ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 54309— 2011

АУДИОВИЗУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ (РАВИС)

Процессы формирования кадровой структуры, канального кодирования и модуляции для системы цифрового наземного узкополосного радиовещания в ОВЧ диапазоне

Технические условия

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2020

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 Разработан Федеральным государственным унитарным предприятием «Главный радиочастотный центр» (ФГУП «ГРЧЦ»)

2 ВНЕСЕН Федеральной службой по надзору в сфере связи «Роскомнадзор»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 февраля 2011 г. № 22-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Май 2020 г.

Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.gost.ru)

© Стандартинформ, оформление, 2012, 2020

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

Содержание

1 Область применения ... 1
2 Термины и определения ... 2
3 Обозначения и сокращения ... 2
4 Общие положения ... 4
4.1 Структурная схема ... 5
4.2 Кодирование источника и мультиплексирование входных данных ... 6
4.3 Формат передаваемых данных ... 6
4.4 Режимы передачи ... 6
4.5 Цифровые потоки, аудио- и видеоформаты ... 6
5 Требования к процессам формирования кадровой структуры, канального кодирования и модуляции ... 8
5.1 Общин требования ... 8
5.2 Требования к процессу формирования КД ... 9
5.3 Требования к процессу рандомизации распределения энергии ... 10
5.4 Требования к подсистеме канального кодирования ... 11
5.5 Требования к внешнему кодированию БЧХ ... 11
5.6 Требования к внутреннему кодированию LDPC ... 14
5.7 Требования к битовому перемежению ... 14
5.8 Требования к отображению битов на ячейки ... 15
5.9 Требования к отображению ячеек на созвездие ... 16
5.10 Требования к перемежению ячеек ... 17
5.11 Требования к временно́му перемежению ... 18
5.12 Требования к общей схеме OFDM-модуляции ... 18
5.13 Требования к кадровой структуре OFDM ... 19
5.14 Требования к частотному перемежению ... 20
5.15 Требования к пилотным несущим ... 21
5.16 Требования к несущим ППС ... 23
5.17 Определение скорости полезного информационного потока ... 25
Приложение А (справочное) Радиочастотные характеристики системы ... 26
Приложение Б (справочное) Моделирование работы системы ... 27
Приложение В (рекомендуемое) Коррекция пик-фактора сигнала OFDM ... 29
Приложение Г (рекомендуемое) Разнесенная передача ... 31
Приложение Д (обязательное) Вычисление циклического избыточного кода ... 32
Приложение Е (обязательное) Процедура формирования матриц кода LDPC ... 33
Библиография ... 38

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АУДИОВИЗУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ (РАВИС)

Процессы формирования кадровой структуры, канального кодирования и модуляции для системы цифрового наземного узкополосного радиовещания в ОВЧ диапазоне

Технические условия

Realtime audiovisual information system (RAVIS). Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial narrowband broadcasting system for VHF band. Specifications

Дата введения — 2012—09—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на систему передачи РАВИС для цифрового наземного узкополосного вещания в ОВЧ диапазоне частот. Система РАВИС позволяет осуществлять информационное звуковое стереовещание и видеовещание как в случае стационарного приема, так и при расположении приемника в движущемся транспорте в городских условиях с плотной застройкой, многолучевостью и отсутствием прямой видимости антенны передатчика, а также в районах со сложным рельефом, в горной местности и густых лесных массивах. Данная система может быть использована вещателями, силовыми ведомствами, банковскими структурами, организациями городского и междугороднего транспорта. Система РАВИС обеспечивает передачу цифрового информационного потока в узкополосном канале с шириной полосы 100; 200 или 250 кГц.

Настоящий стандарт устанавливает:

- основные принципы построения системы для цифрового наземного узкополосного вещания;
- процессы формирования кадровой структуры, методов канального кодирования, мультиплексирования и модуляции системы.

2 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

2.1 **блок временно́го перемежения** (time interleaving block): Множество ячеек, в которых выполняется временно́е перемежение.

2.2 **блок помехозащищенных данных** (FEC block): Множество из N_{cells} ячеек OFDM, передающих все биты одного или нескольких помехозащищенных кадров данных.

2.3 **защитный интервал** (guard interval): Временно́й интервал, вводимый между двумя последовательными OFDM-символами, предназначенный для защиты полезной части сигнала от искажений, связанных с эфирным многолучевым распространением.

2.4 **кадр OFDM** (OFDM frame): Совокупность символов OFDM, с начала кадра возможно декодирование передаваемых данных.

2.5 **кадр данных** (data frame): Множество из K_{bch} бит, формирующее вход одного процесса канального кодирования (кодирование БЧХ и LDPC).

2.6 **пик-фактор сигнала** (PAPR, peak-to-average power ratio): Отношение пиковой амплитуды сигнала к его среднеквадратичному значению.

2.7 **символ OFDM** (OFDM symbol): Сигнал длительностью T_S, включающий в себя все активные несущие, модулированные соответствующими значениями, а также защитный интервал.

Издание официальное

2.8 **синхробайт** (sync byte): Байт со значением 47 в шестнадцатеричной системе счисления. Используется для определения начала транспортного пакета.

2.9 **транспортный пакет MPEG-2** (MPEG-2 transport packet): Последовательность из 188 Б, у которой первый байт является синхробайтом [1].

2.10 **универсальная инкапсуляция потока** (generic stream encapsulation): Протокол инкапсуляции пакетных данных [2].

2.11 **ячейка OFDM** (OFDM cell): Значение, модулирующее одну несущую OFDM на протяжении одного символа OFDM, например, одна точка созвездия.

2.12 **ячейка данных** (data cell): Ячейка OFDM, не являющаяся пилотной или ячейкой параметров передачи сигнала.

3 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте использованы следующие обозначения и сокращения:

$\lfloor x \rfloor$ — округление в сторону минус бесконечности: округление в сторону меньшего целого числа, $\lfloor x \rfloor \le x$;

Δf — полоса радиоканала;

Λ — кодовое слово LDPC;

λ_j — биты кодового слова LDPC;

η_{MOD} — число битов на символ созвездия;

16-QAM — 16-позиционная модуляция QAM;

64-QAM — 64-позиционная модуляция QAM;

$b_{e,\,j}$ — выходные биты с индексом j подпотока e, поступающие с демультиплексора битов на подпотоки;

$c(x)$ — полином кодового слова кода БЧХ;

c_i — номер столбца битового перемежителя;

c_{Ti} — номер столбца временно́го перемежителя;

$C_{m,\,l,\,k}$ — значение ячейки для несущей k символа/кадра m;

$d(x)$ — остаток от деления $m(x)$ на $g(x)$ при кодировании БЧХ;

d_j — проверочные биты кода БЧХ;

$d_{c\,max}$ — максимальное допустимое число единичных элементов в строке матрицы H кодера LDPC;

$d_{r,\,q}$ — выход перемежителя ячеек для ячейки q БПД r;

div — оператор целочисленного деления, определенный следующим образом: x div $y = \lfloor x/y \rfloor$;

f_c — центральная частота РЧ-сигнала;

$g(x)$ — порождающий полином кода БЧХ;

$g_2(x)$, $g_2(z)$, ... — примитивные полиномы, необходимые для получения порождающего полинома кода БЧХ;

$g_{r,i}$ — ячейки данных на входе перемежителя ячеек;

H — матрица для расчета проверочных битов кода LDPC;

$h_{i,\,j}$ — элементы матрицы H кодера LDPC;

I_{bch} — выходное кодовое слово кодера БЧХ, состоящее из N_{bch} битов;

i_j — биты кодового слова кода БЧХ, формирующие информационные биты кода LDPC;

$\mathrm{Im}(x)$ — мнимая часть комплексного числа x;

j — $\sqrt{-1}$;

k — индекс несущей OFDM;

k' — индекс несущей относительно центральной частоты;

K_{bch} — число битов некодированного блока кода БЧХ;

$K_{inf\,i}$ — число информационных несущих логического канала i (КОС, НСК, НКД);

K_{ldpc} — число битов некодированного блока кода LDPC;

K_{max} — индекс последней активной несущей (с максимальной частотой);

K_{min} — индекс первой активной несущей (с минимальной частотой);

K_r — параметр в функции перестановки перемежителя ячеек;

K_{total} — число несущих OFDM;

l — индекс символа OFDM в кадре;

L — число символов в кадре OFDM;

$L_r(q)$ — функция перестановки перемежителя ячеек для r-го БПД в БВП;

M — информационное сообщение из K_{bch} бит, поступающее на кодер БЧХ;
M_{ldpc} — число проверочных битов кода LDPC;
m — индекс кадра OFDM;
m_i — биты сообщения на входе кодера БЧХ;
$m(x)$ — полином сообщения на входе кодера БЧХ;
mod — оператор взятия по модулю, определенный следующим образом: $x \bmod y = x - y\lfloor x/y \rfloor$;
MPEG Surround — стандарт компрессии многоканальных звуковых сигналов;
n_i — число столбцов матрицы H кода LDPC, содержащих i единиц;
N — поле заголовка КД, содержащее порядковый номер КД;
N_{bch} — число битов в блоке, кодированном кодом БЧХ;
N_c — число столбцов битового перемежителя;
N_{cells} — число ячеек OFDM на БПД;
N_{ldpc} — число битов блока, кодированного кодом LDPC;
N_r — число строк битового перемежителя;
$N_{sybstreams}$ — число подпотоков, генерируемых демультиплексором битов на подпотоки;
N_{symb} — длительность полезной части символа OFDM в отсчетах;
N_T — число кадров OFDM в блоке временно́го перемежения (длительность БВП);
N_{Tc} — число столбцов во временно́м перемежителе;
N_{Tr} — число строк во временно́м перемежителе;
$P(r)$ — значение сдвига для перемежителя ячеек в r-м БПД БВП;
p_i — проверочные биты кода LDPC;
q — индекс ячейки в кодированном и модулированном кодовом слове LDPC;
r — индекс БПД в БВП;
r_j — номер строки битового перемежителя;
r_{Ti} — номер строки временно́го перемежителя;
R — примерная скорость помехоустойчивого кодирования;
R_{DF} — доля полезной информации в кадре данных;
R_{FEC} — скорость помехоустойчивого кодирования;
$Re(x)$ — действительная часть комплексного числа x;
$s(t)$ — математическая модель сигнала OFDM;
s_i — биты информации ППС;
$S_{md}(k)$ — псевдослучайная последовательность, используемая при формировании матрицы H кодера LDPC;
SYNCD — поле заголовка КД, описывающее сдвиг до начала пользовательского пакета;
t — число ошибок, корректируемых кодом БЧХ;
t_c — значение сдвига начала столбца c;
T_F — длительность кадра OFDM;
T_G — длительность защитного интервала;
T_S — общая длительность символа OFDM;
T_U — длительность активного символа OFDM;
TIME — поле заголовка КД, содержащее временну́ю метку первого полного пакета;
TYPE — поле заголовка КД, описывающее данные, содержащиеся в КД;
u_{Ti} — входные ячеки временно́го перемежителя;
v_j — выходные биты битового перемежителя со сдвигом начала столбцов;
v_{Ti} — выходные ячеки временно́го перемежителя;
w_i — бит i опорной последовательности ПСДП на уровне символа;
XOR — операция «исключающего ИЛИ»/операция сложения по модулю 2;
$y_{i,\,q}$ — бит i кодового слова ячеек q, поступающий от демультиплексора битов на кодовые слова ячеек;
z_q — точка созвездия до нормализации;
ACE — метод активного расширения созвездия (active constellation extension);
BPSK — двухпозиционная фазовая манипуляция (binary phase shift keying);
CD — компакт-диск (compact disk);
CIF — размер кадра видео 352 × 288 пикселов (common intermediate format);
CRC-8 — восьмибитовый циклический избыточный код (cyclic redundancy check);
DBPSK — дифференциальная двухпозиционная фазовая манипуляция (differential binary phase shift keying);

DFL — длина поля данных (data field length);

DVB-T — система наземного цифрового телевизионного вещания (digital video broadcasting — terrestrial);

DVB-T2 — система наземного цифрового телевизионного вещания второго поколения (digital video broadcasting — terrestrial, second generation);

FEC — упреждающая коррекция ошибок , помехоустойчивое кодирование (forward error correction);

H.264/AVC — Рекомендация Международного союза электросвязи ITU-R H.264 — улучшенное видеокодирование (advanced video coding);

HE-AAC — высокоэффективное улучшенное аудиокодирование (high efficiency advanced audio coding);

LDPC — коды с малой плотностью проверок на четность (low density parity check);

MPEG-2 — группа стандартов цифрового кодирования и мультиплексирования видео- и аудиосигналов (motion picture experts group);

OFDM — схема цифровой модуляции — ортогональное частотное мультиплексирование (orthogonal frequency-division multiplexing);

PS — параметрическое кодирование стереозвукового сигнала (parametric stereo);

QAM — квадратурно-амплитудная модуляция (quadrature amplitude modulation);

QCIF — размер кадра видео 176 × 144 пиксела (quarter common intermediate format);

QPSK — четырехпозиционная фазовая манипуляция (quadrature phase shift keying);

SBR — воссоздание спектральной полосы — метод повышения эффективности аудиокодирования (spectral band replication);

SIF — размер кадра видео 320 × 240 пикселов (source input format);

UPL — длина пользовательского пакета (user packet length);

Б — байт;

БВП — блок временно́го перемежения;

БПД — блок помехозащищенных данных;

БПФ — быстрое преобразование Фурье;

БЧХ — двоичный блоковый код коррекции ошибок Бозе-Чоудури-Хоквингема (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem multiple error correction binary block code);

КД — кадр данных;

КОС — канал основного сервиса;

НКД — надежный канал данных;

НСК — низкоскоростной канал;

НСПД — неструктурированный поток данных;

ОБПФ — обратное быстрое преобразование Фурье;

ОВЧ — диапазон очень высоких частот (30—300 МГц);

ПД — пакетные данные;

ПКД — помехозащищенный кадр данных;

ППС — параметры передачи сигнала;

ПСДП — псевдослучайная двоичная последовательность (pseudo random binary sequence, PRBS);

РАВИС — аудиовизуальная система реального времени (realtime audiovisual system, RAVIS);

СКО — среднеквадратичное отклонение;

ТП — транспортный пакет MPEG-2,

УИП — универсальная инкапсуляция потока (generic stream encapsulation, GSE);

ЦАП — цифро-аналоговый преобразователь.

4 Общие положения

Система РАВИС предназначена для использования в радиовещательных полосах I и II ОВЧ диапазона частот (65,8—74,0 и 87,5—108,0 МГц). Диапазон частот, используемый для вещания РАВИС, позволяет локализовать вещание, т. е. на одной и той же частоте в разных городах передавать различные программы. При этом радиус покрытия передатчиком является достаточным для обеспечения приема в отдаленных пунктах там, где другим способом осуществить вещание невозможно.

Система РАВИС предназначена для приема в транспорте, а также на переносные и стационарные приемные устройства. Она позволяет передавать в одном канале шириной 250 кГц более 10 программ стереозвукового вещания CD качества либо видеопрограмму с несколькими каналами звукового сопровождения. Предусмотрены варианты системы при ширине полосы 200 и 100 кГц с меньшей пропускной способностью и меньшим числом звуковых программ в мультиплексе.

