

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

**Рекомендация МСЭ-R М.2010-1
(01/2019)**

**Характеристики цифровой системы
под названием "Навигационные данные",
которая предназначена
для радиовещания информации,
касающейся защиты и обеспечения
безопасности на море в направлении
берег–судно в диапазоне 500 кГц**

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, 2019 г.

© ITU 2019

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.2010-1

**Характеристики цифровой системы под названием "Навигационные данные",
которая предназначена для радиовещания информации, касающейся защиты
и обеспечения безопасности на море в направлении берег–судно
в диапазоне 500 кГц**

(2012-2019)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации описана действующая в диапазоне 500 кГц СЧ-радиосистема под названием "Навигационные данные" (НАВДАТ), которая предназначена для использования в морской подвижной службе для цифрового радиовещания информации, касающейся защиты и обеспечения безопасности на море в направлении берег–судно. В Приложениях 1 и 2 содержатся эксплуатационные характеристики и системная архитектура данной радиосистемы. Технические характеристики и структура передачи подробно описаны в Приложениях 3 и 4. Структура файла сообщений и режим широковещательной передачи представлены в Приложениях 5 и 6.

Ключевые слова

500 кГц, широковещательная передача, НАВДАТ

Сокращения/гlossарий

CDU	Control and display unit		Блок управления и отображения
CRC	Cyclic redundancy check		Контроль циклическим избыточным кодом
DRM	Digital radio mondiale		Всемирное цифровое радио
DS	Data stream		Поток данных
GF	Galois Field or finite field		Поле Галуа, или конечное поле
GNSS	Global navigation satellite system	ГНСС	Глобальная навигационная спутниковая система
IMO	International maritime organization	ИМО	Международная морская организация
LDPC	Low density parity-check		Код с малой плотностью проверок на четность
MER	Modulation error rate		Коэффициент ошибок модуляции
MIS	Modulation information stream		Поток информации о модуляции
NAVDAT	Navigational data	НАВДАТ	Навигационные данные (название системы)
NAVTEX	Navigational telex	НАВТЕКС	Навигационный телексы сообщения (название системы)
OFDM	Orthogonal frequency division multiplexing		Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением
PRBS	Pseudo-random binary sequence		Псевдослучайная двоичная последовательность
QAM	Quadrature amplitude modulation		Квадратурная амплитудная модуляция
RS	Reed-solomon codes		Коды Рида–Соломона
SFN	Single frequency network	ОЧС	Одночастотная сеть
SIM	System of information and management		Система информации и управления
TIS	Transmitter information stream		Поток информации о передатчике

Соответствующие Рекомендации и Отчеты МСЭ

Рекомендация МСЭ-R BS.1514 – "Система цифрового звукового радиовещания в диапазонах радиовещания ниже 30 МГц"

Рекомендация МСЭ-R М.493 – "Система цифрового избирательного вызова для использования в морской подвижной службе"

Рекомендация МСЭ-R М.585 – "Присвоение и использование опознавателей в морской подвижной службе"

Рекомендация МСЭ-R Р.368 – "Кривые распространения земной волны для частот между 10 кГц и 30 МГц"

Рекомендация МСЭ-R Р.372 – "Радиощум"

Report ITU-R M.2201 – "Utilization of the 495-505 kHz band by the maritime mobile service for the digital broadcasting of safety and security related information from shore-to-ships"

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что высокоскоростная ширококвещательная передача данных в направлении берег–судно повышает эффективность эксплуатации и безопасность на море;
- b) что пропускная способность системы навигационных телексных сообщений НАВТЕКС ограничена;
- c) что система электронной навигации Международной морской организации (ИМО) увеличивает спрос на передачу данных в направлении берег–судно;
- d) что диапазон 500 кГц обеспечивает хорошее покрытие для цифровых систем,

признавая,

что Всемирное цифровое радио (DRM), о котором говорится в Приложении 6, включено в Рекомендацию МСЭ-R BS.1514,

отмечая,

что Отчет МСЭ-R М.2201 обеспечивает основу для системы НАВДАТ,

рекомендует,

- 1 чтобы эксплуатационные характеристики ширококвещательной передачи информации, касающейся безопасности и охраны на море, соответствовали Приложению 1;
- 2 чтобы системная архитектура системы ширококвещательной передачи информации, касающейся безопасности и охраны на море, соответствовала Приложению 2;
- 3 чтобы технические характеристики и протоколы модема для цифровой передачи информации, касающейся безопасности и охраны на море, в направлении берег–судно в диапазоне 500 кГц соответствовали Приложениям 3 и 4;
- 4 чтобы поток данных системы и структура сообщений соответствовали Приложению 5.

Приложение 1

Эксплуатационные характеристики

Система НАВДАТ использует распределение временных интервалов аналогично системе НАВТЕКС, которую таким же образом может координировать ИМО.

Система НАВДАТ может также работать в режиме одночастотной сети (ОЧС), как описано в Приложении 6. В этом случае передатчики синхронизируются по частоте, а данные для передачи должны быть одинаковыми для всех передатчиков.

Цифровая система НАВДАТ 500 кГц обеспечивает широковещательную передачу любого типа сообщений в направлении берег–судно с возможностью шифрования.

1 Типы сообщений и файлов

Любое радиовещательное сообщение должно поступать из защищенного и управляемого источника.

Типы сообщений для широковещательной передачи включают в том числе следующие:

- безопасность навигации;
- безопасность;
- данные о пиратстве;
- поиск и спасание;
- метеорологические сообщения;
- лоцманские или портовые сообщения;
- передачу файлов системы движения судов;
- пакеты обновления электронных карт.

2 Режимы широковещательной передачи

2.1 Общая широковещательная передача

Широковещательная передача этих сообщений осуществляется для всех судов.

2.2 Избирательная широковещательная передача

Широковещательная передача этих сообщений осуществляется для какой-либо группы судов¹ или конкретной зоны судоходства².

2.3 Специализированные сообщения

Эти сообщения адресуются одному судну с использованием опознавателя морской подвижной службы.

3 Приоритет широковещательной передачи

Система НАВДАТ может осуществлять широковещательную передачу сообщений, касающихся случаев бедствия, срочности и обеспечения безопасности, в порядке, установленном Руководством ИМО по Международной службе сети безопасности (International SafetyNET Manual).

¹ Формат опознавателя группового вызова судовой станции определен в части 1 Приложения 1 Рекомендации МСЭ-R М.585.

² Определение географических координат см. в пункте 5.3 Приложения 1 Рекомендации МСЭ-R М.493.

Приложение 2

Архитектура системы

1 Цепочка широковещательной передачи

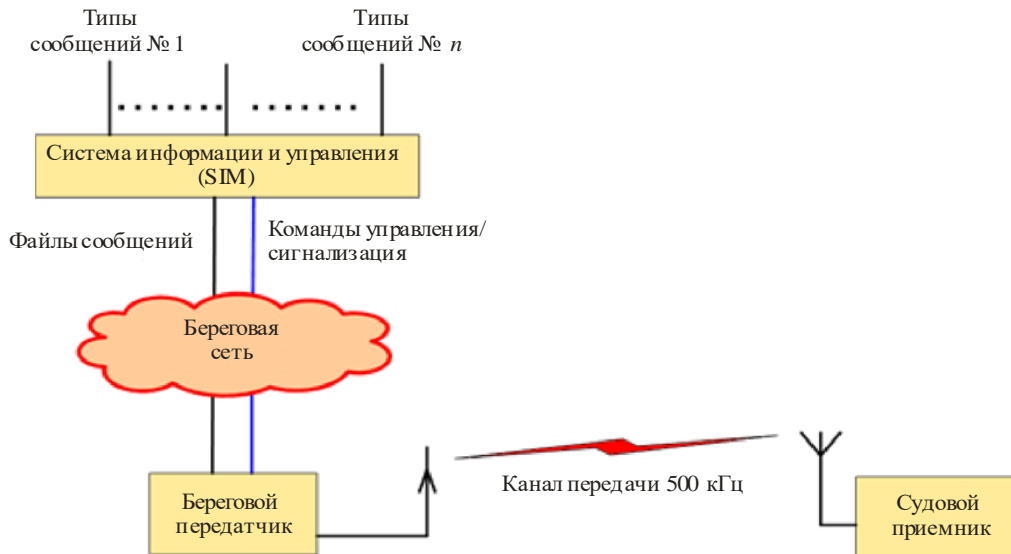
Организация системы НАВДАТ определяется пятью факторами, обеспечивающими выполнение следующих функций.

