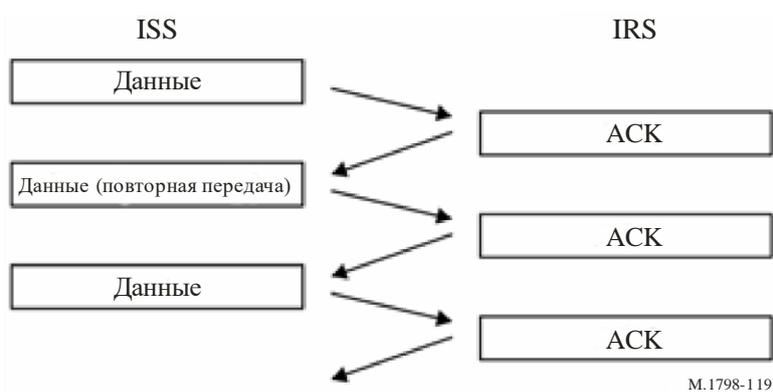
Если IRS принимает данные без ошибок, то IRS отвечает сообщением ACK.

Если ISS не получает сообщение ACK, ISS повторно передает данные.

IRS идентифицирует данные по порядковому номеру.

РИСУНОК 119

Сценарий протокола передачи данных 2



5.3.4.3 Сценарий передачи данных 3

Если IRS не получает данные, IRS отвечает сообщением NAK и одновременно передает команду управления режимом модуляции и FEC.

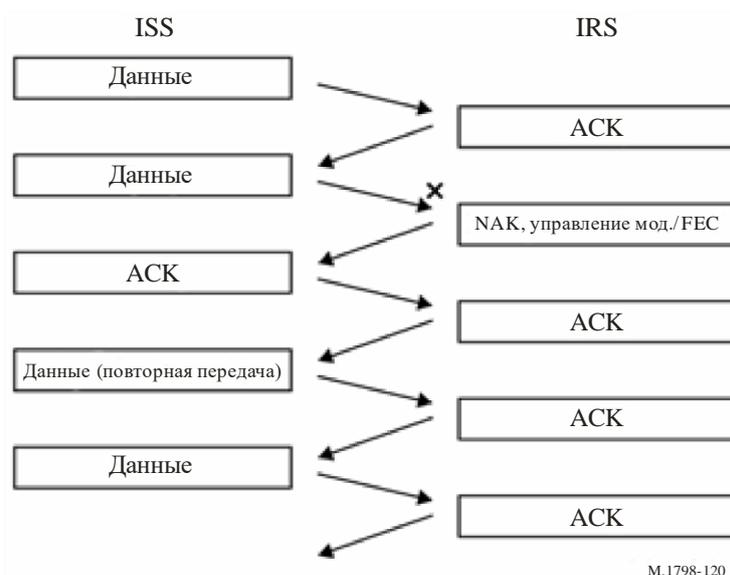
Получив сообщение NAK, ISS отвечает сообщением ACK.

Получив сообщение ACK, IRS отвечает сообщением ACK.

Получив сообщение ACK, ISS повторно передает данные, изменив схему модуляции и FEC.

РИСУНОК 120

Сценарий протокола передачи данных 3



5.3.4.4 Сценарий передачи данных 4

Если IRS не получает данные, IRS отвечает сообщением NAK и одновременно передает команду управления режимом модуляции и FEC.

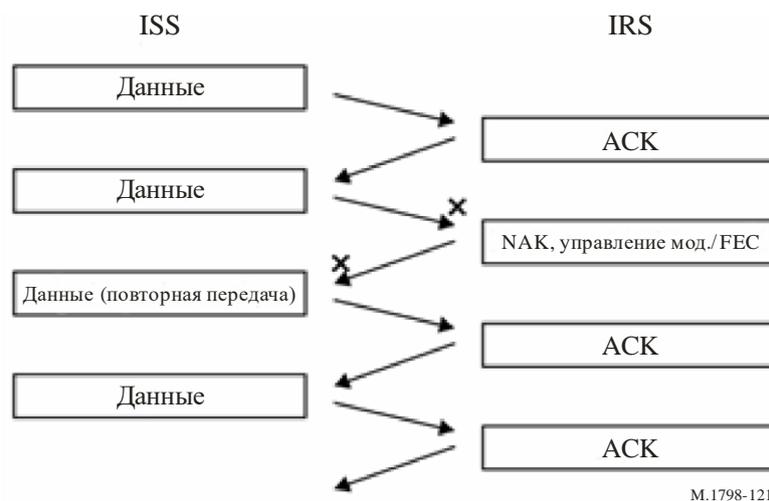
Если ISS не получает сообщение NAK, ISS повторно передает данные.