Кроме ширины полосы канала предусмотрено несколько возможных значений параметров канального кодирования и модуляции системы РАВИС, что позволяет организовывать вещание в различных условиях окружающей среды и помеховой обстановки, обеспечивая вещателю выбор между надежностью передачи и скоростью передачи данных в системе. Эти параметры позволяют также организовывать вещание в одночастотных сетях, например, вдоль автомобильных трасс.

В системе предусмотрены, помимо логического канала КОС, канал передачи низкоскоростных данных с повышенной надежностью передачи (НСК) и канал высоконадежной передачи данных (НКД). Эти логические каналы могут использоваться, например, в системах оповещения о чрезвычайных ситуациях и т. д.

4.1 Структурная схема

Структурная схема передающей части системы РАВИС представлена на рисунке 1.

Составные части блока обработки, канального кодирования и перемежения входных данных в каждом из трех каналов системы РАВИС представлены на рисунке 2.

На вход каждого из трех каналов подают данные различного типа с соответствующей скоростью передачи, поступающие от кодеров источников (звук, видео, др. данные) и мультиплексоров.

Из входных данных формируют КД (см. 6.2). Далее проводят рандомизацию энергии внутри КД (см. 6.3). Рандомизированные КД подвергают помехозащитному канальному кодированию, включающему в себя внешнее (см. 6.4) и внутреннее (см. 6.5) кодирование (кодер БЧХ и кодер LDPC). Далее изменяют порядок следования битов внутри ПКД (битовое перемежение, см. 6.6), проводят отображение битов КД на точки модуляционного созвездия (см. 6.7, 6.8), перемежение ячеек данных (см. 6.9) и перемежение блоков ячеек (временно́е перемежение) в рамках одного или нескольких КД (см. 6.10). Временно́е перемежение предусмотрено только для КОС.

Далее проводят формирование символов и кадров OFDM. отображение ячеек данных всех каналов на несущие OFDM (см. 6.11), перемежение данных несущих (см. 6.13), ввод пилотных несущих (см. 6.14) и несущих ППС (см. 6.15) с учетом номера символа, коррекцию пик-фактора (см. приложение В), формирование сигнала символа OFDM во временно́й области с помощью ОБПФ, формирование задержки при использовании разнесенной передачи (см. приложение Г), ввод защитного интервала (см. 6.12).

Сформированный на этом этапе в цифровом виде сигнал РАВИС преобразуют в аналоговую форму, фильтруют, переносят на частоту вещания, усиливают по мощности и излучают.

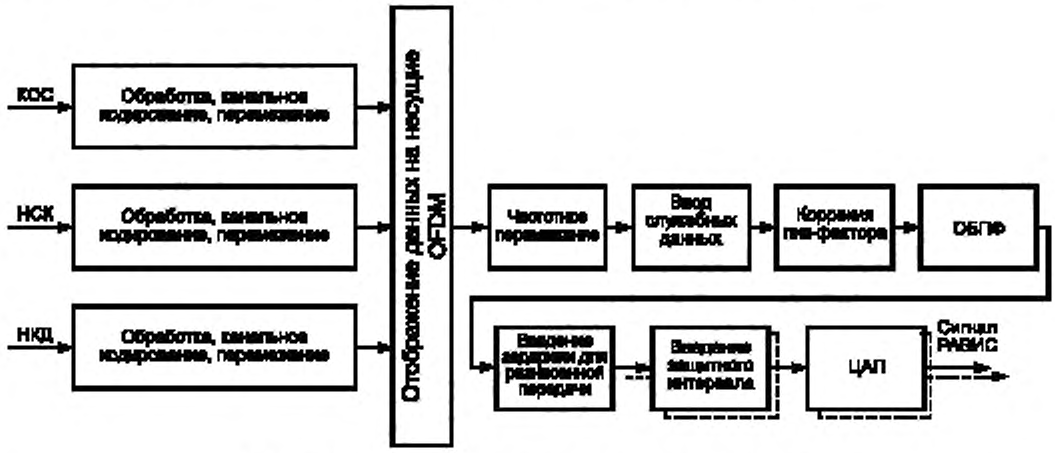

Рисунок 1 — Структурная схема передающей части РАВИС



Рисунок 2 — Составные части блока обработки, канального кодирования и перемежения входных данных

4.2 Кодирование источника и мультиплексирование входных данных

На входы каналов данных КОС, НСК и НКД подают двоичные данные, переносящие различную информацию. В первую очередь система РАВИС предназначена для передачи видео- и звуковой информации. Эта информация должна предварительно подвергаться эффективному кодированию с целью устранения как статистической избыточности, так и избыточности восприятия (визуальной, звуковой).

Примечание — В настоящее время наиболее перспективными для использования в системе РАВИС являются звуковой кодер HE-AAC [3] (включая кодирование SBR, PS, MPEG Surround) и видеокодер H.264/AVC [4]; кодер HE-AAC позволяет передавать в потоке 32 Кбит/с высококачественный стереозвук, а кодер H.264/AVC обеспечивает видео высокого качества формата CIF 25 кадров/с при потоке менее 500 Кбит/с.

Закодированные данные источников мультиплексируют с использованием различных форматов, включая пакеты постоянной (в том числе ТП MPEG-2) и переменной длины.

4.3 Формат передаваемых данных

Подаваемые на вход трех логических каналов данные могут иметь различный формат, который указывается в заголовке КД. Предусмотрены четыре типа (формата) данных:

- пакеты данных постоянной или переменной длины;
- ТП (пакеты фиксированной длины известного размера и структуры);
- пакеты протокола УИП;
- НСПД.

4.4 Режимы передачи

В системе РАВИС используют три режима передачи с полосой радиоканала 100; 200 или 250 кГц.

Радиоканал 250 кГц: всего 553 несущих, из них 504 информационных.

Радиоканал 200 кГц: всего 439 несущих, из них 400 информационных.

Радиоканал 100 кГц: всего 215 несущих, из них 196 информационных.

Кроме логического канала КОС могут передаваться один или два дополнительных логических канала данных — низкоскоростной канал (НСК, пропускная способность около 12 Кбит/с) и надежный канал данных (НКД, пропускная способность около 5 Кбит/с).

Размер КД в логическом канале КОС зависит от полосы радиоканала, скорости канального кодирования и присутствия или отсутствия дополнительных каналов данных. Допустимые скорости канального кодирования — 1/2, 2/3, 3/4; допустимые типы модуляции — QPSK, 16-QAM, 64-QAM.

Размер кадра данных в логическом канале НСК — 656 бит, скорость канального кодирования — 1/2, тип модуляции — QPSK. Данные канала передают на 32 информационных несущих.

Размер кадра данных в логическом канале НКД — 533 бит, скорость канального кодирования — 1/2, тип модуляции — BPSK. Данные канала передают на 26 информационных несущих.

Интервал между несущими составляет (4000/9) Гц. Длительность полезной части символа OFDM составляет 2,25 мс. Длительность защитного интервала — 1/8. Кадр OFDM состоит из 41 символа.

4.5 Цифровые потоки, аудио- и видеоформаты

Скорости цифровых потоков в одном радиоканале для всех комбинаций модуляционного созвездия и скорости помехоустойчивого кодирования приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Скорости цифровых потоков в одном радиоканале

Тип созвездия	Скорость кода	Скорость потока данных, Кбит/с		
		Канал 100 кГц	Канал 200 кГц	Канал 250 кГц
QPSK	1/2	80	160	200
	2/3	100	210	270
	3/4	120	240	300
16-QAM	1/2	150	320	400
	2/3	210	420	530
	3/4	230	470	600

Окончание таблицы 1

Тип созвездия	Скорость кода	Скорость потока данных, Кбит/с		
		Канал 100 кГц	Канал 200 кГц	Канал 250 кГц
64-QAM	1/2	230	470	600
	2/3	310	630	800
	3/4	350	710	900

Возможное число передаваемых программ звукового стереофонического вещания формата 32 Кбит/с в одном радиоканале для всех комбинаций модуляционного созвездия и скорости помехоустойчивого кодирования приведено в таблице 2.

Таблица 2 — Возможное число передаваемых звуковых программ в одном радиоканале

Тип созвездия	Скорость кода	Число звуковых программ (32 Кбит/с)		
		Канал 100 кГц	Канал 200 кГц	Канал 250 кГц
QPSK	1/2	2	4	6
	2/3	3	6	8
	3/4	3	7	9
64-QAM	1/2	4	9	12
	2/3	6	13	16
	3/4	7	14	18
16-QAM	1/2	7	14	18
	2/3	9	19	24
	3/4	10	22	28

Предпочтительные видеоформат и число передаваемых программ звукового стереофонического сопровождения формата 32 Кбит/с в одном радиоканале для всех комбинаций модуляционного созвездия и скорости помехоустойчивого кодирования приведены в таблице 3.

Таблица 3 — Предпочтительные видеоформат и число передаваемых звуковых программ в одном радиоканале

Тип созвездия	Скорость кода	Видеоформат, число кадров/с (число аудиопрограмм)		
		Канал 100 кГц	Канал 200 кГц	Канал 250 кГц
QPSK	1/2	QCIF, 5 (1)	QCIF, 12,5 (1)	QCIF, 12,5 (1)
	2/3	QCIF, 5 (1)	QCIF, 12,5 (1)	SIF, 12,5 (1)
	3/4	QCIF, 10 (1)	SIF, 12,5 (1)	SIF, 12,5 (1)
16-QAM	1/2	QCIF, 10 (1)	SIF, 12,5 (1)	CIF, 12,5 (2)
	2/3	QCIF, 12,5 (1)	CIF, 12,5 (2)	CIF, 25 (1)
	3/4	QCIF, 12,5 (1)	SIF, 25 (1)	CIF, 25 (2)
64-QAM	1/2	QCIF, 12,5 (1)	SIF, 25 (1)	CIF, 25 (3)
	2/3	SIF, 12,5 (1)	CIF, 25 (3)	CIF, 25 (4)
	3/4	SIF, 12,5 (1)	CIF, 25 (5)	CIF, 25 (6)

Данные в таблицах 1—3 приведены для логического канала КОС при отсутствии каналов НСК и НКД.

5 Требования к процессам формирования кадровой структуры, канального кодирования и модуляции

5.1 Общие требования

Система канального кодирования и OFDM-модуляции — это функциональный блок, выполняющий адаптацию данных от выхода кодера источника сигнала к характеристикам канала. Потоки данных всех логических каналов данных (КОС, НСК, СКД) подвергают следующим преобразованиям (см. рисунки 1, 2):

- формирование КД,
- рандомизация распределения энергии КД;
- внешнее кодирование КД (блочный код БЧХ);
- внутреннее кодирование КД (блочный код LDPC);
- битовое перемежение ПКД;
- отображение битов на ячейки модуляционного созвездия;
- перемежение ячеек в рамках одного или нескольких ПКД;
- временно́е перемежение в рамках одного или нескольких ПКД;
- отображение данных всех логических каналов на ячейки OFDM;
- частотное перемежение и ввод служебных несущих;
- коррекция пик-фактора;
- ОБПФ;
- введение защитного интервала и формирование полного сигнала OFDM.

Система допускает различные уровни модуляции QAM и различные скорости канального кодирования в канале КОС, которые используют для достижения оптимального соотношения между скоростью цифрового потока и надежностью (помехозащищенностью). Каналы НСК и НКД отличает бо́льшая помехозащищенность и соответственно бо́льшая зона охвата вещанием, и устойчивость приема по сравнению с каналом КОС.

Блок адаптации входного потока играет роль интерфейса и предоставляет возможность подключения к кодеру канала любого входного потока со скоростью не больше заданной. Кроме того, блок адаптации входного потока формирует элементарные КД для дальнейшей обработки кодером канала.

Блок рандомизации осуществляет процедуру рассеивания энергии двоичного цифрового потока, превращая длинные последовательности идущих подряд нулей или единиц в псевдослучайную двоичную последовательность. Данная операция обеспечивает энергетический выигрыш при дальнейшем формировании радиосигнала (выигрыш по пик-фактору сигнала).

Блок помехозащитного кодирования включает в себя каскад из двух помехоустойчивых кодеров: БЧХ и LDPC. Выходная длина ПКД после канального кодирования для канала КОС зависит от полосы радиоканала, а также от наличия или отсутствия каналов НСК и НКД (см. таблицу 6). Длина ПКД для канала НСК составляет 1312 бит, а для канала НКД — 1066 бит.

Битовый перемежитель предназначен для ослабления влияния пакетных битовых ошибок. Битовый перемежитель работает в пределах одного ПКД.

Блок модуляции осуществляет отображение последовательности групп битов (1 — BPSK, 2 — QPSK, 4 — 16-QAM, 6 — 64-QAM) на точки выбранного сигнального созвездия.

Перемежитель ячеек представляет собой частотный перемежитель, обеспечивающий дополнительную устойчивость сигнала к частотным замираниям в канале.

Временно́й перемежитель предназначен для глубокого перемежения одного или нескольких ПКД для защиты от временны́х замираний канала. Временно́й перемежитель присутствует только в канале КОС.

Работа канала НСК обеспечивается тем же набором блоков, что и работа канала КОС, за исключением временно́го перемежителя. Кроме того, для повышения помехоустойчивости данного канала используется только модуляция QPSK и скорость канального кодирования 1/2. Канал НКД построен аналогично каналу НСК, при этом используется только модуляция BPSK и скорость канального кодирования 1/2.

Мультиплексор потоков формирует из поступающих на его вход модулированных ячеек данных различных каналов OFDM-символы. При этом каждый канал отображают на определенное число несущих. Канал НСК отображают на 32 несущие, канал НКД — на 26 несущих. Число несущих канала КОС зависит от используемой полосы радиочастотного канала и наличия или отсутствия дополнительных каналов данных — НСК и НКД. После отображения данных всех каналов на несущие OFDM осуществляют частотное перемежение, в результате которого низкоскоростные надежные потоки передаются на различных несущих в различных символах OFDM, что повышает устойчивость системы передачи

данных к частотно-селективным замираниям. Кадр OFDM состоит из 41 символа OFDM. Размер ПКД в логическом канале данных равен произведению количества несущих OFDM, соответствующих логическому каналу данных, на число символов в кадре OFDM (см. 6.4, таблица 6).

Далее в мультиплексированный поток OFDM-символов вводят пилотные несущие и несущие ППС, обеспечивающие на стороне приема возможности синхронизации, коррекции канальных искажений и передачи дополнительной информации, в том числе о параметрах модуляции и канального кодирования, наличия различных каналов данных и пр.

Коррекция пик-фактора сигнала является необязательной, но рекомендуемой. Возможный алгоритм коррекции пик-фактора приведен в приложении В.

На выходе ОБПФ формируют временно́й дискретизированный сигнал, который после введения защитного интервала поступает на вход блока ЦАП.

При использовании разнесенной передачи до ввода защитного интервала осуществляют введение задержки сигнала (см. приложение Г).

5.2 Требования к процессу формирования КД

Размер КД зависит от параметров канального кодирования (см. 6.4, таблица 6) и равен размеру некодированного блока БЧХ-кода K_{bch}.