- Система информации и управления (SIM):
 - собирает все виды информации и управляет этой информацией;
 - создает файлы сообщений, подлежащие передаче;
 - создает программы передачи в соответствии с приоритетом файлов сообщений и потребностями повтора;
 - контролирует рабочее состояние и качество широковещательной передачи берегового передатчика;
 - управляет рабочими параметрами берегового передатчика.
- Береговая сеть:
 - обеспечивает транспортирование файлов сообщений от источников к передатчикам и контроль передаваемых между ними данных.
- Береговой передатчик:
 - принимает файлы сообщений от SIM;
 - преобразует файлы сообщений в сигнал с мультиплексированием с ортогональным частотным разделением (OFDM);
 - передает РЧ-сигнал на антенну для широковещательной передачи на суда;
 - контролирует свое рабочее состояние и сообщает данные о нем SIM.
- Канал передачи:
 - транспортирует радиочастотный сигнал 500 кГц.
- Судовой приемник:
 - демодулирует РЧ-сигнал с OFDM;
 - восстанавливает файлы сообщений;
 - сортирует файлы сообщений и делает их доступными для целевого оборудования в соответствии с применениями файлов сообщений или отображает содержимое этих файлов.

На рисунке 1 представлена блок-схема цепочки широковещательной передачи.

РИСУНОК 1

Блок-схема цепочки широковещательной передачи НАВДАТ 500 кГц



М.2010-01

1.1 Система информации и управления

В понятие SIM входят:

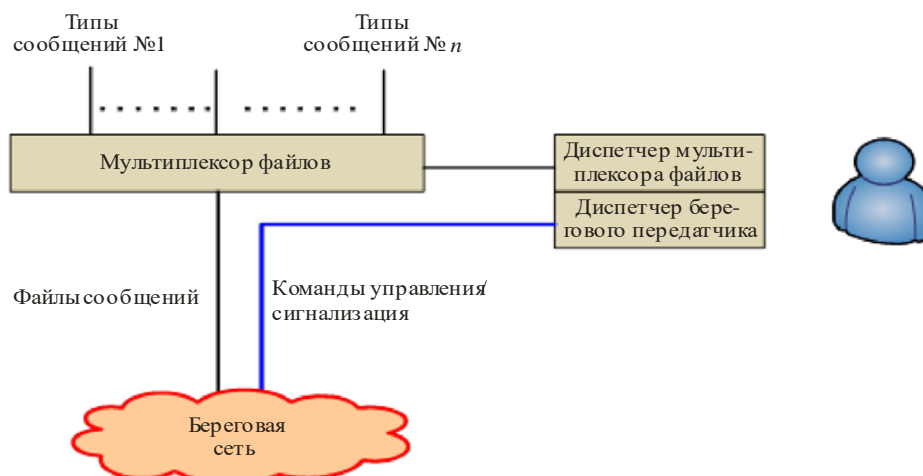
- все источники, которые доставляют сообщения в файлы (например, метеорологический центр, организации безопасности и охраны и т. д.);
- мультиплексор файлов, который является приложением, запускаемым на сервере;
- диспетчер мультиплексора файлов;
- диспетчер берегового передатчика.

Все источники подсоединены к мультиплексору файлов по сети.

На рисунке 2 представлена общая блок-схема SIM.

РИСУНОК 2

Блок-схема системы информации и управления НАВДАТ



М.2010-02

1.1.1 Мультиплексор файлов

Мультиплексор файлов:

- получает файлы сообщений, доставляемые от источников данных;
- по запросу осуществляет шифрование файлов данных;
- осуществляет разметку сообщений в файлах с помощью информации о получателе, статуса приоритетности и достоверности времени;
- отправляет файлы сообщений на передатчик.

1.1.2 Диспетчер мультиплексора файлов

Диспетчер мультиплексора файлов – это интерфейс человек-машина, который обеспечивает пользователю возможность выполнять в том числе следующие задачи:

- просматривать файлы сообщений, поступающие из любого источника;
- определять приоритет и периодичность файла сообщений;
- определять получателя любого файла сообщений;
- управлять шифрованием сообщений в файлах.

Некоторые из этих функций могут быть автоматизированы. Например, приоритет и периодичность сообщения могут выбираться в зависимости от источника, из которого оно поступило, или источник может определять приоритет этого сообщения.

1.1.3 Диспетчер берегового передатчика

Диспетчер береговой станции – это интерфейс человек-машина, подсоединенный к передатчику по сети; он обеспечивает возможность контроля состояния передатчика с помощью следующей индикации:

- подтверждение передачи;
- сигналы оповещения;
- эффективная мощность передачи;
- отчет о синхронизации;
- качество передачи;

и изменения следующих параметров передатчика:

- мощность передачи;
- параметры OFDM (пилотные поднесущие, модуляция, кодирование ошибок и т. д.);
- график передачи.

1.2 Береговая сеть

Береговая сеть может использовать широкополосную линию связи, линию связи с низкой скоростью передачи данных или совместное использование локальных файлов.

1.3 Описание берегового передатчика

Минимальную конфигурацию береговой передающей станции составляют:

- контроллер, представляющий собой локальный сервер с защитой доступа;
- модулятор с OFDM;
- генератор РЧ-сигнала;
- усилитель мощности РЧ-сигнала;
- передающая антенна с блоком согласования;
- приемник глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) или атомные часы для синхронизации;
- приемник радиоконтроля со своей антенной.

1.3.1 Архитектура береговой системы

На рисунке 3 представлена блок-схема цифрового передатчика 500 кГц.



1.3.2 Контроллер

Этот блок принимает определенные блоки информации:

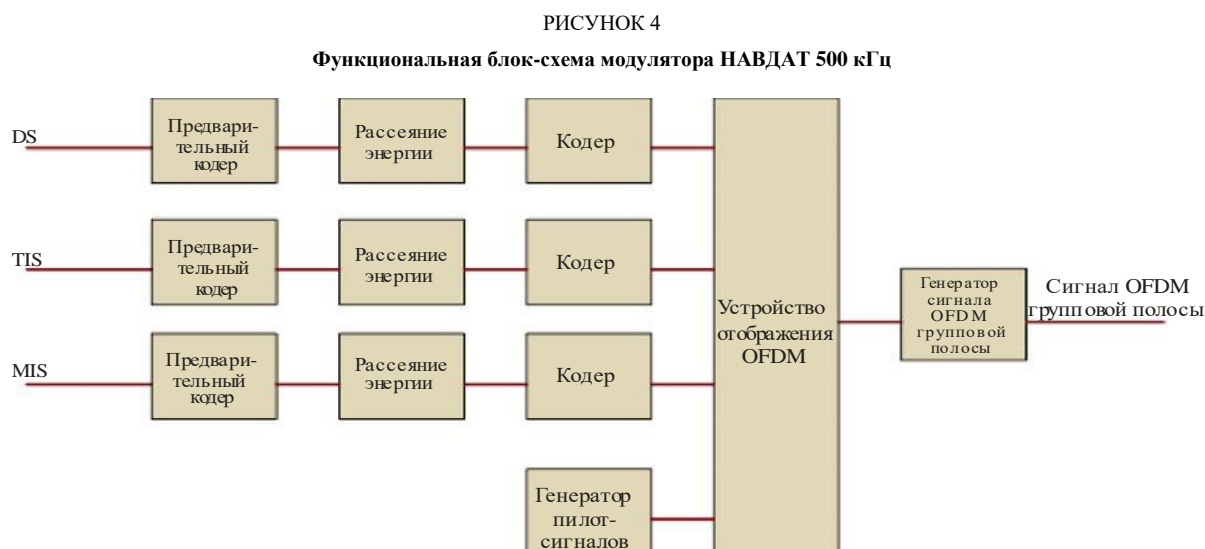
- файлы сообщений от SIM;
- сигналы ГНСС или атомных часов для синхронизации;
- сигнал 500 кГц от приемника радиоконтроля;
- сигналы управления и контроля модулятора, генератора РЧ-сигнала 500 кГц и усилителя мощности РЧ-сигнала.