Если IRS принимает данные без ошибок, то IRS отвечает сообщением ACK.

Получив сообщение ACK, ISS передает следующие данные без изменения схемы модуляции и FEC.

РИСУНОК 121

Сценарий протокола передачи данных 4



5.3.4.5 Сценарий передачи данных 5

Если IRS не получает данные, IRS отвечает сообщением NAK и одновременно передает команду управления режимом модуляции и FEC.

Если ISS не получает сообщение NAK, ISS повторно передает данные.

Если IRS не получает данные, IRS отвечает сообщением NAK и одновременно передает команду управления режимом модуляции и FEC.

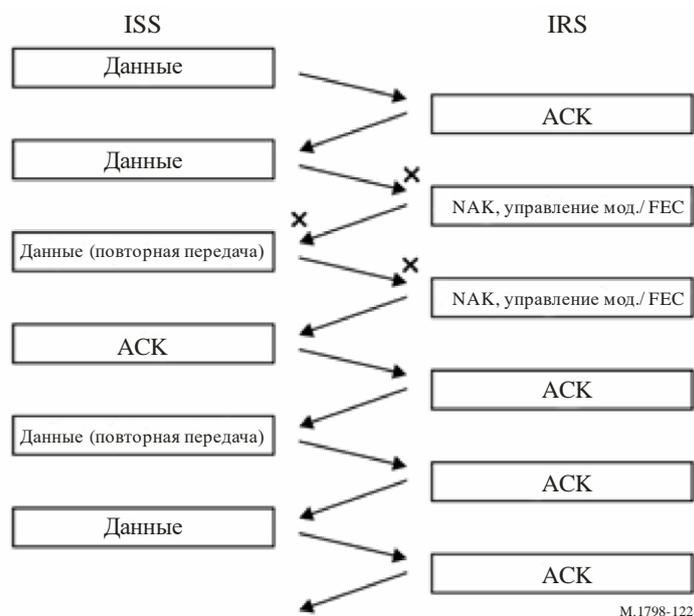
Получив сообщение NAK, ISS отвечает сообщением ACK.

Получив сообщение ACK, IRS отвечает сообщением ACK.

Получив сообщение ACK, ISS повторно передает данные, изменив схему модуляции и FEC.

РИСУНОК 122

Сценарий протокола передачи данных 5

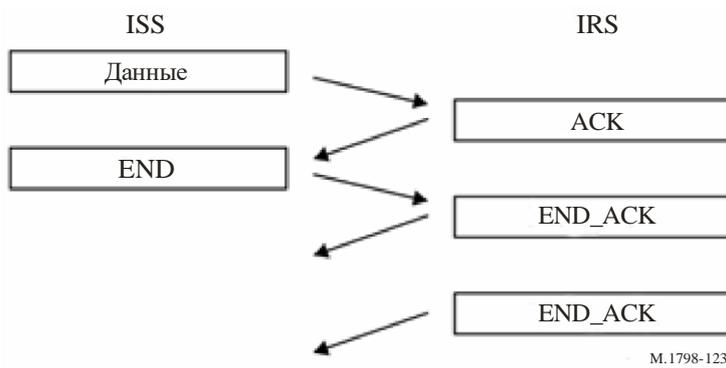


5.3.4.6 Сценарий END

Если IRS принимает команду управления END без ошибок, то IRS дважды отвечает сообщением END_ACK.

РИСУНОК 123

Сценарий протокола END



5.3.4.7 Сценарий OVER

Если IRS принимает команду управления OVER без ошибок, то IRS отвечает сообщением ACK.

Получив сообщение ACK, ISS отвечает сообщением NAK.

Если IRS получает сообщение NAK, то IRS становится ISS и передает данные.

РИСУНОК 124

Сценарий протокола OVER