КД состоит из заголовка, полезной нагрузки и заполнения.

В качестве полезной нагрузки могут быть использованы данные следующего типа (формата):

- ТП;
- ПД, а именно, пакеты фиксированной или переменной длины;
- пакеты протокола УИП;
- НСПД.

Описание полей заголовка КД представлено в таблице 4.

Полезную нагрузку, представляющую собой пользовательские данные, записывают после заголовка. Ее размер записывают в поле длины данных заголовка, этот размер не может превышать значения, равного размеру КД минус размер заголовка.

Заполнение записывают после полезной нагрузки, если ее размер плюс размер заголовка меньше размера КД; заполнение производят нулями.

Таблица 4 — Описание полей заголовка КД

Поле		Размер	Описание
1 Тип данных, TYPE		1 Б (или более)	Поле состоит из битовых данных
Биты поля TYPE	Биты 0, 1	2 бит	Тип потока данных: 00b — пакеты протокола УИП; 01b — непрерывный поток данных, структура которого неизвестна канальному кодеру, НСПД; 10b — поток пакетов переменной или постоянной длины, размер которых не превышает 65536 бит, ПД; 11b —ТП
	Бит 2	1 бит	Индикатор присутствия временно́й метки первого полного пакета данных в данном КД (для потоков типа ТП и ПД): 1 — временна́я метка первого полного пакета данных присутствует; 0 — временна́я метка первого полного пакета данных отсутствует
	Бит 3	1 бит	Индикатор пакетов переменной длины для режима ПД: 1 — пакеты переменной длины; 0 — пакеты постоянной длины
	Бит 4	1 бит	Индикатор добавления временно́й метки к заголовку пользовательского пакета (для потоков типа ТП и ПД): 1 — к заголовку каждого пользовательского пакета добавлена временна́я метка; 0 — временна́я метка не добавляется к заголовку пользовательского пакета

Окончание таблицы 4

Поле		Размер	Описание
Биты поля TYPE	Бит 5	1 бит	Индикатор добавления номера КД: 1 — поле номера КД присутствует; 0 — поле номера КД отсутствует
	Бит 6	1 бит	Зарезервирован
	Бит 7	1 бит	Индикатор присутствия следующего байта, относящегося к полю TYPE: 1 — следующий байт относится к полю TYPE; 0 — следующий байт относится к следующему полю заголовка
2 Число битов пользовательского пакета UPL		2 Б	Поле присутствует только для данных ПД и только при сброшенном бите 3 поля TYPE (пакеты постоянной длины)
3 Число битов поля данных DFL		2 Б	Длина поля данных, содержащего пользовательские пакеты
4 Число битов сдвига начала синхронизации SYNCD		2 Б	Расстояние от начала поля данных до начала пользовательского пакета (равно 0, если начало пользовательского пакета совпадает с началом поля данных; равно 65535, если в поле данных нет начала ни одного пакета); это поле отсутствует в режиме НСПД
5 Временна́я метка TIME		2 Б	Временна́я метка первого полного пакета данных (присутствует, если выставлен бит 2 в поле TYPE)
6 Номер КД *N*		2 Б	Порядковый номер текущего кадра данных по модулю 65536 (присутствует, если выставлен бит 5 в поле TYPE)
7 Контрольная сумма CRC-8		1 Б	CRC-8 для полей с первого по шестое (алгоритм расчета CRC-8 приведен в приложении Д)

Размер заголовка кадра данных зависит от типа данных полезной нагрузки, переменной или фиксированной длины пакетов, наличия временно́й метки пакетов, наличия номера КД:

ПД, пакеты фиксированной длины..... 8 Б;
ПД, пакеты переменной длины ..... 6 Б;
ТП..... 6 Б;
УИП..... 6 Б;
НСПД..... 4 Б.

Размер заголовка увеличивается на 2 Б при передаче временно́й метки (выставлен бит 2 поля TYPE заголовка КД).

Размер заголовка увеличивается на 2 Б при передаче номера КД (выставлен бит 5 поля TYPE заголовка КД).

Размер заголовка кадра данных увеличивается на 1 Б при увеличении поля TYPE (выставлен бит 7 поля TYPE заголовка КД).

Пользовательские пакеты снабжаются заголовками (0, 2 или 4 Б):

- временна́я метка, 2 Б, если выставлен бит 4 поля TYPE (передача временно́й метки пользовательского пакета) — только для потоков типа ТП и ПД;
- длина пакета, 2 Б, если выставлен бит 3 поля TYPE (пакеты переменной длины) — только для потоков типа ПД.

5.3 Требования к процессу рандомизации распределения энергии

КД рандомизируют (скремблируют) в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 3.

Порождающий полином для ПСДП имеет вид $1 + x^{14} + x^{15}$.

Загрузку инициализирующей последовательности «100101010000000» в регистры ПСДП, как указано на рисунке 3, следует проводить при начале обработки каждого КД.

Первый бит на выходе генератора ПСДП должен быть применен к первому биту (т. е. к старшему биту) первого байта КД.

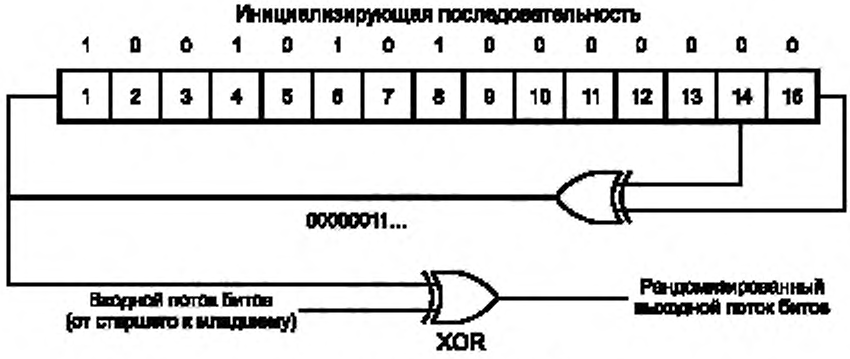

Рисунок 3 — Схема рандомизации данных

5.4 Требования к подсистеме канального кодирования

Подсистема канального кодирования должна выполнять внешнее кодирование БЧХ, внутреннее кодирование LDPC и побитовое перемежение. Входной поток должен состоять из КД, а выходной поток — из ПКД.

Каждый КД, содержащий K_{bch} битов, должен обрабатываться подсистемой канального (помехозащитного) кодирования для формирования ПКД, содержащего N_{ldpc} битов. $N_{bch} - K_{bch}$ проверочных битов систематического внешнего кода БЧХ должны быть присоединены в начале КД, размер КД, таким образом, увеличивается до $N_{bch} = K_{ldpc}$ битов. $N_{ldpc} - K_{ldpc}$ проверочных битов внутреннего кодера LDPC должны быть присоединены в конце КД.

5.5 Требования к внешнему кодированию БЧХ

Для генерации ПКД код БЧХ (N_{bch}, K_{ldpc}), корректирующий t ошибок, должен быть применен к каждому КД. Примитивные полиномы кода БЧХ приведены в таблице 5.

Для получения порождающего полинома $g(x)$ кода коррекции t ошибок кодера БЧХ следует перемножить первые t примитивных полиномов, соответствующих N_{bch} (см. таблицу 5).

Таблица 5 — Примитивные полиномы кодера БЧХ

Примитивные полиномы кодера БЧХ для различных значений N_{bch}	
Примитивные полиномы для $512 \le N_{bch} < 1024$	
$g_1(x)$	$1 + x^8 + x^7 + x^9 + x^{10}$
$g_2(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^{10}$
$g_3(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^5 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{10}$
$g_4(x)$	$1 + x + x^2 + x^4 + x^5 + x^9 + x^{10}$
$g_5(x)$	$1 + x + x^2 + x^5 + x^6 + x^8 + x^{10}$
$g_6(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^5 + x^{10}$
Примитивные полиномы для $2048 \le N_{bch} < 4096$	
$g_1(x)$	$1 + x^6 + x^8 + x^{11} + x^{12}$
Примитивные полиномы кодера БЧХ для различных значений N_{bch}	
$g_2(x)$	$1 + x^2 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{11} + x^{12}$
$g_3(x)$	$1 + x^6 + x^9 + x^{10} + x^{12}$
$g_4(x)$	$1 + x^2 + x^6 + x^7 + x^9 + x^{11} + x^{12}$
$g_5(x)$	$1 + x^3 + x^4 + x^5 + x^6 + x^7 + x^8 + x^{10} + x^{12}$
$g_6(x)$	$1 + x + x^3 + x^4 + x^5 + x^7 + x^{10} + x^{11} + x^{12}$
$g_7(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^6 + x^9 + x^{11} + x^{12}$

Окончание таблицы 5

Примитивные полиномы кодера БЧХ для различных значений N_{bch}	
$g_8(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{12}$
$g_9(x)$	$1 + x + x^2 + x^4 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{11} + x^{12}$
$g_{10}(x)$	$1 + x + x^2 + x^7 + x^{10} + x^{11} + x^{12}$
Примитивные полиномы для $4096 \le N_{bch} < 8192$	
$g_1(x)$	$1 + x^9 + x^{10} + x^{12} + x^{13}$
$g_2(x)$	$1 + x^3 + x^4 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{13}$
$g_3(x)$	$1 + x^2 + x^5 + x^6 + x^9 + x^{12} + x^{13}$
$g_4(x)$	$1 + x^3 + x^4 + x^5 + x^7 + x^{10} + x^{11} + x^{12} + x^{13}$
$g_5(x)$	$1 + x + x^5 + x^6 + x^7 + x^8 + x^{13}$
$g_6(x)$	$1 + x^4 + x^5 + x^6 + x^8 + x^{12} + x^{13}$
$g_7(x)$	$1 + x + x^7 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{13}$
$g_8(x)$	$1 + x^4 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{12} + x^{13}$
$g_9(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^5 + x^6 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{12} + x^{13}$
$g_{10}(x)$	$1 + x + x^2 + x^4 + x^8 + x^{10} + x^{13}$
Примитивные полиномы для $8192 \le N_{bch} < 16384$	
$g_1(x)$	$1 + x + x^3 + x^5 + x^{14}$
$g_2(x)$	$1 + x^6 + x^8 + x^{11} + x^{14}$
$g_3(x)$	$1 + x + x^2 + x^6 + x^9 + x^{10} + x^{14}$
$g_4(x)$	$1 + x^4 + x^7 + x^8 + x^{10} + x^{12} + x^{14}$
$g_5(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{11} + x^{13} + x^{14}$
$g_6(x)$	$1 + x^3 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{13} + x^{14}$
$g_7(x)$	$1 + x^2 + x^5 + x^6 + x^7 + x^{10} + x^{11} + x^{13} + x^{14}$
$g_8(x)$	$1 + x^5 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{14}$
$g_9(x)$	$1 + x + x^2 + x^3 + x^9 + x^{10} + x^{14}$
$g_{10}(x)$	$1 + x^3 + x^6 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{12}$

Параметры канального кодирования и размеры кадров данных для всех каналов передачи данных приведены в таблице 6.

Таблица 6 — Параметры канального кодирования системы РАВИС

Примерная скорость кода	Некодированный блок БЧХ K_{bch}	Кодированный блок БЧХ N_{bch}. Некодированный блок LDPC K_{ldpc}	Коррекция t ошибок БЧХ-кода	$N_{bch} - K_{bch}$	Кодированный блок LDPC N_{ldpc} (число несущих в канале данных)
Канал основного сервиса (КОС), радиоканал 100 кГц					
1/2	3904	4024	10	120	8 036 КОС (196 несущих)
2/3	5232	5362		130	
3/4	5896	6026			
1/2	3368	3488		120	6 970 КОС (170 несущих) + НКД
2/3	4520	4650		130	
3/4	5096	5226			
1/2	3248	3368		120	6 724 КОС (164 несущие) + НСК
2/3	4352	4482		130	
3/4	4912	5042			

Окончание таблицы 6

Примерная скорость кода	Некодированный блок БЧХ K_{bch}	Кодированный блок БЧХ N_{bch}. Некодированный блок LDPC K_{ldpc}	Коррекция t ошибок БЧХ-кода	$N_{bch} - K_{bch}$	Кодированный блок LDPC N_{ldpc} (число несущих в канале данных)
1/2	2712	2832	10	120	5 658 КОС (138 несущих) + НСК + НКД
2/3	3656	3776		130	
3/4	4112	4242			
1/2	8056	8196		140	16 400 КОС (400 несущих)
2/3	10792	10932			
3/4	12160	12300			
1/2	7536	7666		130	15 334 КОС (374 несущие) + НКД
2/3	10088	10228		140	
3/4	11360	11500			
1/2	7416	7546		130	15 088 КОС (368 несущих) + НСК
2/3	9920	10060		140	
3/4	11176	11316			
1/2	6880	7010		130	14 022 КОС (342 несущие) + НСК + НКД
2/3	9208	9348		140	
3/4	10376	10516			
Канал основного сервиса (КОС), радиоканал 250 кГц					
1/2	10192	10332	10	140	20 664 КОС (504 несущие)
2/3	13640	13780			
3/4	15360	15500			
1/2	9664	9804		140	19 598 КОС (478 несущих) + НКД
2/3	12928	13068			
3/4	14560	14700			
1/2	9536	9676		140	19 352 КОС (472 несущие) + НСК
2/3	12760	12900			
3/4	14376	14516			
1/2	9008	9148		140	18 286 КОС (446 несущих) + НСК + НКД
2/3	12048	12188			
3/4	13576	13716			
Низкоскоростной канал (НСК)					
1/2	592	652	6	60	1 312 (32 несущие)
Надежный канал данных (НКД)					
1/2	472	532	6	60	1 066 (26 несущих)

Кодирование БЧХ входной битовой информационной последовательности $M = (m_0, m_1, \dots, m_{K_{bch}-2}, m_{K_{bch}-1})$ выполняют следующим образом:

- полином сообщения $m(x) = m_{K_{bch}-1} x^{K_{bch}-1} + m_{K_{bch}-2} x^{K_{bch}-2} + \dots + m_1 x + m_0$ умножают на $x^{N_{bch}-K_{bch}}$;
- $x^{N_{bch}-K_{bch}} m(x)$ делят на порождающий полином $g(x)$, остаток равен $d(x) = d_{N_{bch}-K_{bch}-1} x^{N_{bch}-K_{bch}-1} + \dots + d_1 x + d_0$;
- создают выходное кодовое слово I_{bch}, которое формирует информационное слово I_{bch} для кодирования с помощью кодов LDPC в соответствии со следующим выражением:

$$I_{bch} = (i_0, i_1, \dots, i_{N_{bch}-1}) = (d_0, d_1, d_{N_{bch}-K_{bch}-2}, d_{N_{bch}-K_{bch}-1}, \dots, m_0, m_1, \dots, m_{K_{bch}-2}, m_{K_{bch}-1}).$$

Примечание — Эквивалентный полином кодового слова имеет вид $c(x) = x^{N_{bch}-K_{bch}} m(x) + d(x)$.