Контроллер выполняет следующие функции:

- проверку занятости полосы частот 495–505 кГц до передачи;
- синхронизацию всех сигналов на береговой станции по тактовым синхросигналам;
- управление параметрами передачи, временем и графиком;
- форматирование файлов сообщений, подлежащих передаче (разделение файлов по пакетам).

1.3.3 Модулятор

На рисунке 4 представлена блок-схема модулятора.



М.2010-04

1.3.3.1 Входные потоки

Для работы модулятора необходимы три входных потока:

- поток информации о модуляции (MIS);
- поток информации о передатчике (TIS);
- поток данных (DS).

Эти потоки проходят повторное кодирование и далее помещаются в сигнал OFDM устройством отображения ячеек.

1.3.3.1.1 Поток информации о модуляции

Данный поток используется для предоставления информации о:

- занятости спектра;
- модуляции для потока информации о передаче и потока данных (4-, 16- или 64-QAM).

Для удовлетворительной модуляции в приемнике этот поток MIS всегда кодируется по поднесущим с 4-QAM.

1.3.3.1.2 Поток информации о передатчике

Данный поток используется для предоставления в приемник информации о:

- кодировании ошибок для потока данных (должен различаться для распространения поверхностных волн в дневное время и для распространения поверхностных волн + ионосферного распространения в ночное время);
- идентификаторе передатчика;
- дате и времени.

Этот поток TIS может кодироваться с использованием 4- или 16-QAM.

1.3.3.1.3 Поток данных

Этот поток содержит файлы сообщений для передачи (эти файлы сообщений прошли предварительное форматирование мультиплексором файлов).

1.3.3.2 Кодирование ошибок

Схема исправления ошибок определяет устойчивость кодирования. Скорость кодирования – это отношение скорости передачи исходных и полезных данных. Она показывает эффективность передачи и может изменяться в диапазоне от 0,5 до 0,75 в зависимости от схем исправления ошибок и шаблонов модуляции.

1.3.3.3 Генерация сигнала с мультиплексированием с ортогональным частотным разделением (OFDM)

Форматируются три потока (MIS, TIS и DS):

- кодирование;
- рассеяние энергии.

Устройство отображения ячеек организует ячейки OFDM с форматированными потоками и пилотными ячейками. Пилотные ячейки передаются в приемник для оценки радиоканала и синхронизации по РЧ-сигналу.

Генератор сигналов OFDM создает сигнал OFDM групповой полосы в соответствии с выходным сигналом устройства отображения ячеек.

1.3.4 Генератор радиочастотного сигнала 500 кГц

Генератор радиочастотного сигнала 500 кГц переставляет сигнал групповой полосы на несущую выходного сигнала 500 кГц.

Усилитель доводит мощность РЧ-сигнала до желаемого значения.

1.3.5 Усилитель РЧ

Функция этого участка заключается в усилении сигнала 500 кГц, поступающего с выхода генератора, до необходимого уровня в целях получения желательного радиопокрытия.

Передача OFDM вводит в РЧ-сигнал коэффициент амплитуды. Этот коэффициент амплитуды должен находиться в диапазоне 7–10 дБ на выходе усилителя РЧ для обеспечения корректного коэффициента ошибок модуляции (MER).

1.3.6 Передающая антенна с блоком согласования

Усилитель РЧ подсоединен к передающей антенне через устройство согласования полных сопротивлений.

1.3.7 Глобальный навигационный спутниковый приемник и резервные атомные опорные часы

Эти часы используются для синхронизации местного контроллера и настройки высокоточного опорного генератора при работе в режиме ОЧС.

1.3.8 Приемник радиоконтроля

Приемник радиоконтроля выполняет проверку незанятости полосы частот 495–505 кГц до передачи и обеспечивает возможность проверки передачи. Для контроля качества приема местного сигнала рекомендуется также удаленный приемник радиоконтроля.

1.4 Канал передачи – оценка радиопокрытия

Покрывтие можно рассчитать на основе последних версий Рекомендаций МСЭ-R Р.368 и МСЭ-R Р.372. См., например, Отчет МСЭ-R М.2201.

Приложение 3

Технические характеристики НАВДАТ

1 Принцип модуляции

Система использует OFDM – технологию модуляции для цифровой передачи.

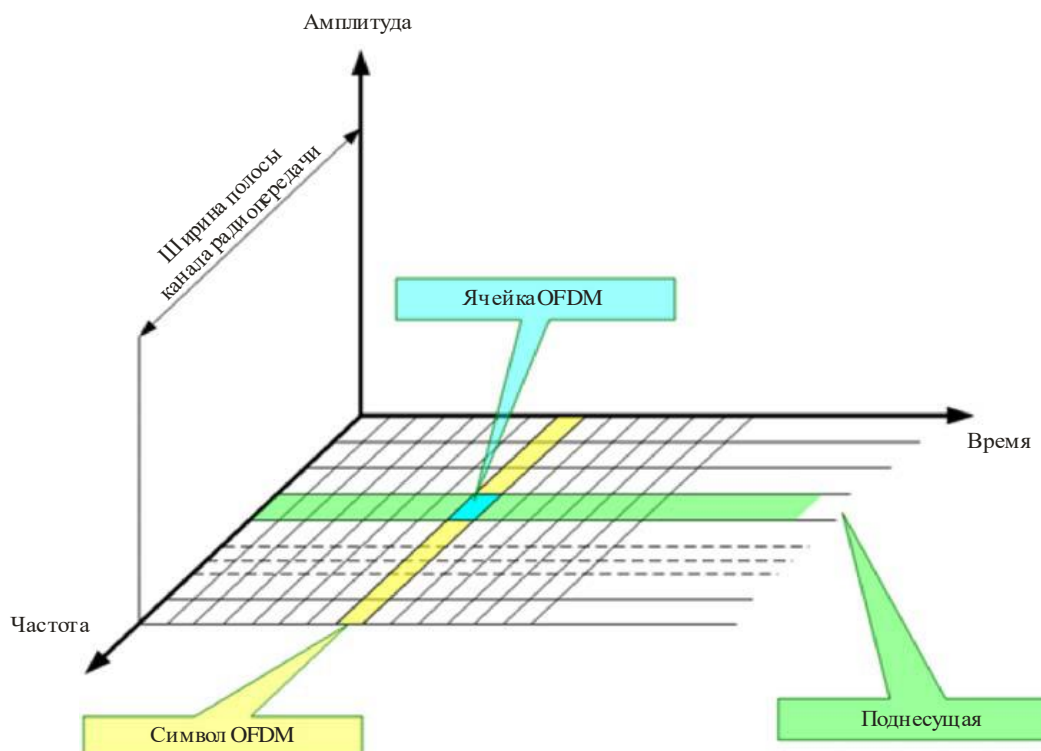
1.1 Введение

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

Занятость канала радиопередачи систематизируется по времени, образуя символы OFDM.

Ячейка OFDM эквивалентна одной поднесущей в одном символе OFDM.