5.6 Требования к внутреннему кодированию LDPC

Кодер LDPC обрабатывает выход внешнего кодирования $I_{bch} = (i_0, i_1, \ldots, i_{K_{ldpc}-1})$ как блок информации размером K_{ldpc} битов и систематически кодирует его в кодовое слово ^ размером N_{ldpc}, где ^ = $(\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_{N_{ldpc}-1}) = (i_0, i_1, \ldots, i_{K_{ldpc}-1}, p_0, p_1, \ldots, p_{N_{ldpc}-K_{ldpc}-1})$.

Параметры кода LDPC N_{ldpc}, K_{ldpc} приведены в таблице 6.

Задача кодера — определить $N_{ldpc} - K_{ldpc} = M_{ldpc}$ проверочных битов $(p_0, p_1, \ldots, p_{Mldpc-1})$ для каждого блока из K_{ldpc} информационных битов $(i_0, i_1, \ldots, i_{K_{ldpc}-1})$.

Матрица H, используемая для расчета проверочных битов кода LDPC, имеет M_{LDPC} строк, K_{LDPC} столбцов и содержит относительно малое число ненулевых элементов $h_{n,m} = 1$, нерегулярно распределенных по строкам и столбцам.

Правило получения каждого из проверочных битов записывают в форме:

$$p_l = \sum_{j=1}^{K_{ldpc}} h_{l,j} i_j + p_{l-1}, \; l = 1, \ldots, M_{ldpc}, \; p_0 = \sum_{j=1}^{K_{ldpc}} h_{0,j} i_j.$$

Кодирование осуществляют с использованием матрицы H соответствующей размерности.

Процедура формирования матриц H для всех используемых параметров кода LDPC приведена в приложении Е.

5.7 Требования к битовому перемежению

Выход ^ кодера LDPC подвергают побитовому перемежению, которое представляет собой перемежение со сдвигом начала столбцов.

При перемежении со сдвигом начала столбцов биты данных λ_j, поступающие от кодера LDPC, последовательно записывают в перемежитель по столбцам и последовательно считывают по строкам (старший бит заголовка ПКД считывают первым), как показано на рисунке 4. Запись стартовой позиции каждого столбца сдвигают на t_c в соответствии с таблицей 7, в которой представлены значения t_c для $c = 0, \ldots, 11$; для остальных значений $t_c = t_{c \bmod 12}$.

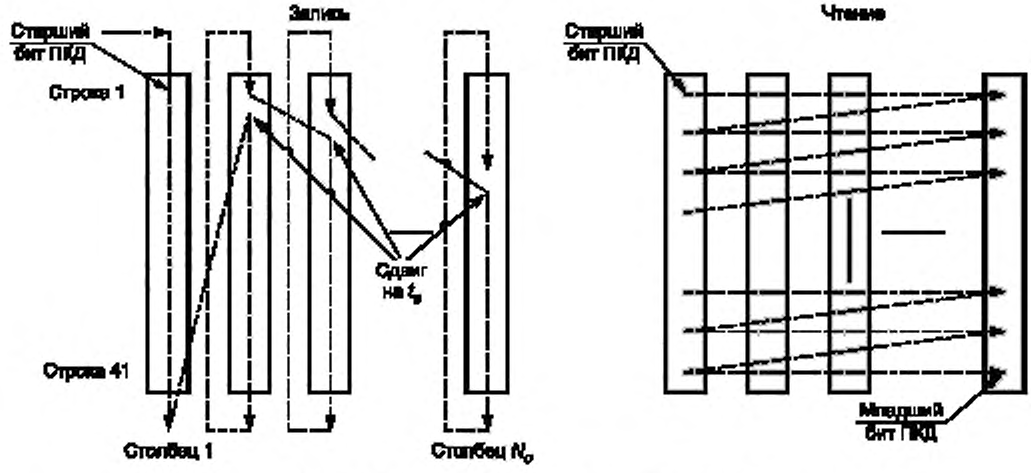

Рисунок 4 — Процедура битового перемежения

Число строк побитового перемежителя $N_r = 41$, число столбцов $N_c = N_{ldpc}$ div N_r.

Модуль перемежения определен следующим образом:

- входной бит λ_j с индексом i, при $0 \le \lambda < N_{ldpc}$ записывают в столбец c_j, строку r_j модуля перемежения, где $c_i = i$ div N_r,

$r_i = (i \bmod N_r + t_{c_i \bmod 12}) \bmod N_r$;

- выходной бит v_j с индексом j для $0 \le j < N_{ldpc}$ считывают из строки r_j, столбец c_j, где $r_j = j$ div N_c.

$c_j = j \bmod N_c$.

Таблица 7 — Сдвиг стартовой позиции столбца записи при битовом перемежении

Номер столбца c	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Параметр сдвига t_c	0	2	5	9	9	13	17	19	19	23	31	37

5.8 Требования к отображению битов на ячейки

Один или несколько ПКД должны быть преобразованы в кодированный и модулированный БПД. Для этого поток входных битов сначала разделяют на кодовые слова ячеек, а затем эти слова отображают на модуляционное созвездие. Эффективное число битов на ячейку модуляции η_{MOD} приведено в таблице 8. БПД состоит из η_{MOD} ПКД, таким образом, число ячеек выходных данных в БПД равно N_{ldpc}.

Таблица 8 — Число битов на ячейку модуляции

Тип модуляции	Число битов на ячейку η_{MOD}
64-QAM	6
16-QAM	4
QPSK	2
BPSK	1

Разделение последовательности битов на модулирующие значения ячеек осуществляют следующим образом: битовый поток λ_i, поступающий от битового перемежителя, разделяют (демультиплексируют) на $N_{substreams}$ подпотоков, как показано на рисунке 5, значение $N_{substreams} = \eta_{MOD}$.

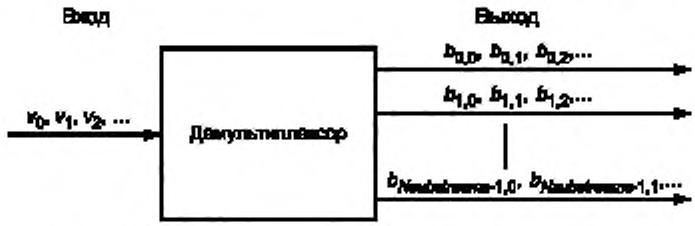

Рисунок 5 — Демультиплексирование потока битов на подпотоки

Разделение потока битов определяют как отображение побитово перемеженных входных битов v_i на выходные биты $b_{e,j}$,

где $j = i$ div $N_{substreams}$,

e — индексы битов, демультиплексированных на подпотоки, ($0 \le e < N_{substreams}$), которые зависят от значения i в соответствии с тем, как определено в таблице 9;

v_i — вход демультиплексора;

i — индекс бита во входном потоке;

$b_{e,j}$ — выход демультиплексора,

j — индекс бита в заданном потоке на выходе демультиплексора.

Таблица 9 — Зависимости номеров входных и выходных битов демультиплексора

Формат модуляции	Соответствие битов						
QPSK	Номер входного бита i div $N_{substreams}$	0	1				
	Номер выходного бита e	0	1				
16-QAM	Номер входного бита i div $N_{substreams}$	0	1	2	3		
	Номер выходного бита e	3	1	0	2		
64-QAM	Номер входного бита i div $N_{substreams}$	0	1	2	3	4	5
	Номер выходного бита e	5	1	3	4	0	2

5.9 Требования к отображению ячеек на созвездие

Каждое кодовое слово ячеек $[y_{i,q},..., y_{\eta MOD-1q}] = [b_{i,q},...,b_{\eta MOD-1q}]$, поступающее от демультиплексора, должно быть отображено на точку созвездия одного из типов: BPSK, QPSK, 16-QAM или 64-QAM — для получения точки созвездия z_q до нормализации.

Точные значения действительных и мнимых компонентов $\mathrm{Re}(z_q)$ и $\mathrm{Im}(z_q)$ для каждой комбинации соответствующих входных битов $y_{i,q}$ приведены для различных созвездий в таблице 10.

Таблица 10 — Отображение битов ячеек на точки созвездия

Созвездие	Отображение							
BPSK	$y_{0,q}$	1				0		
	$\mathrm{Re}(z_q)$	−1				1		
	$\mathrm{Im}(z_q)$	0				0		
QPSK	$y_{0,q}$	1				0		
	$\mathrm{Re}(z_q)$	−1				1		
	$y_{1,q}$	1				0		
	$\mathrm{Im}(z_q)$	−1				1		
16-QAM	$y_{0,q}$ $y_{2,q}$	1 0		1 1		0 1		0 0
	$\mathrm{Re}(z_q)$	−3		−1		1		3
	$y_{1,q}$ $y_{3,q}$	1 0		1 1		0 1		0 0
	$\mathrm{Im}(z_q)$	−3		−1		1		3
64-QAM	$y_{0,q}$ $y_{2,q}$ $y_{4,q}$	1 0 0	1 0 1	1 1 1	1 1 0	0 1 0	0 1 1	0 0 1	0 0 0
	$\mathrm{Re}(z_q)$	−7	−5	−3	−1	1	3	5	7
	$y_{1,q}$ $y_{3,q}$ $y_{5,q}$	1 0 0	1 0 1	1 1 1	1 1 0	0 1 0	0 1 1	0 0 1	0 0 0
	$\mathrm{Im}(z_q)$	−7	−5	−3	−1	1	3	5	7

Созвездия и детализация применяемого к ним отображения показаны на рисунке 6.

Точки созвездия z_q для каждого входного кодового слова ячеек $[y_{i,q},...,y_{\eta MOD-1}]$ нормализуют в соответствии с таблицей 11 для получения точного комплексного значения ячейки, которое должно использоваться при модуляции.

Таблица 11 — Коэффициенты нормализации точек созвездия

Модуляция	Нормирующий коэффициент
BPSK	z_q
QPSK	$z_q/\sqrt{2}$
16-QAM	$z_q/\sqrt{10}$
64-QAM	$z_q/\sqrt{42}$

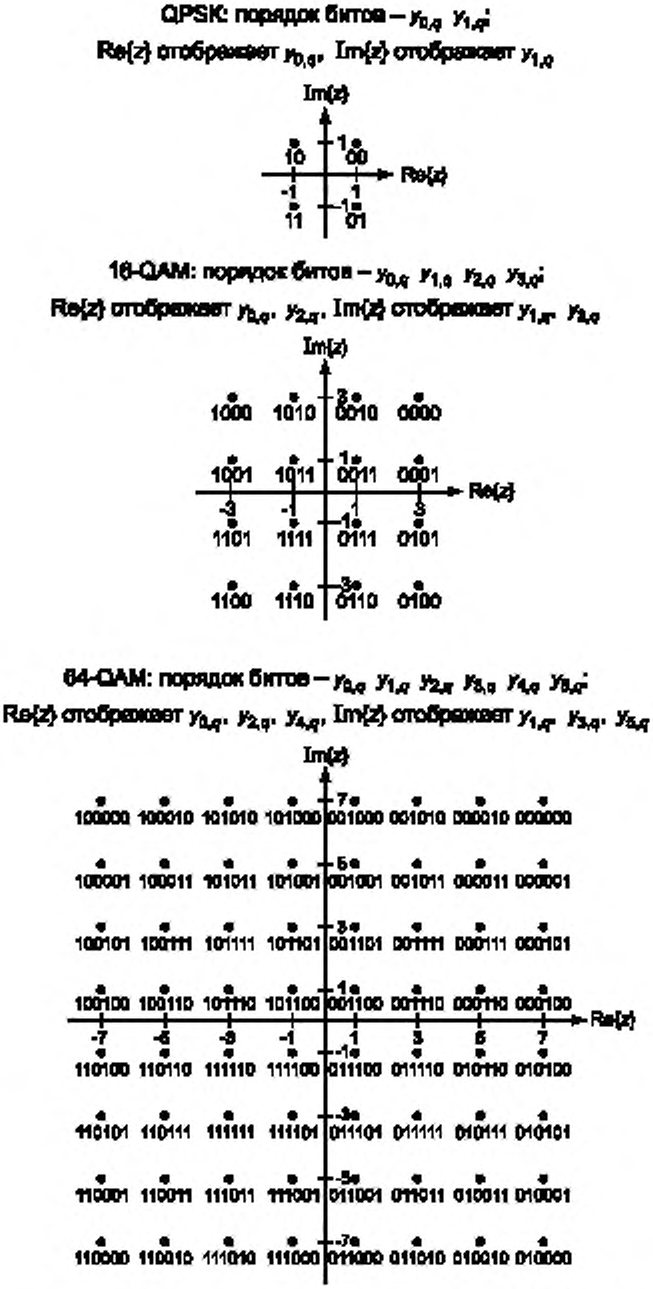

Рисунок 6 — Отображение битов ячеек на созвездия QPSK, 16-QAM и 64-QAM

5.10 Требования к перемежению ячеек

Псевдослучайный перемежитель ячеек должен равномерно распределять ячейки в БПД, чтобы обеспечивать в приемнике декорреляцию канальных искажений и сдвигать последовательность перемежения в БПД на протяжении одного блока временно́го перемежения (ББП, см. 5.11).

Вход перемежителя ячеек ($g_{r,0}, g_{r,1},\ldots, g_{r,N_{cells}-1}$) должен представлять собой ячейки данных БПД с индексом ***r***, сформированного с помощью созвездия, *r* обозначает увеличивающийся индекс БПД внутри БВП. Этот индекс сбрасывают в нуль в начале каждого БВП. Выход перемежителя ячеек должен представлять собой вектор ($d_{r,0}, d_{r,1},\ldots d_{r,N_{cells}-1}$), определенный выражением:

$$d_{r,Lrq} = g_{r,q} \text{ для каждого } q = 0, 1, \ldots, N_{cells} - 1,$$

где N_{cells} — число выходных ячеек данных на БПД (равное N_{ldpc}) и

$L_r(q)$ — функция перестановки, применяемая к *r*-му БПД в рамках БВП.

Функцию $L_r(q)$ определяют следующим образом: $L_r(q) = (q\,K_r) \bmod N_{cells}$. Значения K_r приведены в таблице 12.

Таблица 12 — Значения K_r для функции перестановки $L_r(q)$

r	0	1	2	3	4	5
K_r	99259	99401	99559	99679	99793	99901

5.11 Требования к временно́му перемежению

БВП состоит из одного или нескольких БПД. Его отображают на целое число (один или несколько) кадров OFDM. Длительность БВП N_T, выраженная в кадрах OFDM, передается в ППС, $N_T = 1, \ldots, 6$.

Временно́й перемежитель представляет собой строчно-столбцовый блоковый перемежитель, число столбцов $N_{Tc} = 41$ в перемежителе равно числу символов в кадре OFDM. Графическое представление временно́го перемежителя показано на рисунке 7. Данные ячеек записывают в столбцы, а считывают построчно.

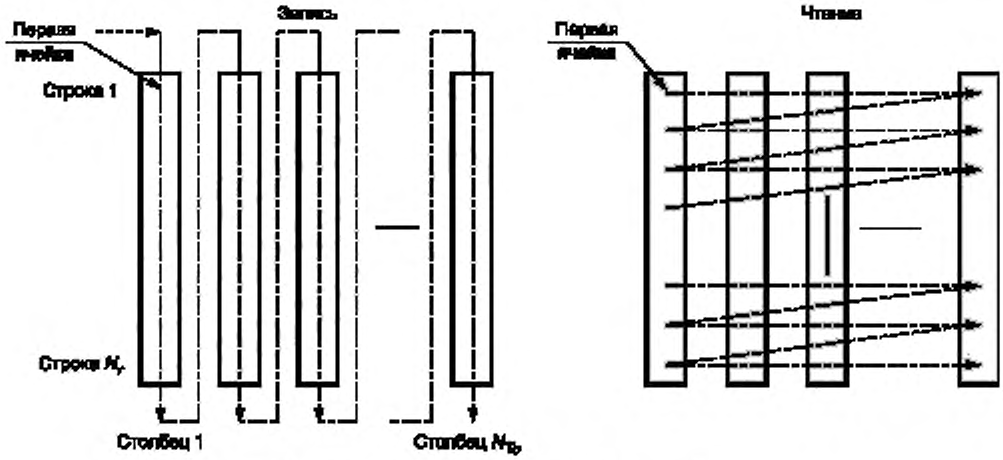

Рисунок 7 — Схема временно́го перемежителя

Число строк временно́го перемежителя $N_{Tr} = (N_{cells} \cdot N_T)$ div N_{Tc}.

Модуль перемежения определен следующим образом:

- входную ячейку u_{Ti} с индексом *i* при $0 \le i < (N_{cells} \cdot N_T)$ записывают в столбец c_{Ti}, строку r_{Ti} модуля перемежения,

где $c_{Ti} = i$ div N_{Tr},

$r_{Ti} = i \bmod N_{Tr}$;

- выходную ячейку v_{Tj} с индексом *j* для $0 \le j < (N_{cells} \cdot N_T)$ считывают из строки r_{Tj}, столбец c_{Tj},

где $r_{Tj} = j$ div N_{Tc},

$c_{Tj} = j \bmod N_{Tc}$.

5.12 Требования к общей схеме OFDM-модуляции

После блоков перемежения цифровые потоки логических каналов данных КОС, НСК и НКД поступают на блок отображения данных на несущие OFDM (см. рисунок 1). Общее число и распределение несущих для различных полос радиоканала приведено в таблице 13.

Таблица 13 — Распределение несущих при различных полосах радиоканала

Полоса радиоканала Δf, кГц	Общее число несущих OFDM K_{total}	Число несущих				
		Пилотных	ППС	КОС	НСК	НКД
100	215	15 (8 рассеянных, 7 повторяющихся)	4	196	—	—
				170	—	26
				164	32	—
				138	32	26
200	439	35 (22 рассеянных, 13 повторяющихся)		400	—	—
				374	—	26
				368	32	—
				342	32	26
250	553	45 (28 рассеянных, 17 повторяющихся)		504	—	—
				478	—	26
				472	32	—
				446	32	26

При OFDM-модуляции проводят разбиение цифровых потоков логических каналов данных на блоки длиной L = 41 символ комплексной модуляции z_q, причем каждый такой символ имеет длину n_{MOD} битов (см. таблицу 8). Далее в соответствии с кодом Грея осуществляют отображение z_q на информационные несущие OFDM-символа в соответствии с выбранным вариантом модуляции несущих — BPSK, QPSK, 16-QAM или 64-QAM. Диаграммы отображения кода Грея для QPSK, 16-QAM и 64-QAM вариантов модуляции несущих представлены на рисунке 6.

После отображения данных логических каналов на информационные несущие осуществляют частотное перемежение, которое делает распределение логических каналов по несущим псевдослучайным, что позволяет повысить устойчивость системы передачи данных к селективным замираниям.

Помимо информационных несущих в состав OFDM-символа вводят также пилотные несущие и несущие ППС. Пилотные несущие передают на повышенном уровне мощности. Фазы пилотных несущих задают в соответствии с опорной псевдослучайной двоичной последовательностью равными 0° либо 180°.

Пилотные несущие вводят в состав OFDM-символа с целью обеспечения на принимающей стороне возможности синхронизации сигнала и оценки характеристик канала передачи. Пилотные несущие составляют около 9 % общего числа несущих (см. таблицу 13).

Несущие ППС вводят с целью непосредственной передачи информации о ключевых параметрах передаваемого сигнала (наличие логических каналов данных, скорость LDPC-кода, тип QAM-созвездия, длина защитного интервала и пр.). В каждом символе OFDM передают четыре несущих ППС.

OFDM-символ, полученный после введения пилотных несущих и несущих ППС, подвергают обратному преобразованию Фурье, которое преобразовывает символ из частотной области во временну́ю. Затем в начало символа вводят защитный интервал длительностью T_G. В защитный интервал копируют последние $N_{symb} \cdot T_G/T_U$ отсчетов полезной части символа, где N_{symb} — длина полезной части символа (в отсчетах), T_U — длительность полезного символа (в секундах). В системе предусмотрен защитный интервал с длительностью $T_U/8$.

Полученную последовательность временны́х отчетов ограничивают, масштабируют и квантуют в соответствии с разрядностью ЦАП.

Перед обратным преобразованием Фурье может проводиться операция, направленная на снижение пик-фактора сигнала.

При использовании разнесенной передачи перед введением защитного интервала блок внесения задержки формирует несколько сигналов с необходимыми временны́ми задержками.

5.13 Требования к кадровой структуре OFDM

Передаваемый сигнал должен быть организован в виде последовательности кадров. Кадр имеет длительность T_F и состоит из L = 41 OFDM-символов. OFDM-символ имеет длительность T_S и состоит из защитного интервала длительностью T_G и полезной части длительностью T_U ($T_S = T_U + T_G$). Защитный интервал является циклическим префиксом полезной части T_U, его длительность — $T_U/8$.

OFDM-символы содержат полезную информацию (о данных) и опорную информацию (пилотные и ППС-несущие). Символы в кадре OFDM пронумерованы от 0 до 40.

Ключевые параметры блока OFDM-модуляции системы приведены в таблице 14.

Таблица 14 — Ключевые параметры модуляции OFDM системы РАВИС

Параметр	Значение		
Полоса радиоканала Δf, кГц	100	200	250
Число несущих K_{total}	215	439	553
Длительность полезной части символа T_U, мкс	2250		
Расстояние между соседними несущими $1/T_U$, Гц	$\frac{4000}{9} = 444\frac{4}{9}$		
Расстояние между крайними несущими спектра $(K_{total} - 1)/T_U$, кГц (примерное значение)	95,1	194,7	245,3
Длительность защитного интервала T_G, мкс	281,25		
Длительность символа $T_S = T_U + T_G$, мкс	2531,25		

Математическая модель сигнала $s(t)$ описывается выражением:

$$s(t) = \mathrm{Re}\left\{ e^{j 2\pi f_c t} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{k=K_{min}}^{K_{max}} C_{m,l,k} \cdot \psi_{m,l,k}(t) \right\}, \quad (1)$$

где $\psi_{m,l,k}(t) = \begin{cases} e^{j 2\pi \frac{k'}{T_U}(t - T_G - lT_S - L \cdot m \cdot T_S)}, \\ 0, \end{cases}$ $(l + L \cdot m)T_S \le t \le (l + L \cdot m + 1)T_S$; иначе,

K_{min} — нижний предел индекса несущей, $K_{min} = 0$;

K_{max} — верхний предел индекса несущей, $K_{max} = K_{total} - 1$;

L — число символов OFDM в кадре, $L = 41$;

k — индекс несущей;

k' — индекс несущей относительно центральной частоты, $k' = k - (K_{max} + K_{min})/2$;

l — индекс символа OFDM в кадре;

m — индекс передаваемого кадра;

f_c — центральная частота спектра сигнала;

$C_{m,l,k}$ — комплексный коэффициент, модулирующий k-ю несущую l-го символа в m-м кадре OFDM.

С целью нормирования выходного уровня сигнала в системе предусмотрены коэффициенты нормализации величин $C_{m,l,k}$. Применение этих коэффициентов нормирует к единице суммарную мощность модуляционного алфавита информационных несущих сигнала (см. рисунок 6). В таблице 11 представлены значения этих коэффициентов для всех режимов модуляции.

5.14 Требования к частотному перемежению

Частотное перемежение, которое выполняют после отображения данных логических каналов на информационные несущие, делает распределение логических каналов по несущим псевдослучайным. Такое распределение позволяет повысить устойчивость низкоскоростных каналов данных НСК и НКД к селективным замираниям.

Модулированные ячейки данных каналов НСК и НКД отображают псевдослучайным образом на информационные несущие OFDM с индексами $k' = \pm 1, \ldots \pm 106$ относительно центральной несущей радиоканала.

Индексы информационных несущих, на которых передают данные каналов НСК и НКД для всех символов в кадре OFDM и для всех вариантов присутствия данных каналов НСК и НКД, представлены в таблице 15. Индекс символа следует брать по модулю 7, т. е. $l' = l \bmod 7$.

Таблица 15 — Индексы информационных несущих каналов НКД и НСК

Индекс символа OFDM $l' = l \bmod 7$	Индексы информационных несущих каналов НКД и НСК относительно центральной несущей радиоканала k'		
	НКД	НСК при отсутствии НКД	НСК при наличии НКД
0	– 103, – 101, – 98, – 92, – 78, – 67, – 64, – 43, – 24, – 23, – 21, – 16, – 13, 11, 13, 29, 32, 36, 39, 67, 71, 74, 76, 96, 101, 102	– 105, – 87, – 86, – 82, – 78, – 77, – 66, – 52, – 48, – 42, – 41, – 31, – 29, – 26, – 9, – 2, – 1, 1, 7, 24, 33, 34, 44, 59, 68, 69, 71, 79, 82, 87, 96, 104	– 106, – 99, – 96, – 79, – 77, – 52, – 49, – 34, – 28, – 22, – 18, – 9, – 6, – 4, 1, 8, 9, 12, 18, 19, 41, 42, 43, 44, 47, 56, 63, 66, 72, 79, 92, 104
1	– 99, – 94, – 93, – 84, – 78, – 77, – 69, – 58, – 57, – 56, – 36, – 29, – 26, 11, 14, 18, 29, 31, 32, 41, 59, 82, 86, 93, 96, 97	– 106, – 84, – 79, – 64, – 59, – 56, – 21, – 13, – 11, – 8, – 3, 2, 3, 4, 9, 18, 29, 33, 38, 46, 47, 49, 56, 63, 67, 68, 83, 84, 89, 94, 96, 99	– 104, – 97, – 96, – 88, – 79, – 68, – 66, – 62, – 59, – 54, – 53, – 51, – 18, – 12, – 7, – 6, – 1, 2, 9, 13, 17, 19, 24, 28, 33, 36, 39, 58, 62, 79, 92, 104
2	– 105, – 97, – 92, – 78, – 74, – 64, – 53, – 43, – 31, – 28, – 4, – 3, – 2, 19, 24, 38, 43, 49, 53, 59, 67, 68, 84, 92, 94, 99	– 99, – 79, – 78, – 66, – 58, – 53, – 46, – 39, – 28, – 21, – 14, – 13, – 8, – 6, – 4, – 1, 3, 6, 17, 21, 24, 26, 31, 32, 36, 42, 49, 74, 84, 87, 92, 98	– 106, – 94, – 76, – 72, – 69, – 68, – 62, – 59, – 49, – 42, – 21, – 14, – 12, 1, 3, 6, 14, 22, 23, 26, 29, 32, 47, 52, 64, 66, 69, 74, 76, 83, 86, 88
3	– 101, – 82, – 76, – 64, – 58, – 49, – 46, – 41, – 32, – 24, – 13, – 4, 31, 43, 52, 56, 57, 59, 68, 69, 72, 89, 91, 92, 96, 105	– 101, – 94, – 86, – 69, – 67, – 62, – 59, – 53, – 52, – 51, – 46, – 33, – 32, – 14, – 13, – 11, 14, 16, 18, 22, 24, 26, 34, 36, 54, 56, 61, 63, 67, 71, 89, 104	– 106, – 103, – 97, – 86, – 83, – 74, – 71, – 61, – 57, – 44, – 36, – 31, – 26, – 8, – 7, 1, 4, 9, 11, 12, 24, 36, 38, 44, 49, 54, 64, 67, 79, 88, 94, 103
4	– 89, – 86, – 76, – 71, – 67, – 56, – 44, – 43, – 42, – 22, – 13, – 11, – 6, 4, 14, 16, 19, 26, 32, 36, 43, 44, 78, 93, 96, 105	– 104, – 103, – 98, – 93, – 83, – 76, – 74, – 72, – 69, – 63, – 59, – 43, – 41, – 33, – 11, – 8, – 7, 13, 19, 32, 33, 36, 48, 49, 54, 62, 63, 76, 78, 88, 89, 92	– 104, – 102, – 93, – 91, – 88, – 87, – 78, – 77, – 63, – 62, – 51, – 49, – 48, – 24, 1, 6, 13, 21, 24, 28, 34, 41, 47, 48, 58, 76, 82, 84, 86, 97, 99, 104
5	– 89, – 87, – 69, – 64, – 52, – 13, – 7, – 4, – 1, 3, 8, 11, 14, 24, 26, 31, 41, 53, 72, 77, 78, 84, 86, 99, 101, 105	– 105, – 98, – 94, – 86, – 78, – 77, – 71, – 64, – 63, – 59, – 51, – 44, – 41, – 34, – 23, – 16, – 14, – 1, 7, 14, 33, 34, 41, 47, 53, 59, 77, 78, 87, 97, 101, 103	– 105, – 93, – 91, – 84, – 83, – 76, – 51, – 48, – 46, – 38, – 22, – 16, 2, 6, 9, 17, 19, 22, 28, 36, 39, 43, 44, 51, 52, 57, 58, 68, 69, 74, 91, 94
6	– 92, – 88, – 84, – 56, – 51, – 48, – 42, – 32, – 31, – 21, – 18, – 7, – 6, – 4, 9, 11, 32, 44, 52, 54, 57, 82, 83, 86, 88, 101	– 91, – 84, – 68, – 54, – 46, – 36, – 34, – 31, – 29, – 24, – 18, – 14, – 4, – 3, 11, 12, 14, 21, 34, 42, 47, 48, 56, 58, 62, 77, 79, 88, 89, 91, 99, 103	– 103, – 98, – 97, – 87, – 83, – 82, – 74, – 69, – 66, – 54, – 36, – 26, – 23, – 14, – 12, – 11, – 9, 14, 18, 24, 26, 29, 33, 34, 39, 43, 59, 66, 69, 94, 102, 103

После отображения данных каналов НСК и НКД модулированные ячейки данных канала КОС отображают на информационные несущие с индексами $k = K_{min} + K_{max} - 1$ последовательно, за исключением информационных несущих, уже занятых каналами НСК и НКД.

5.15 Требования к пилотным несущим

Назначение пилотных несущих — передача дополнительной (опорной) информации, с помощью которой на приемной стороне осуществляют синхронизацию, а также оценивают характеристики канала передачи. Пилотные несущие передают на повышенном уровне мощности. Пилотные несущие делят на два типа: 1) повторяющиеся и 2) рассеянные. Положение повторяющихся пилотных несущих в спектре сигнала не зависит от номера символа в кадре, а положение рассеянных — зависит. Фазы пилотных несущих могут принимать значения 0° или 180° в соответствии с опорной последовательностью. Мощность пилотных несущих составляет 16/9, в то время как средняя мощность информационных несущих и несущих ППС в соответствии с коэффициентом нормирования равна 1.