РИСУНОК 5
Введение в OFDM



1.2 Принцип

Для достижения высокой эффективности использования спектра при передаче данных OFDM использует большое число близко расположенных (41,66 Гц) ортогональных поднесущих. Эти поднесущие разнесены по частоте ($F_u = 1/T_u$), где T_u – длительность символа OFDM.

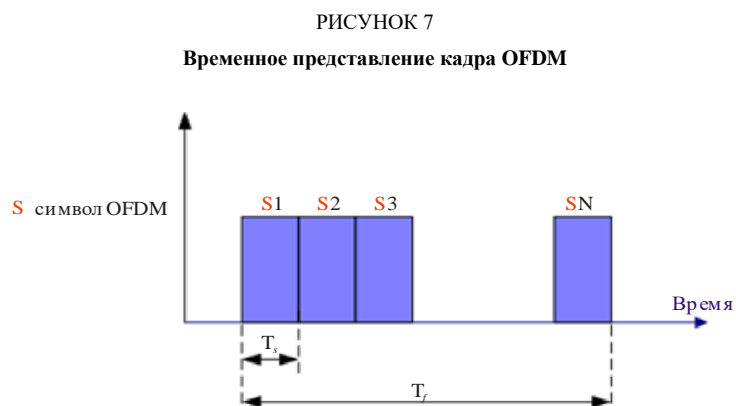
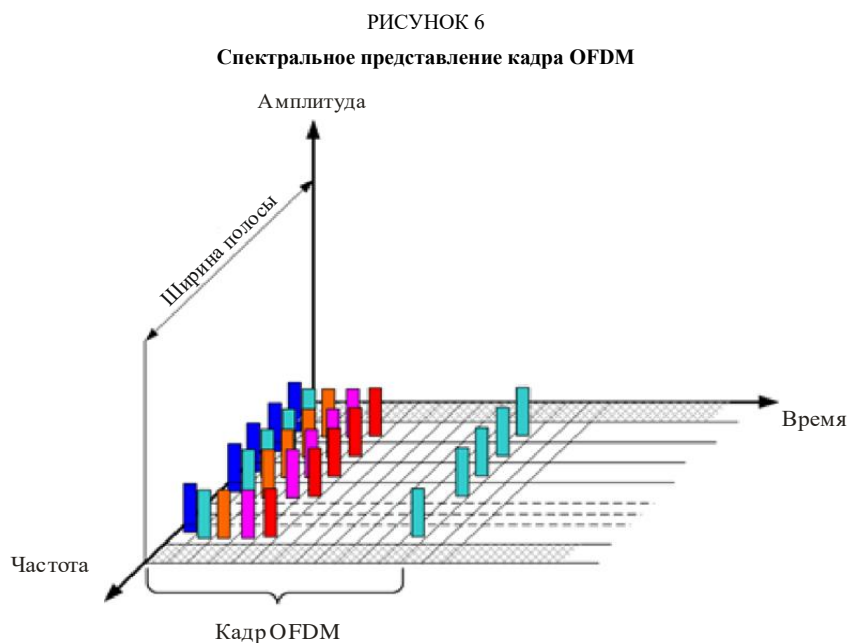
Для оптимизации обусловленного многолучевостью разнесения сигнала, особенно на дальних расстояниях, фазы поднесущих ортогональны относительно друг друга.

В символ OFDM вводится защитный интервал (T_d) 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 составляет T_f .



1.3 Параметры мультиплексирования с ортогональным частотным разделением

Значения параметров OFDM приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

Значения параметров мультиплексирования с ортогональным частотным разделением

T_u	$1/T_u$	T_d	$T_s = T_u + T_d$	N_s	T_f
24 мс	$41^{2/3}$ Гц	2,66 мс	26,66 мс	15	400 мс

T_u : длительность полезной части символа OFDM;

$1/T_u$: разнос несущих;

T_d : длительность защитного интервала;

T_s : длительность символа OFDM;

N_s : число символов на кадр;

T_f : длительность кадра передачи.

1.4 Ширина полосы канала

При цифровой широкополосной передаче НАВДАТ ширина полосы каналов, число и номера поднесущих задаются в зависимости от коэффициента занятости спектра. Значения ширины полосы канала, число поднесущих и диапазон номеров поднесущих указаны в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2

Связь между шириной полосы канала, числом и номерами поднесущих OFDM

	Занятость спектра			
	1	2	3	4
Ширина полосы канала (кГц)	1	3	5	10
Число поднесущих	23	69	115	229
Номер поднесущей k	k от -11 до 11	k от -34 до 34	k от -57 до 57	k от -114 до 114

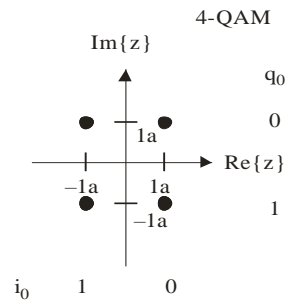
1.5 Модуляция

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).

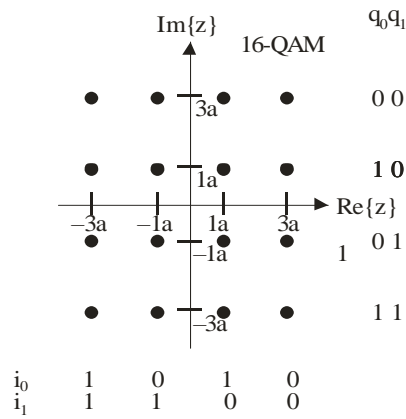
Шаблон модуляции зависит от желательной устойчивости сигнала.

РИСУНОК 8
Группировка 4-QAM



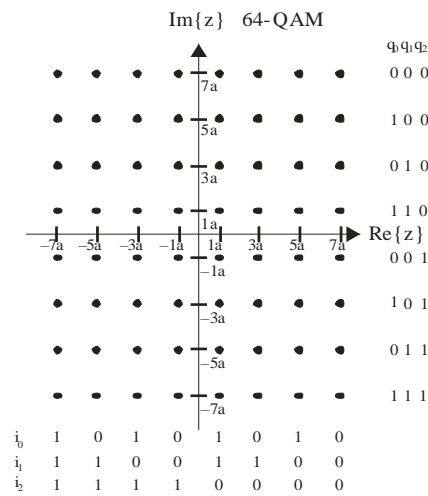
М.2010-08

РИСУНОК 9
Группировка 16-QAM



М.2010-09

РИСУНОК 10
Группировка 64-QAM



М.2010-10

1.6 Синхронизация

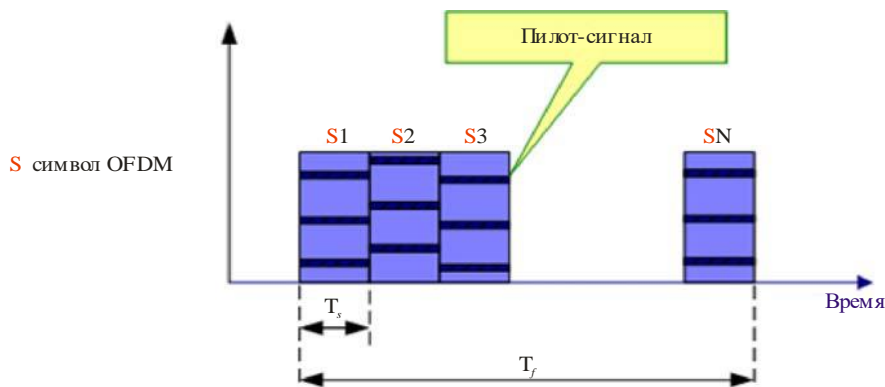
Для того чтобы обеспечить удовлетворительную демодуляцию каждой поднесущей, для каждой поднесущей должна быть определена характеристика канала радиопередачи и должен использоваться эквалайзер. Для этого некоторые из этих поднесущих символов OFDM могут переносить пилот-сигналы.

Пилот-сигналы позволяют приемнику:

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

Число пилот-сигналов зависит от желательной устойчивости сигнала.

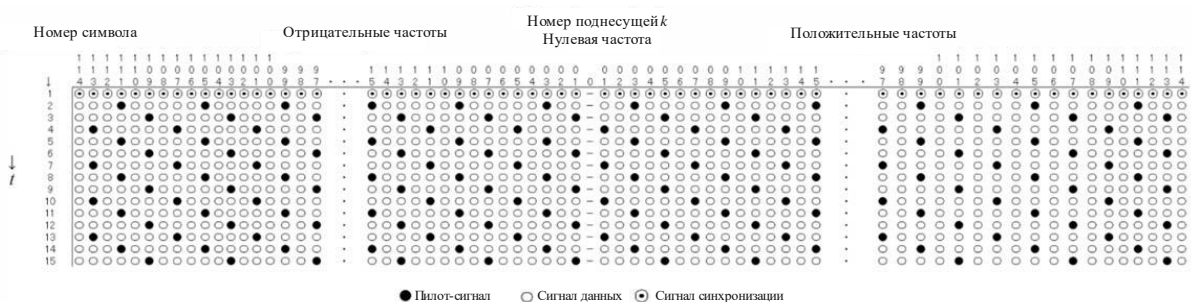
РИСУНОК 11
Пилот-сигнал OFDM



М.2010-11

Положение пилот-сигнала в каждом символе OFDM-кадра может быть представлено следующим образом.

РИСУНОК 12
Положение пилот-сигнала



М.2010-12

На этом рисунке t обозначает направление во временной области, а f – в частотной области. Первый символ каждого кадра OFDM заполняется последовательностью сигналов синхронизации, составляющих в совокупности синхронизационный заголовок (см. таблицу 7). Все они используются в качестве опорных сигналов времени для синхронизации приемника. Черные и белые ячейки обозначают соответственно пилот-сигнал и сигнал данных. Последовательность пилот-сигнала, для которого в символе OFDM используется квадратурная модуляция 2-QAM (BPSK), показана в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3

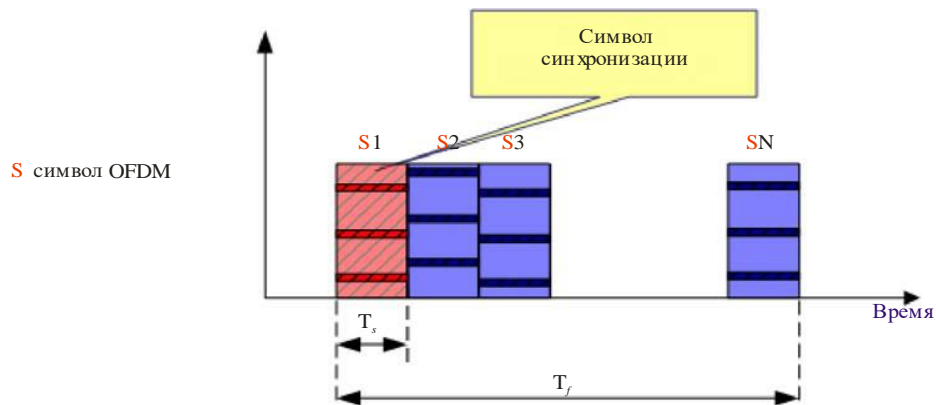
Последовательность пилот-сигнала

Число поднесущих	Последовательность пилот-сигнала
229	-1 1 -1 1 -1 1 1 1 -1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 1
115	-1 1 -1 1 -1 1 1 1 -1 1 1 1
69	-1 1 -1 1 -1 1 1
23	-1 1 -1

В первом символе каждого кадра OFDM в целях синхронизации используются любые поднесущие в качестве опорного времени для приемника.

РИСУНОК 13

Символ синхронизации



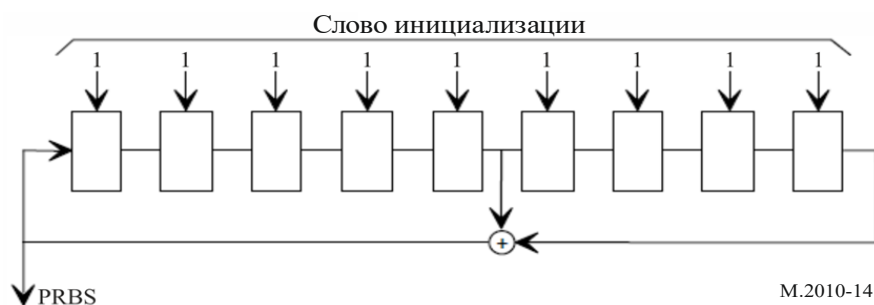
М.2010-13

1.7 Рассредоточение энергии

Цель рассредоточения (рассеяния) энергии – избежать передачи сигнальных последовательностей с нежелательной регулярностью. Входные сигналы скремблеров рассредоточения энергии должны перед канальным кодированием скремблироваться путем сложения по модулю 2 с псевдослучайной двоичной последовательностью (PRBS). PRBS определяется как последовательность на выходе сдвигового регистра с линейной обратной связью, изображенного на рисунке 14. В ее основе должен лежать полином 9-й степени, определяемый следующей формулой:

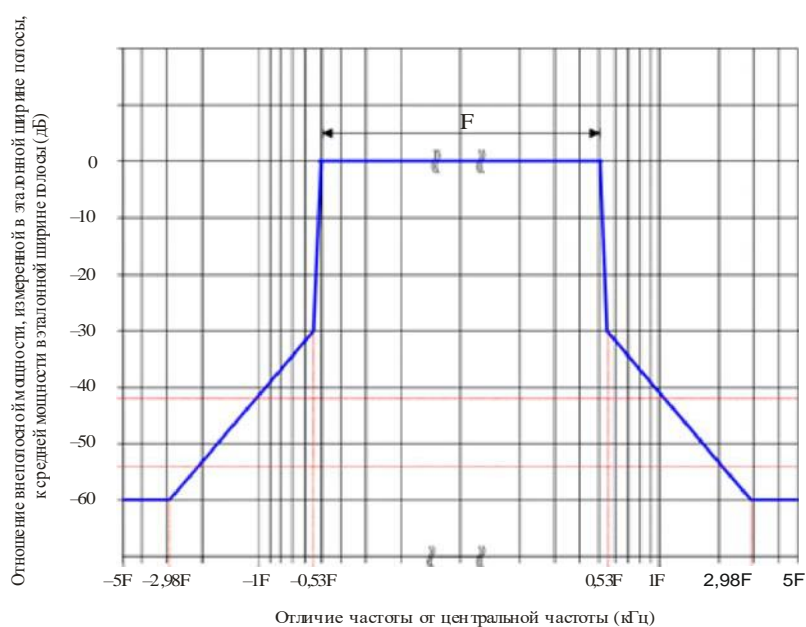
$$P(X) = X^9 + X^5 + 1.$$

РИСУНОК 14
Генератор псевдослучайных двоичных последовательностей



1.8 Занятость спектра РЧ-сигналом

РИСУНОК 15
Занятость спектра сигналом НАВДАТ РЧ с шириной полосы $F = 10$ кГц



2 Ожидаемая скорость полезных данных

В ширине полосы канала 10 кГц при распространении 500 кГц скорость исходных данных в DS составляет, как правило, порядка 25 кбит/с для сигнала с 16-QAM.

Число поднесущих, которые переносят данные, может изменяться, с тем чтобы регулировать защиту канала. Наивысший уровень защиты (защита от многолучевости, затухания, задержки и т. д.) обуславливает меньшее число полезных поднесущих.

Далее для получения скорости полезных данных к скорости исходных данных должно применяться кодирование ошибок. При кодовой скорости 0,5–0,75 скорость полезных данных составит 12–19 кбит/с.