5.15.1 Определение опорной последовательности

Опорная последовательность w_k является ПСДП с порождающим полиномом $x^{11} + x^2 + 1$. Схема генератора, реализующего данный полином, приведена на рисунке 8.

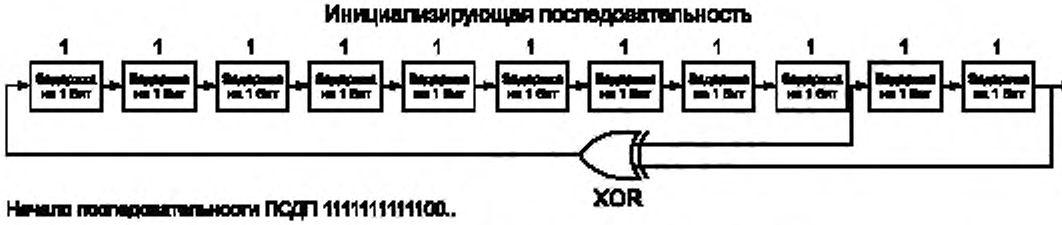

Рисунок 8 — Схема генератора опорной последовательности

Фазы пилотных несущих, а также фазы ППС-несущих определяют на основе значений w_k, генерируемых данной ПСДП. Значение 0 соответствует фазе 0°, значение 1 соответствует фазе 180°.

При инициализации генератора опорной последовательности все регистры выставляют в «1» (см. рисунок 8). Каждой k-й несущей символа ставится в соответствие бит w_k. Инициализацию осуществляют в начале каждого символа OFDM.

5.15.2 Расположение рассеянных пилотных несущих

Индексы рассеянных пилотных несущих определены в таблице 16.

Примечание — Если совместить центральные несущие при различных полосах радиоканала, то пилотные несущие более узкого радиоканала окажутся подмножеством пилотных несущих более широкого радиоканала.

Рассеянные пилотные несущие усиливают по мощности и их фазы задают в соответствии с опорной последовательностью w_k по формуле

$$\mathrm{Re}\{C_{m,l,k}\} = \frac{4}{3} \cdot 2\left(\frac{1}{2} - w_k\right);$$

$$\mathrm{Im}\{C_{m,\,l,\,k}\} = 0, \qquad (2)$$

где m — индекс кадра;

l — индекс символа в кадре;

k — индекс несущей в символе.

Таблица 16 — Индексы рассеянных пилотных несущих

Полоса радиоканала Δf, кГц	Индекс центральной несущей	Число рассеянных пилотных несущих	Индекс символа, $l' = l \bmod 5$	Индексы рассеянных пилотных несущих относительно центральной несущей k'
100	107	8	0	– 85, – 60, – 35, – 10, 15, 40, 65, 90
			1	– 80, – 55, – 30, – 5, 20, 45, 70, 95
			2	– 100, – 75, – 50, – 25, 25, 50, 75, 100
			3	– 95, – 70, – 45, – 20, 5, 30, 55, 80
			4	– 90, – 65, – 40, – 15, 10, 35, 60, 85
200	219	22	0	– 213, – 199, – 185, – 171, – 157, – 143, – 129, – 85, – 60, – 35, – 10, 15, 40, 65, 90, 113, 127, 141, 155, 169, 183, 197
			1	– 209, – 195, – 181, – 167, – 153, – 139, – 125, – 80, – 55, – 30, – 5, 20, 45, 70, 95, 117, 131, 145, 159, 173, 187, 201
			2	– 205, – 191, – 177, – 163, – 149, – 135, – 121, – 100, – 75, – 50, – 25, 25, 50, 75, 100, 121, 135, 149, 163, 177, 191, 205
			3	– 201, – 187, – 173, – 159, – 145, – 131, – 117, – 95, – 70, – 45, – 20, 5, 30, 55, 80, 125, 139, 153, 167, 181, 195, 209
			4	– 197, – 183, – 169, – 155, – 141, – 127, – 113, – 90, – 65, – 40, – 15, 10, 35, 60, 85, 129, 143, 157, 171, 185, 199, 213

Окончание таблицы 16

Полоса радиоканала Δf, кГц	Индекс центральной несущей	Число рассеянных пилотных несущих	Индекс символа $l' = l \bmod 5$	Индексы рассеянных пилотных несущих относительно центральной несущей k'
250	276	28	0	– 269, – 255, – 241, – 213, – 199, – 185, – 171, – 157, – 143, – 129, – 85, – 60, – 35, – 10, 15, 40, 65, 90, 113, 127, 141, 155, 169, 183, 197, 225, 239, 253
			1	– 265, – 251, – 237, – 209, – 195, – 181, – 167, – 153, – 139, – 125, – 80, – 55, – 30, – 5, 20, 45, 70, 95, 117, 131, 145, 159, 173, 187, 201, 229, 243, 257
			2	– 261, – 247, – 233, – 205, – 191, – 177, – 163, – 149, – 135, – 121, -100, -75, -50, -25, 25, 50, 75, 100, 121, 135, 149, 163, 177, 191, 205, 233, 247, 261
			3	– 257, – 243, – 229, – 201, – 187, – 173, – 159, – 145, – 131, – 117, – 95, – 70, – 45, – 20, 5, 30, 55, 80, 125, 139, 153, 167, 181, 195, 209, 237, 251, 265
			4	– 253, – 239, – 225, – 197, – 183, – 169, – 155, – 141, – 127, – 113, – 90, – 65, – 40, – 15, 10, 35, 60, 85, 129, 143, 157, 171, 185, 199, 213, 241, 255, 269

5.15.3 Расположение повторяющихся пилотных несущих

Индексы повторяющихся пилотных несущих определены в таблице 17.

Примечание — Если совместить центральные несущие при различных полосах радиоканала, то пилотные несущие более узкого радиоканала окажутся подмножеством пилотных несущих более широкого радиоканала.

Таблица 17 — Индексы повторяющихся пилотных несущих

Полоса радиоканала Δf, кГц	Индекс центральной несущей	Число повторяющихся пилотных несущих	Индексы повторяющихся пилотных несущих относительно центральной несущей k'
100	107	7	0; ± 37; ± 73; ± 107
200	219	13	0; ± 37; ± 73; ± 107; ± 147; ± 184; ± 219
250	276	17	0; ± 37; ± 73; ± 107; ± 147; ± 184; ± 219; ± 249; ± 276

Все повторяющиеся пилотные несущие модулируют согласно опорной последовательности.

Повторяющиеся пилотные несущие усиливают по мощности и их фазы задают в соответствии с опорной последовательностью w_k по формуле

$$\mathrm{Re}\{C_{m,l,k}\} = \frac{4}{3} \cdot 2\left(\frac{1}{2} - w_k\right), \qquad (3)$$

$$\mathrm{Im}\{C_{m,\,l,\,k}\} = 0.$$

5.16 Требования к несущим ППС

Несущие ППС предназначены для передачи параметров сигнала, связанных с режимом передачи, параметрами канального кодирования канала и модуляции.

Информацию ППС передают параллельно на четырех несущих. Каждая несущая ППС в одном и том же символе передает один и тот же дифференциально кодированный информационный бит. Индексы этих несущих относительно центральной несущей радиоканала k' равны ± 27 и ± 81 для всех вариантов ширины полосы радиоканала.

Несущие ППС обеспечивают передачу следующей информации:
- типа модуляционного созвездия КОС;
- скорости канального кодирования КОС;
- числа кадров временно́го перемежения КОС;
- номера кадра временно́го перемежения КОС.

Инициализацию фазы ППС-несущих осуществляют для каждого кадра OFDM. Для инициализации фазы ППС-несущих первого символа кадра используют опорную последовательность w_k.

Блок данных ППС соответствует одному кадру OFDM и содержит 41 бит, которые определены следующим образом:

27 информационных битов;

14 избыточных битов для защиты от ошибок.

5.16.1 Формат передачи ППС-информации

Информацию ППС следует передавать в соответствии с таблицей 18. Первым передают бит s_0. Первые три бита задают номер версии и должны быть установлены в 0. При изменении версии возможно изменение значений остальных полей информации ППС.

Тип модуляционного созвездия КОС передают двумя битами в соответствии с таблицей 19.

Скорость канального кода КОС кодируют тремя битами в соответствии с таблицей 20.

Число кадров временно́го перемежения КОС N_T передают тремя битами s_8, s_9, s_{10} (значения 000, 111 заразервированы). Индекс текущего кадра перемежения также передают тремя битами s_{11}, s_{12}, s_{13}. Индекс меняется в диапазоне от 0 до $N_T - 1$ (значения 110, 111 заразервированы).

Биты s_{14}, s_{15} указывают наличие (значение 1) или отсутствие (значение 0) в кадре OFDM данных логических каналов НСК и НКД соответственно.

Таблица 18 — Информация ППС

Номер бита	Формат	Цель/содержание
s_0, s_1, s_2	000	Версия
s_3, s_4	См. таблицу 19	Тип QAM-созвездия КОС
s_5, s_6, s_7	См. таблицу 20	Скорость кода КОС
s_8, s_9, s_{10}	Двоичное значение; 000, 111 — заразервированы	Число кадров временно́го перемежения КОС
s_{11},s_{12}, s_{13}	Двоичное значение; 110, 111 — заразервированы	Индекс кадра временно́го перемежения КОС
s_{14}	Флаг присутствия данных НСК	Наличие данных НСК
s_{15}	Флаг присутствия данных НКД	Наличие данных НКД
s_{16}, s_{17}	См. таблицу 21	Ширина полосы радиоканала
s_{18}—s_{26}	Установлены в 0	Зарезервировано
s_{27}—s_{40}	Код БЧХ	Защита от ошибок

Таблица 19 — Кодирование типа QAM-созвездия КОС

Биты s_3, s_4	Тип созвездия
00	QPSK
01	16-QAM
10	64-QAM
11	Зарезервировано

Таблица 20 — Кодирование скорости кода КОС

Биты s_5, s_6, s_7	Скорость кода
000	1/2
001	2/3
010	3/4
011—111	Зарезервировано

Таблица 21 — Кодирование ширины полосы радиоканала

Биты s_{16}, s_{17}	Ширина полосы радиоканала, кГц
00	Зарезервировано
01	100
10	200
11	250

5.16.2 Помехоустойчивое кодирование информации ППС

К 27 битам s_0—s_{26} добавляют 14 проверочных битов сокращенного кода БЧХ (41, 27, t = 2), вычисленного из исходного систематического кода БЧХ (127, 113, t = 2).

Порождающий полином этого кода: $g(x) = x^{14} + x^9 + x^8 + x^6 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$.

5.16.3 Модуляция ППС-несущих

Несущие ППС передают с уровнем мощности, равным 1.

Несущие ППС передают с разностно-фазовой модуляцией (DBPSK) с инициализацией в начале каждого кадра OFDM.

Разностно-фазовую модуляцию ППС-несущей с номером k символа l ($l > 0$) в кадре m осуществляют в соответствии с правилом:

- если $s_j = 0$, то $\mathrm{Re}\{C_{m,\,l,\,k}\} = \mathrm{Re}\{C_{m,\,l-1,\,k}\}$ и $\mathrm{Im}\{C_{m,\,l,\,k}\} = 0$;
- если $s_j = 1$, то $\mathrm{Re}\{C_{m,\,l,\,k}\} = -\mathrm{Re}\{C_{m,\,l-1,\,k}\}$ и $\mathrm{Im}\{C_{m,\,l,\,k}\} = 0$;

где s_j — текущий кодируемый бит.

Начальную фазу несущих ППС в первом символе кадра определяют на основе опорной последовательности w_k по формуле

$$\mathrm{Re}\{C_{m,0,k}\} = 2\left(\frac{1}{2} - w_k\right),$$
$$\mathrm{Im}\{C_{m,\,0,\,k}\} = 0. \qquad (4)$$

5.17 Определение скорости полезного информационного потока

Скорость полезного битового потока различных логических каналов данных R_i (КОС, НСК, НКД) определяют по формуле

$$R_i = \frac{K_{inf\,i}\,\eta_{MOD} R_{FEC} R_{DF}}{T_U\,(1 + T_G / T_U)}, \qquad (5)$$

где $K_{inf\,i}$ — число информационных несущих логического канала i;

η_{MOD} — число битов информации, передаваемых на одной несущей (см. таблицу 8);

$R_{FEC} = K_{bch}/N_{ldpc}$ — скорость помехоустойчивого кодирования, равная отношению числа битов в КД к числу битов в ПКД (см. таблицу 6);

R_{DF} — доля полезной информации в КД, равная отношению числа битов пользовательских данных к общему размеру КД;

T_U — длительность полезной части символа;

T_G — длительность защитного интервала.

Приблизительные значения скорости полезного битового потока в канале КОС в случае отсутствия НСК и НКД приведены в таблице 1.

Приложение А
(справочное)

Радиочастотные характеристики системы

Система РАВИС предназначена для использования в диапазонах частот 65,8—74,0 и 87,5—108,0 МГц.

OFDM-модулированный сигнал с большим числом несущих имеет почти нормальное распределение, что подтверждается экспериментальными исследованиями (см. рисунок А.1). Среднее отклонение оценки плотности распределения OFDM-модулированного сигнала от плотности нормального распределения с параметрами (0, 1) составляет $1{,}5 \cdot 10^{-10}$, а максимальное отклонение — не превышает 10^{-4}.

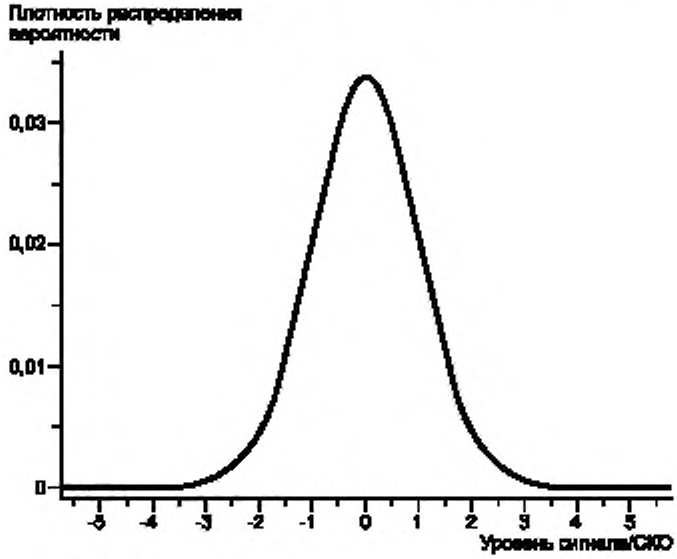

Рисунок А.1 — Плотность распределения вероятности сигнала OFDM

А.1 Эффект Доплера

Эффект Доплера вызывает частотный сдвиг несущих сигнала при движении приемника относительно передатчика.

Сдвиг частот составляет $\Delta f_D = f\frac{v}{c}$,

где f — несущая частота радиосигнала;

v — проекция скорости движения приемника относительно передатчика на прямую, соединяющую приемник и антенну передатчика;

c — скорость света.