Более высокая кодовая скорость обеспечивает более высокую скорость передачи полезных данных, однако соответствующим образом уменьшается радиопокрытие.

Значения скорости передачи полезных данных в условиях различной модуляции и при разных кодовых скоростях приведены ниже.

ТАБЛИЦА 4
Скорость передачи данных

Режим	Модуляция (nQAM)	Кодовая скорость	Расчетная скорость передачи данных (кбит/с)
0	4-QAM	0,5	6,36
1	4-QAM	0,75	9,56
2	16-QAM	0,5	12,76
3	16-QAM	0,75	19,16
4	64-QAM	0,5	19,16
5	64-QAM	0,75	28,76

3 Эксплуатационные характеристики передатчика НАВДАТ

ТАБЛИЦА 5
Минимальные эксплуатационные характеристики передатчика НАВДАТ

Параметры	Требуемые результаты
Полоса частот	495–505 кГц
Погрешность несущей частоты	В пределах $\pm 2,5$ Гц от номинальной частоты
Спектральная маска	Должна соответствовать требованиям рисунка 15
Коэффициент подавления интермодуляционных искажений 3-го порядка в приемнике	≥ 40 дБн
Уровень побочных излучений передатчика (весь диапазон мощностей)	–50 дБ без превышения абсолютного уровня 50 мВт (17 дБм)

4 Судовой приемник НАВДАТ

4.1 Описание судового приемника НАВДАТ

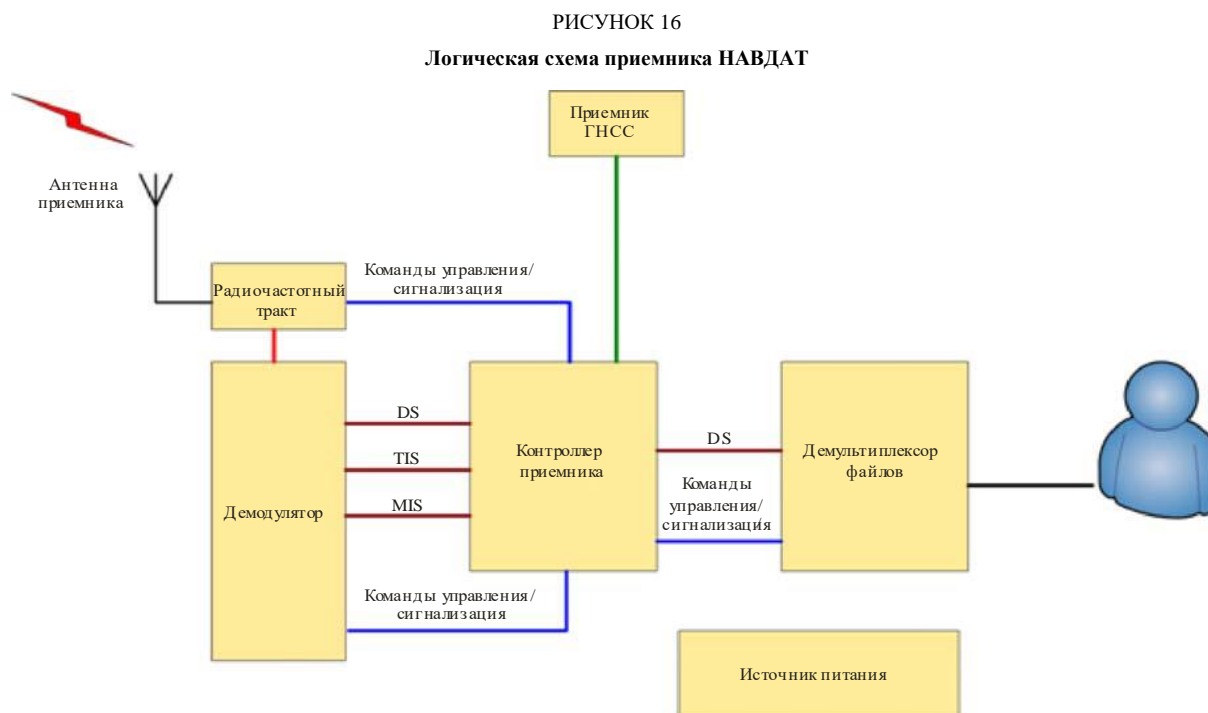
На рисунке 16 представлена блок-схема судового приемника.

Типовой цифровой приемник НАВДАТ 500 кГц состоит из следующих базовых блоков:

- приемная антенна СЧ и дополнительная антенна ГНСС;
- РЧ-тракт;
- демодулятор;
- демультимплексор файлов;
- контроллер;
- блок управления и отображения (CDU);
- интерфейс передачи данных;
- источник питания.

Судовой приемник НАВДАТ обеспечивает прием и декодирование сигналов основного СЧ-канала и основного ВЧ-канала одновременно с использованием двух полных субприемников. Первый субприемник прослушивает эфир в непрерывном режиме на частоте 500 кГц, второй приемник несет дежурство частоте 4226 кГц. Если прием на частоте 4226 кГц отсутствует, данный субприемник сканирует все шесть ВЧ-каналов с длительностью сканирования 500 мс на канал. Проектное решение

этого второго субприемника обеспечивает возможность приема и декодирования сигналов будущих региональных или местных передатчиков, использующих СЧ- или ВЧ-каналы.



М.2010-16

4.1.1 Приемная антенна и антенна глобальной навигационной спутниковой системы

Приемная антенна 500 кГц может быть антенной поля *H* (рекомендована на судах с высоким уровнем шума) или антенной поля *E*. Как вариант, в судовом приемнике НАВДАТ предусмотрена также возможность приема ВЧ-каналов НАВДАТ. В этом случае приемная антенная система имеет полосу частот от 300 кГц до 25 МГц.

Антенна ГНСС (или подсоединение к существующему судовому приемнику ГНСС) также необходима для получения данных о местоположении судна.

4.1.2 Радиочастотный тракт

Этот блок включает РЧ-фильтр, РЧ-усилитель и выход групповой полосы.

Необходимы высокая чувствительность и большой динамический диапазон.

4.1.3 Демодулятор

Это устройство демодулирует сигнал OFDM групповой полосы и восстанавливает поток данных, который содержит переданные файлы сообщений.

Демодулятор выполняет следующие функции:

- синхронизацию по времени/частоте;
- оценку канала;
- автоматическое восстановление модуляции;
- исправление ошибок.

Приемник НАВДАТ должен иметь возможность автоматического определения следующих параметров модуляции:

- 16- или 64-QAM;

- схемы поднесущих;
- типа кодирования с исправлением ошибок.

В дополнение к DS он представляет поле информации в TIS и MIS. Кроме того, он представляет дополнительную информацию о канале:

- расчетное значение отношения сигнал/шум (SNR);
- BER;
- MER.

4.1.4 Демультимплексор файлов

Демультимплексор файлов:

- принимает файлы сообщений от контроллера;
- проверяет, помечены ли файлы для работы данного демодулятора (тип режима широковещательной передачи);
- расшифровывает файлы при необходимости и наличии возможности;
- делает файлы сообщений доступными для приложения терминала, которое использует файлы сообщений;
- удаляет устаревшие файлы сообщений.

В зависимости от конечного приложения файл сообщения может быть:

- сохранен в бортовом сервере, доступном по судовой сети;
- непосредственно отображен на CDU приемника;
- направлен непосредственно конечному приложению.

4.1.5 Контроллер

Контроллер:

- извлекает файлы сообщений из DS (компоновка пакетов в файлы);
- интерпретирует TIS и MIS и другие блоки информации, представляемые демодулятором;
- собирает следующую информацию от демультимплексора файлов:
 - общее число декодированных файлов сообщений;
 - число доступных файлов сообщений;
 - событие ошибки (например, ошибки дешифрования).

4.1.6 Блок управления и отображения

В состав приемника может также входить блок управления и отображения, который выполняет следующие функции:

- отображение специальной информации, а при настройке интерфейса – подключение к специализированному оборудованию (например, электронной навигации) и управление лицензированным для судна контентом (опознаватель судна, шифрование);
- отображение и проверку параметров приема;
- отображение содержимого сообщений в соответствии с классификацией файла сообщений по его применению.

Блок управления и отображения может представлять собой специальное приложение, выполняющееся на внешнем компьютере, а приемник может быть черным ящиком.

4.1.7 Интерфейс данных

Данные от внешних устройств, например ГНСС, поступают на приемник через интерфейс данных. Контроллер классифицирует файлы сообщений по их применению и передает соответствующим прикладным [исполнительным] устройствам через интерфейс данных.

Оборудование должно предоставлять интерфейс данных, соответствующий требованиям стандартов серии IEC 61162. Рекомендуется предусмотреть интерфейсы Ethernet и USB для высокоскоростной передачи файлов, а также интерфейс принтера.

4.1.8 Источник питания

Основной источник питания должен быть согласован с основным источником питания на судне.

5 Минимальные эксплуатационные характеристики судового приемника НАВДАТ

Расчетные спецификации судового приемника приведены ниже в целях получения минимального SNR для удовлетворительной демодуляции OFDM (4-QAM, 16-QAM или 64-QAM).

ТАБЛИЦА 6

Спецификация эксплуатационных характеристик судового приемника НАВДАТ

Параметры	Требования
Полоса частот	495–505 кГц
Защита по соседнему каналу	> 40 дБ на 5 кГц
Коэффициент шума	< 20 дБ
Полезная чувствительность при коэффициенте ошибок по битам (BER), равном 10^{-4} , после исправления ошибок	< -100 дБм
Динамика	> 80 дБ
Минимальное используемое РЧ-поле (с адаптированной приемной антенной)	25 дБ(мкВ/м)

Приложение 4

Структура передачи

1 Структура кадра

Кадр НАВДАТ состоит из синхронизационного заголовка (первый символ), потока информации о модуляции (MIS), потока информации о передатчике (TIS) и потока данных (DS).

РИСУНОК 17

Структура кадра НАВДАТ

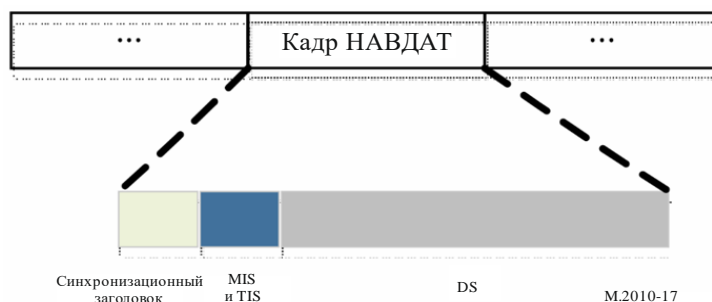


ТАБЛИЦА 9

Информация о способе модуляции потока информации о передатчике

Битовый шаблон	Модуляция
0	4-QAM
1	16-QAM

ТАБЛИЦА 10

Информация о способе модуляции потока данных

Битовый шаблон	Модуляция
00	4-QAM
01	16-QAM
10	64-QAM

3.2 Кодирование

MIS кодируется с использованием кода Рида–Соломона (4,2) над GF(128) с порождающим многочленом $p(x) = x^7 + x^3 + 1$.

4 Поток информации о передатчике**4.1 Структура**

Поток информации о передатчике (TIS) используется для предоставления информации о кодировании потока данных (DS), передатчике и точке отсчета времени для приемника:

- кодирование DS с исправлением ошибок 5 битов;
- опознаватель передатчика 30 битов;
- дата и время 17 битов;
- зарезервированное поле 23 бита (значение по умолчанию 0);
- CRC 8 битов.

ТАБЛИЦА 11

Кодирование потока данных

Битовый шаблон	Режим передачи		
	Показатель занятости спектра (кГц)	Кодовая скорость	Модуляция
00000	1	0,5	4-QAM
00001	1	0,75	4-QAM
00010	1	0,5	16-QAM
00011	1	0,75	16-QAM
00100	1	0,5	64-QAM
00101	1	0,75	64-QAM
01000	3	0,5	4-QAM

ТАБЛИЦА 11 (окончание)

Битовый шаблон	Режим передачи		
	Показатель занятости спектра (кГц)	Кодовая скорость	Модуляция
01001	3	0,75	4-QAM
01010	3	0,5	16-QAM
01011	3	0,75	16-QAM
01100	3	0,5	64-QAM
01101	3	0,75	64-QAM
10000	5	0,5	4-QAM
10001	5	0,75	4-QAM
10010	5	0,5	16-QAM
10011	5	0,75	16-QAM
10100	5	0,5	64-QAM
10101	5	0,75	64-QAM
11000	10	0,5	4-QAM
11001	10	0,75	4-QAM
11010	10	0,5	16-QAM
11011	10	0,75	16-QAM
11100	10	0,5	64-QAM
11101	10	0,75	64-QAM

ТАБЛИЦА 12

Опознаватель передатчика

Кодирование	ID передатчика
$D_1D_2D_3D_4D_5D_6D_7D_8D_9D_{10}$	10-значный буквенно-цифровой код

ТАБЛИЦА 13

Информация о времени

Параметр	Число битов	Описание
Время начала по UTC (часы)	5	ч
Время начала по UTC (минуты)	6	мин
Длительность передачи	6	0–59 мин

4.2 Кодирование

TIS кодируется с использованием кода Рида–Соломона (29,9) над GF(128) с порождающим многочленом $p(x) = x^7 + x^3 + 1$.

5 Поток данных

5.1 Структура

Поток данных обычно состоит из текстовой информации или информационных файлов. Система универсальной пакетной доставки обеспечивает доставку текстовой информации и файлов для различных служб в одном и том же потоке данных. Передача данных для служб может осуществляться в виде последовательности одиночных пакетов.

Структура пакета следующая:

- заголовок 32 бита;
- поле данных n байтов;
- CRC 16 битов.

Заголовок имеет следующий состав:

- длина данных 12 битов;
- бит переключения 1 бит;
- флаг первого пакета 1 бит;
- флаг последнего пакета 1 бит;
- идентификатор пакета 10 битов;
- индикатор дополненного пакета 1 бит;
- зарезервированное поле 6 битов.

Длина данных – 12-битовое поле, указывающее длину пакета в байтах.

Бит переключения – должен находиться в неизменном состоянии, пока передаются пакеты, относящиеся к одному и тому же текстовому сообщению или файлу. При передаче первого пакета, относящегося к другому сообщению или файлу, этот бит инвертируется относительно предыдущего состояния. Если текстовое сообщение или файл, которые могут состоять из нескольких пакетов, повторяются, этот бит остается в неизменном состоянии.

Флаги первого и последнего пакетов – служат для идентификации конкретных пакетов, образующих последовательность пакетов. Они присваиваются следующим образом.

ТАБЛИЦА 14

Кодирование флагов первого и последнего пакетов

Флаг первого пакета	Флаг последнего пакета	Пакет
0	0	Промежуточный
0	1	Последний пакет в блоке данных
1	0	Первый пакет в блоке данных
1	1	Единственный пакет в блоке данных

Идентификатор пакета – 8-битовое поле, содержащее идентификатор данного пакета.

Индикатор дополненного пакета – этот однобитовый флаг указывает, содержит ли поле данных байты дополнения:

0: дополнение отсутствует – все байты данных в поле данных являются полезными;

1: дополнение присутствует – первые два байта указывают число полезных байтов данных в поле данных.

Зарезервированное поле – 6-битовое поле, зарезервированное для использования в будущем.