Расстояние между соседними несущими в системе РАВИС составляет приблизительно 0,44 кГц. При скорости движения приемника v = 200 км/ч допплеровский сдвиг частот не превышает 5 % расстояния между двумя соседними несущими в диапазоне частот до 108 МГц.

Приложение Б
(справочное)

Моделирование работы системы

Моделирование производительности системы РАВИС выполнено с двумя моделями многолучевого распространения в канале передачи: канал Райса (для стационарного приема) и канал Релея (для мобильного приема).

Модели канала соответствуют моделям, описанным в [5].

Б.1 Канал Райса

В модели канала Райса выходной сигнал $y(t)$ вычисляют по формуле

$$y(t) = \frac{r_0 x(t) + \sum_{i=1}^{N} r_i e^{-j2\pi\theta_i} x(t-\tau_i)}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N} r_i^2}}, \qquad (Б.1)$$

где $x(t)$ — входной сигнал;

$r_0\, x(t)$ — прямой (неотраженный) сигнал с затуханием;

N — число эхо-сигналов, $N = 20$;

θ_i — фазовый сдвиг, возникающий при рассеянии i-го отраженного сигнала;

r_i — затухание i-го отраженного сигнала;

τ_i — относительная задержка i-го отраженного сигнала.

Значения параметров θ_i, r_i и τ_i приведены в таблице Б.1.

Коэффициент Райса K (отношение мощностей прямого сигнала и отраженных сигналов) вычисляют по формуле

$$K = \frac{r_0^2}{\sum_{i=1}^{N} r_i^2}, \qquad (Б.2)$$

При моделировании был использован коэффициент Райса $K = 10$, т. е.

$$r_0 = \sqrt{10 \sum_{i=1}^{N} r_i^2}\ .$$

Б.2 Канал Релея

В модели канала Релея выходной сигнал $y(t)$ вычисляют по формуле

$$y(t) = k \sum_{i=1}^{N} r_i e^{-j2\pi\theta} x(t-\tau_i), \qquad (Б.3)$$

где $k = \dfrac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} r_i^2}}$.

Значения параметров θ_i, r_i и τ_i приведены в таблице Б.1.

Таблица Б.1 — Значения параметров θ_i, r_i и τ_i для моделей канала Райса и Релея

i	r_i	τ_i, мкс	θ_i, рад
1	0,057 662	1,003 019	4,855 121
2	0,176 809	5,422 091	3,419 109
3	0,407 163	0,518 650	5,864 470
4	0,303 585	2,751 772	2,215 894
5	0,258 782	0,602 895	3,758 058
6	0,061 831	1,016 585	5,430 202
7	0,150 340	0,143 556	3,952 093

Окончание таблицы Б.1

j	r_j	τ_j, мкс	θ_j, рад
8	0,051 534	0,153 832	1,093 586
9	0,185 074	3,324 866	5,775 198
10	0,400 967	1,935 570	0,154 459
11	0,295 723	0,429 948	5,928 383
12	0,350 825	3,228 872	3,053 023
13	0,262 909	0,848 831	0,628 578
14	0,225 894	0,073 883	2,128 544
15	0,170 996	0,203 952	1,099 463
16	0,149 723	0,194 207	3,462 951
17	0,240 140	0,924 450	3,664 773
18	0,116 587	1,381 320	2,833 799
19	0,221155	0,640 512	3,334 290
20	0,259 730	1,368 671	0,393 889

Пороговые значения отношения сигнал/шум при использовании модуляции 16-QAM и скорости канального кодирования 3/4 для канала КОС приведены в таблице Б.2.

Таблица Б.2 — Пороговые значения отношения сигнал/шум при различных моделях канала

Модель канала	Отношение сигнал/шум, дБ
АБШГ (аддитивный белый гауссовский шум)	12
Канал Райса + АБШГ	12,5
Канал Релея + АБШГ	15,5

Приложение В
(рекомендуемое)

Коррекция пик-фактора сигнала OFDM

Для уменьшения отношения пиковой и средней мощностей сигнала (пик-фактора) рекомендуется использовать, например, метод активного расширения созвездия (ACE), описанный в [6]. Этот метод применяют к активной части каждого символа OFDM до введения защитного интервала. Метод активного расширения созвездий не должен применяться к пилотным несущим и несущим ППС.

Алгоритм активного расширения созвездий генерирует сигнал во временной области x_{ACE}, который замещает исходный сигнал во временной области $x = (x_0, x_1, \ldots, x_{N_{FFT}-1})$, сгенерированный с помощью ОБПФ из множества значений частотной области $X = (X_0, X_1, \ldots, X_{N_{FFT}-1})$.

Схема алгоритма представлена на рисунке В.1.

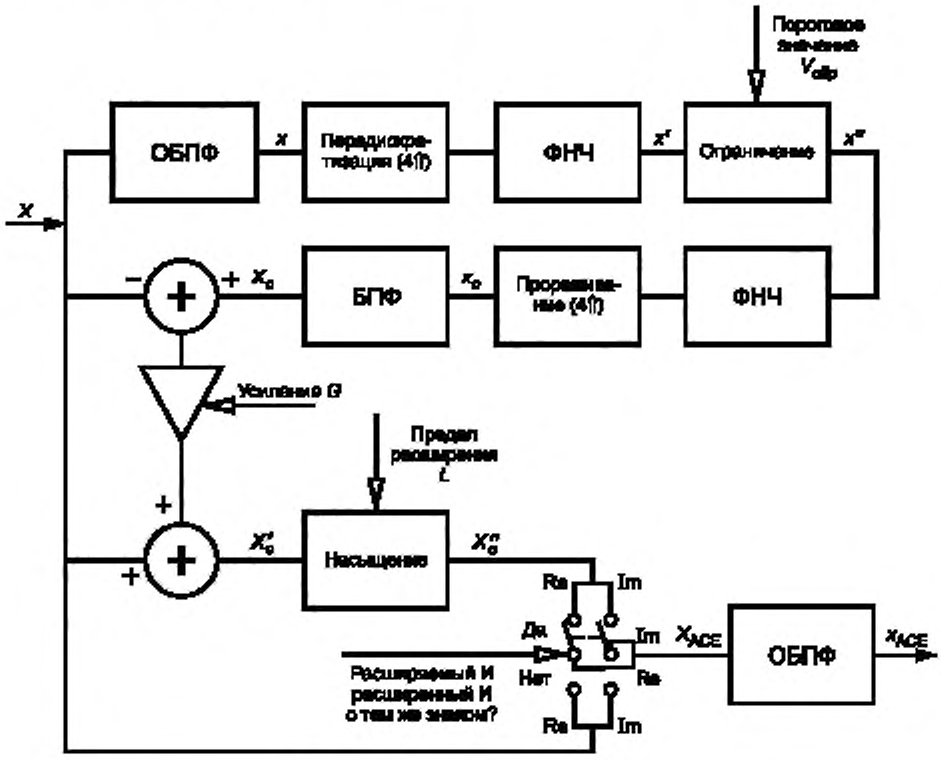

Рисунок В.1 — Схема алгоритма ACE

$x' = (x'_0, x'_1, \ldots, x'_{4N_{FFT}-1})$ получают из x с помощью четырехкратной интерполяции.

Сочетание ОБПФ, передискретизации и низкочастотной фильтрации реализуют с помощью заполнения нулями до четырехкратной длины и последующего преобразования ОБПФ.

$x'' = (x''_0, x''_1, \ldots, x''_{4NFFT-1})$ получают с помощью применения к компонентам x' оператора ограничения.

Оператор ограничения x''_k определен следующим образом:

$$x''_k = \begin{cases} x'_k & |x'_k| \le V_{clip}; \\ V_{clip}\dfrac{x'_k}{|x'_k|} & |x'_k| \ge V_{clip}. \end{cases} \qquad (B.1)$$

Порог ограничения V_{clip} является параметром алгоритма ACE.

$x_c = (x_{c0}, x_{c1}, \ldots, x_{cNFFT-1})$ получают из x'' с помощью четырехкратного прореживания.

Сочетание низкочастотной фильтрации, передискретизации и БПФ реализуют с помощью заполнения нулями до четырехкратной длины и последующего преобразования БПФ.

X_C получают из x_C с помощью БПФ.

Новый сигнал X'_C получают с помощью суммирования X_C и X следующим образом:

$$X'_C = X + G\,(X_C - X). \tag{В.2}$$

Коэффициент расширения G является параметром алгоритма ACE.

X''_C получают из X'_C с помощью оператора насыщения, который по отдельности обрабатывает действительные и мнимые компоненты, обеспечивая, чтобы модуль отдельных компонентов не превышал заданного значения L:

$$\mathrm{Re}\{X''_{C,k}\} = \begin{cases} \mathrm{Re}\{X'_{C,k}\}, & |\mathrm{Re}\{X'_{C,k}\}| \le L, \\ L, & \mathrm{Re}\{X'_{C,k}\} \ge L, \\ -L, & \mathrm{Re}\{X'_{C,k}\} < -L; \end{cases} \tag{В.3}$$

$$\mathrm{Im}\{X''_{C,k}\} = \begin{cases} \mathrm{Im}\{X'_{C,k}\}, & |\mathrm{Im}\{X'_{C,k}\}| \le L, \\ L, & \mathrm{Im}\{X'_{C,k}\} \ge L, \\ -L, & \mathrm{Im}\{X'_{C,k}\} < -L. \end{cases} \tag{В.4}$$

Предел расширения L является параметром алгоритма ACE.

Тогда X_{ACE} составляют с помощью простого выбора действительных и мнимых компонентов из относящихся к X, X''_C:

$$\mathrm{Re}\{X_{ACE,k}\} = \begin{cases} & \text{если } \mathrm{Re}\{X_k\} \text{ расширяемое} \\ \mathrm{Re}\{X''_{C,k}\} & AND\,|\mathrm{Re}\{X''_{C,k}\}| > |\mathrm{Re}\{X_k\}| \\ & AND\,\mathrm{Re}\{X''_{C,k}\}\,\mathrm{Re}\{X_k\} > 0 \\ \mathrm{Re}\{X_k\} & \text{иначе} \end{cases} \tag{В.5}$$

$$\mathrm{Im}\{X_{ACE,k}\} = \begin{cases} & \text{если } \mathrm{Im}\{X_k\} \text{ расширяемое} \\ \mathrm{Im}\{X''_{C,k}\} & AND\,|\mathrm{Im}\{X''_{C,k}\}| > |\mathrm{Im}\{X_k\}| \\ & AND\ \mathrm{Im}\{X''_{C,k}\}\,\mathrm{Im}\{X_k\} > 0 \\ \mathrm{Im}\{X_k\} & \text{иначе} \end{cases} \tag{В.6}$$

x_{ACE} получают из X_{ACE} с помощью ОБПФ.

Компонент определяют как расширяемый, если он принадлежит к модулированной ячейке данных и если его абсолютное значение равно максимальному значению компонента, связанного с модулирующим созвездием, используемым для этой ячейки. Например, компонент, принадлежащий к 16-QAM модулированной ячейке, является расширяемым, если его значение равно $\pm 3/\sqrt{10}$.

Выбор значения коэффициента G следует проводить в пределах от 0 до 31 с шагом 1.

Выбор порога ограничения V_{clip} следует проводить в диапазоне от + 0 до + 12,7 дБ с шагом 0,1 дБ относительно эффективного напряжения исходного сигнала.

Выбор максимального значения расширения L следует проводить в диапазоне от 0,7 до 1,4 дБ с шагом 0,1 дБ.

Если устанавливается максимальное значение L, то максимальное увеличение мощности на несущую после расширения ограничено значением + 6 дБ (увеличение мощности получается максимальным для модуляции QPSK).

Приложение Г
(рекомендуемое)

Разнесенная передача

Система РАВИС может функционировать в сложных условиях распространения сигнала, обеспечивая, в частности, мобильный прием в городских условиях с плотной застройкой. Узкополосные сигналы в таких условиях подвержены не только частотно-селективным, но и амплитудным (плоским) замираниям.

В этих условиях используемое в РАВИС временно́е перемежение улучшает мобильный прием сигнала. Эффективным методом борьбы с амплитудными замираниями является использование разнесенного приема, т. е. нескольких приемных антенн, расположенных на определенном расстоянии. Но в некоторых случаях использование нескольких антенн затруднительно, например, для небольших переносных приемников. Для вещательных систем хорошей альтернативой или дополнением к разнесенному приему является использование методики разнесенной передачи.

Разнесенная передача с задержкой представляет собой достаточно простой и эффективный метод. В этом случае кроме исходного сигнала излучают еще один сигнал, представляющий задержанную на время δ копию исходного сигнала, дополнительный сигнал излучают с другой антенны, пространственно разнесенной с основной. Использование этого метода не требует никаких дополнительных изменений приемника. Задержанных копий сигнала может быть несколько. Схема передающей части при использовании разнесенной передачи представлена на рисунке Г.1.

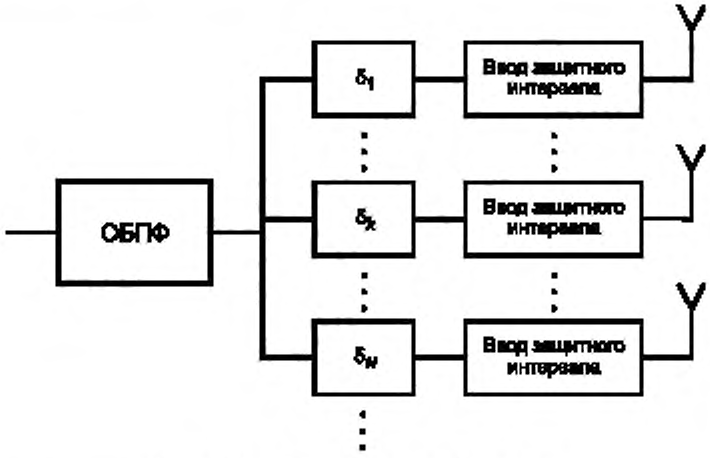

Рисунок Г.1 — Схема разнесенной передачи

Необходимо выбрать значения задержек δ_k для всех ветвей излучения сигнала. При этом необходимо учитывать, что:

- задержка δ_k должна быть достаточно большой (более 10 мкс), чтобы увеличить частотную избирательность составного канала, представляющего собой объединение каналов передающих антенн;
- задержка δ_k должна быть гораздо меньше длительности защитного интервала (то есть << 300 мкс), чтобы не вызывать межсимвольную интерференцию.

Приложение Д
(обязательное)

Вычисление циклического избыточного кода

Реализация проверки с помощью циклических избыточных кодов (CRC-кодов) позволяет выявлять ошибки передачи в приемнике. С этой целью слова CRC-кода должны быть включены в передаваемые данные. Слова CRC-кода определяют в соответствии с описанной в настоящем приложении процедурой.

Код CRC определяют с помощью полинома степени n

$$G_n(x) = x^n + g_{n-1} \cdot x^{n-1} + \ldots + g_2 \cdot x^2 + g_1 \cdot x + 1$$

при $n \geq 1$ и $g_i \in \{0,1\}$, $i = 1, \ldots, n-1$.