Поле данных: содержит полезные данные, адресованные конкретной службе. Это может быть текстовая или файловая информация.

CRC: 16-битовая контрольная сумма, которая должна вычисляться по заголовку и полю данных.

5.2 Кодирование

Для кодирования потока данных НАВДАТ используется код с малой плотностью проверок на четность (LDPC), и в различных режимах будут применяться разные параметры кодирования (см. таблицу 11). В приведенной ниже таблице даются параметры LDPC для режима 10 кГц.

ТАБЛИЦА 15

Параметры LDPC для потока данных

Модуляция	Кодовая скорость	Параметры LDPC
4-QAM	0,5	LDPC (2560,512)
4-QAM	0,75	LDPC (3840,5120)
16-QAM	0,5	LDPC (2560,5120) × 2
16-QAM	0,75	LDPC (3840,5120) × 2
64-QAM	0,5	LDPC (2560,5120) × 3
64-QAM	0,75	LDPC (3840,5120) × 3

6 Коды с малой плотностью проверок на четность

Код LDPC представляет собой линейный блочный код, который может быть однозначно определен матрицей проверки на четность H . Поскольку единиц в матрице проверки на четность H гораздо меньше, чем нулей, этот код называется кодом с малой плотностью проверок на четность. Матрица H – двойная диагональная.

Матрицу проверки на четность H можно выразить в виде экспоненциальной матрицы:

$$H = \begin{bmatrix} p_{0,0} & p_{0,1} & \dots & p_{0,N-M} & 0 & \dots & -1 & -1 & -1 \\ p_{1,0} & p_{1,1} & \dots & \dots & 0 & 0 & \dots & -1 & -1 \\ \dots & \dots & \dots & p_{i,N-M} & \dots & \dots & \dots & \dots & -1 \\ p_{M-2,0} & p_{M-2,1} & \dots & \dots & -1 & \dots & 0 & 0 & -1 \\ p_{M-1,0} & p_{M-1,1} & \dots & p_{M-1,N-M} & -1 & -1 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Каждое число представляет матрицу $L \times L$. -1 обозначает матрицу из нулей, 0 – единичную матрицу, а p – матрицу перестановок, получаемую путем сдвига единичной матрицы вправо на p . Двойную диагональную матрицу можно разделить на две части – информационный блок и проверочный блок: $H = [H_s H_p]$. Вектор закодированных выходных символов также может быть разделен на две части: $C = [S P]$. Из проверочного соотношения $[H_s H_p][S P]^T = 0$ можно получить соответствующий бит четности.

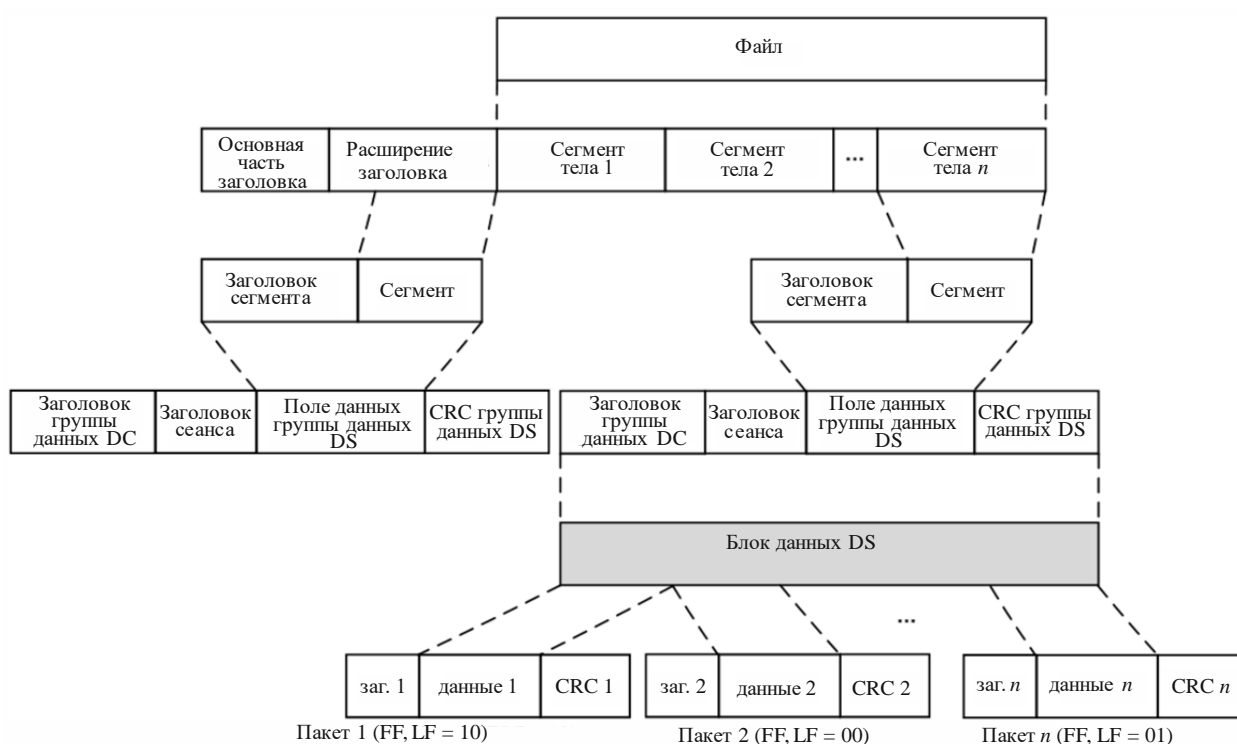
Приложение 5

Структура файла сообщений

На рисунке 18 показано, как формируется группа данных для файла сообщений. Сначала создается заголовок с описанием тела (файла сообщений). Заголовок содержит административные данные о файле. Далее заголовок и тело разделяются на сегменты равного размера (только последний сегмент каждого элемента может быть меньше). Заголовок сегмента прикрепляется к сегменту, и каждый сегмент отображается в одну группу данных. После этого каждая группа данных вместе с ее заголовком отображается непосредственно в блок данных. Блок данных делится на пакеты для передачи. Символами FF и LF обозначается состояние флагов первого и последнего пакета.

РИСУНОК 18

Структура файла сообщений



Приложение 6

Режим одночастотной сети всемирного цифрового радио

1 Поясняющая информация о всемирном цифровом радио

Международный стандарт цифрового радиовещания DRM используется для цифрового вещания на СЧ и ВЧ. DRM является проверенной технологией, которая обеспечивает наилучшее покрытие, повышает четкость сигнала (благодаря цифровому кодированию с исправлением ошибок), устраняет помехи, вызываемые многолучевостью (в том числе ионосферные помехи) и таким образом расширяет покрытие сигналов, распространяемых посредством ионосферной волны. Широковещательные передачи DRM реализуются с обоими режимами модуляции – 16-QAM и 64-QAM, в зависимости от требований к покрытию, местоположения передатчика, мощности и высоты антенны.

1.1 Работа в режиме одночастотной сети

Система DRM может поддерживать режим, называемый ОЧС. В этом случае несколько передатчиков ведут передачу идентичных сигналов данных на той же частоте и в то же время. Как правило, эти передатчики размещены так, чтобы достигалось перекрытие зон покрытия, где радиостанция будет принимать сигналы от нескольких передатчиков. При условии что эти сигналы поступают с разницей во времени, меньшей защитного интервала, они обеспечат положительное усиление сигнала. Таким образом в данном местоположении будет расширена зона обслуживания по сравнению с зоной, достигаемой при использовании одного передатчика для обслуживания в этом местоположении. При тщательном проектировании и использовании нескольких передатчиков в ОЧС можно добиться полного покрытия региона или страны при использовании одной частоты и, в данном применении, одного временного интервала, что существенно повысит эффективность использования спектра и приведет к освобождению временных интервалов широкого вещания.