CRC-код может быть вычислен с помощью сдвигового регистра, содержащего n ячеек, где n равно степени полинома. Блок-схема вычисления CRC-кода представлена на рисунке Д.1. Ячейки обозначают как $b_0 \ldots b_{n-1}$, где b_0 соответствует 1; b_1 соответствует x; b_2 соответствует x^2; ...; b_{n-1} соответствует x^{n-1}. Сдвиговый регистр дополняют с помощью вставки операторов XOR на входе тех ячеек, где соответствующие коэффициенты g_i полинома равны 1.

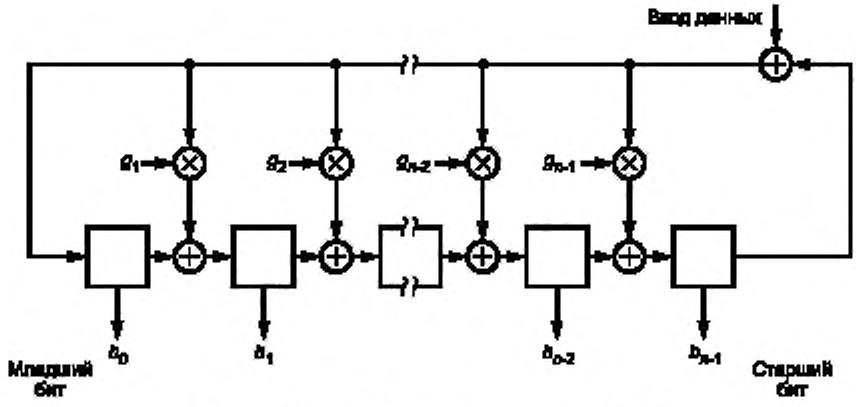

Рисунок Д.1 — Блок-схема вычисления CRC-кода

В начале вычисления кода CRC-8 все ячейки сдвигового регистра инициализируют нулями.

После поступления первого бита блока данных на вход данных (старший бит поступает первым) тактовый генератор обеспечивает сдвиг ячеек регистра на одну ячейку в направлении ячейки старшего бита b_{n-1}. При этом в промежуточные ячейки помещают данные после соответствующих операций XOR. Затем процедуру повторяют для каждого входного бита данных. После поступления последнего бита (младший бит) блока данных на вход сдвиговый регистр будет содержать слово CRC-кода, которое вслед за этим считывают. При передаче данных и слова CRC-кода старший бит следует первым.

Код CRC-8, используемый в системе РАВИС, основан на следующем полиноме:

$$G_8(x) = x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + x^2 + 1.$$

Приложение Е
(обязательное)

Процедура формирования матриц кода LDPC

В настоящем приложении приведена процедура формирования матрицы *H*, по которой проводят расчет проверочных битов кода LDPC (см. 6.5).

Матрицу *H* формируют так, чтобы число столбцов n_i в ней, содержащих *i* единиц, соответствовало таблице Е.1.

Для значений n_i, указанных в таблице Е.1, выполнено соотношение $K_{ldpc} = n_{13} + n_{12} + n_8 + n_3$.

Таблица Е.1 — Параметры матрицы *H* для всех возможных значений параметров кода LDPC

Размер блока N_{ldpc}	Примерная скорость кода *R*	Размер некодированного блока K_{ldpc}	Число проверочных битов M_{ldpc}	Число столбцов n_i в матрице *H*, содержащих *i* единиц			
				n_{13}	n_{12}	n_8	n_3
Канал основного сервиса (КОС), радиоканал 100 кГц							
8036	1/2	4024	4012	0	0	1607	2417
	2/3	5362	2674	535	0	0	4827
	3/4	6026	2010	0	669	0	5357
6970	1/2	3488	3482	0	0	1394	2094
	2/3	4650	2320	464	0	0	4186
	3/4	5226	1744	0	580	0	4646
6724	1/2	3368	3356	0	0	1344	2024
	2/3	4482	2242	448	0	0	4034
	3/4	5042	1682	0	560	0	4482
5658	1/2	2832	2826	0	0	1131	1701
	2/3	3776	1882	377	0	0	3399
	3/4	4242	1416	0	471	0	3771
Канал основного сервиса (КОС), радиоканал 200 кГц							
16400	1/2	8196	8204	0	0	3280	4916
	2/3	10932	5468	1093	0	0	9839
	3/4	12300	4100	0	1366	0	10934
15334	1/2	7666	7668	0	0	3066	4600
	2/3	10228	5106	1022	0	0	9206
	3/4	11500	3834	0	1277	0	10223
15088	1/2	7546	7542	0	0	3017	4529
	2/3	10060	5028	1005	0	0	9055
	3/4	11316	3772	0	1257	0	10059
14022	1/2	7010	7012	0	0	2804	4206
	2/3	9348	4674	934	0	0	8414
	3/4	10516	3506	0	1168	0	9348
Канал основного сервиса (КОС), радиоканал 250 кГц							
20664	1/2	10332	10332	0	0	4132	6200
	2/3	13780	6884	1377	0	0	12403
	3/4	15500	5164	0	1721	0	13779
19598	1/2	9804	9794	0	0	3919	5885
	2/3	13068	6530	1306	0	0	11762
	3/4	14700	4898	0	1633	0	13066
19352	1/2	9676	9676	0	0	3870	5806

Окончание таблицы Е.1

Размер блока N_{ldpc}	Примерная скорость кода R	Размер некодированного блока K_{ldpc}	Число проверочных битов M_{ldpc}	Число столбцов n_i в матрице H, содержащих i единиц			
				n_{13}	n_{12}	n_8	n_3
19352	2/3	12900	6452	1290	0	0	11610
	3/4	14516	4836	0	1612	0	12902
18286	1/2	9148	9138	0	0	3657	5491
	2/3	12188	6098	1219	0	0	10969
	3/4	13716	4570	0	1523	0	12193
Низкоскоростной канал (НСК)							
1312	1/2	652	660	0	0	271	381
Надежный канал данных (НКД)							
1066	1/2	532	534	0	0	220	312

Максимально допустимое число единичных элементов $D_{c\,max}$ в строке матрицы H в зависимости от примерной скорости кода R определено в таблице Е.2.

Таблица Е.2 — Максимально допустимое число единичных элементов в строке матрицы H

Примерная скорость кода R	1/2	2/3	3/4
Максимально допустимое число единичных элементов $d_{c\,max}$	8	11	15

Алгоритм расстановки ненулевых элементов в матрице H использует псевдослучайную последовательность, задаваемую рекуррентной формулой

$$S'_{rnd}(k+1) = A \cdot S'_{rnd}(k) + C \qquad (Е.1)$$

$$S_{rnd}(k) = (((S_{rnd}(k) \text{ div } M) \bmod (M/2)) \bmod M_{ldpc}) + 1,$$

где $A = 214013$;
$C = 2531011$;
$M = 65536$;
$k = 0, 1, 2, \ldots$.

Начальное значение $S'_{rnd}(0)$, заданное в таблице Е.3, зависит от размера блока N_{ldpc} и скорости кода R.

Таблица Е.3 — Начальное значение псевдослучайной последовательности $S'_{rnd}(0)$

Размер блока N_{ldpc}	Начальное значение $S'_{rnd}(0)$		
	$R = 1/2$	$R = 2/3$	$R = 3/4$
8036	100	101	102
6970	1	104	105
6724	47	107	108
5658	109	110	111
16400	109	136	135
15334	113	126	115
15088	116	106	107
14022	119	82	81
20664	192	191	124
19598	125	126	182
19352	128	129	171
18286	131	160	159
1312	1081	—	—
1066	1108	—	—

Алгоритм формирования матрицы H представлен в виде блок-схемы на рисунке Е.1 (листы 1—3).

В алгоритме формирования матрицы H используется двухдиагональная матрица E_2, определенная следующим образом:

$$E_2[i][j] = \begin{cases} 1, & j = i \text{ или } j = i-1; \\ & i, j = 1,\ldots,M_{idpc}. \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases}$$

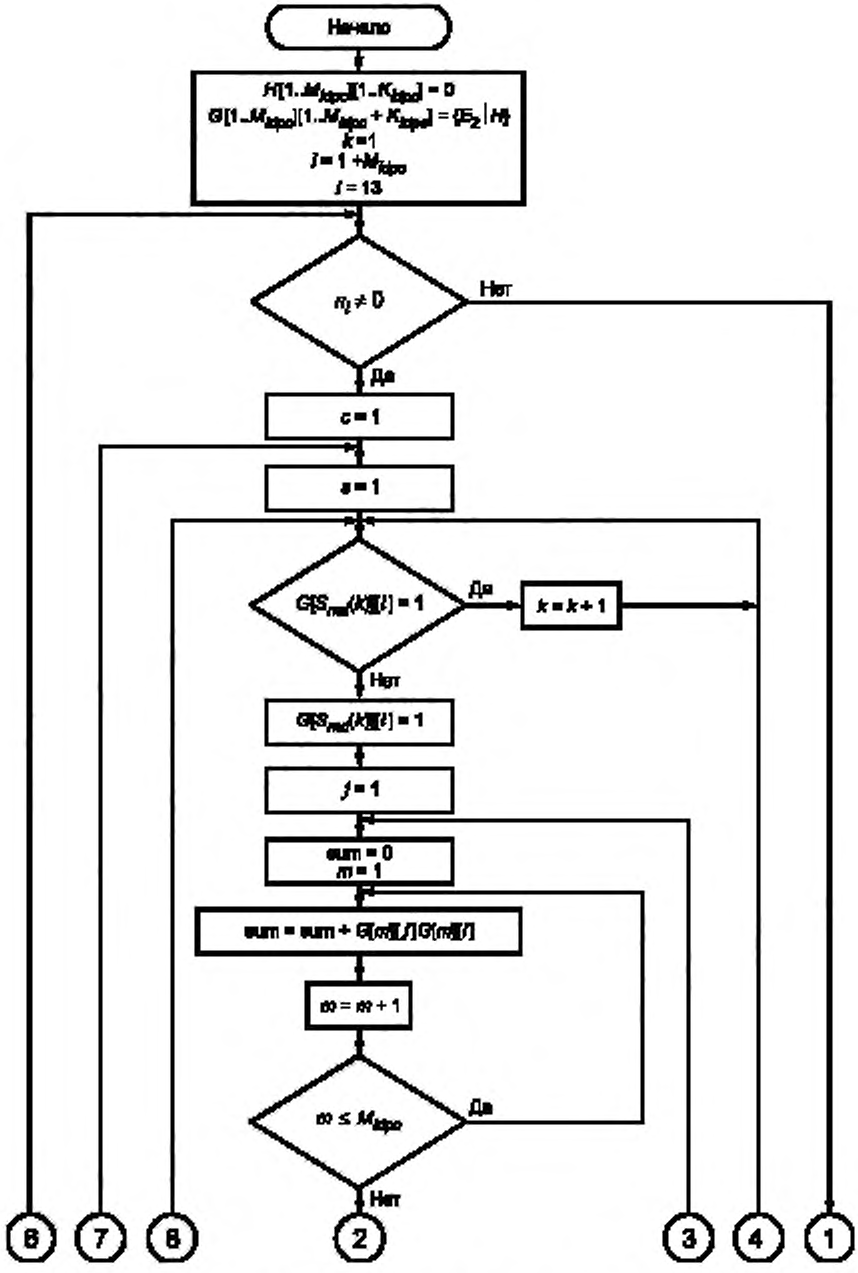

Рисунок Е.1 — Блок-схема алгоритма формирования матрицы H, лист 1

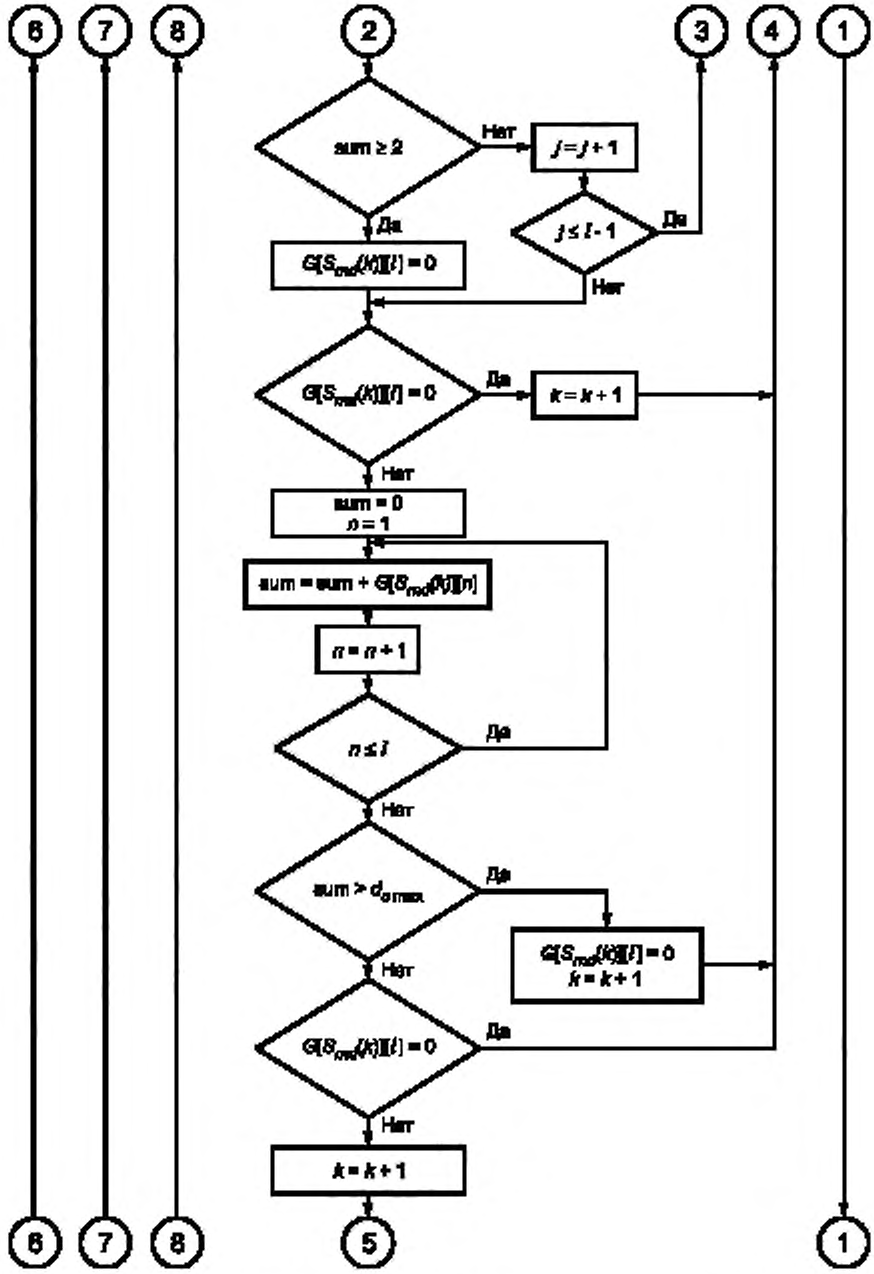

Рисунок Е.1 — Блок-схема алгоритма формирования матрицы *H*, лист 2

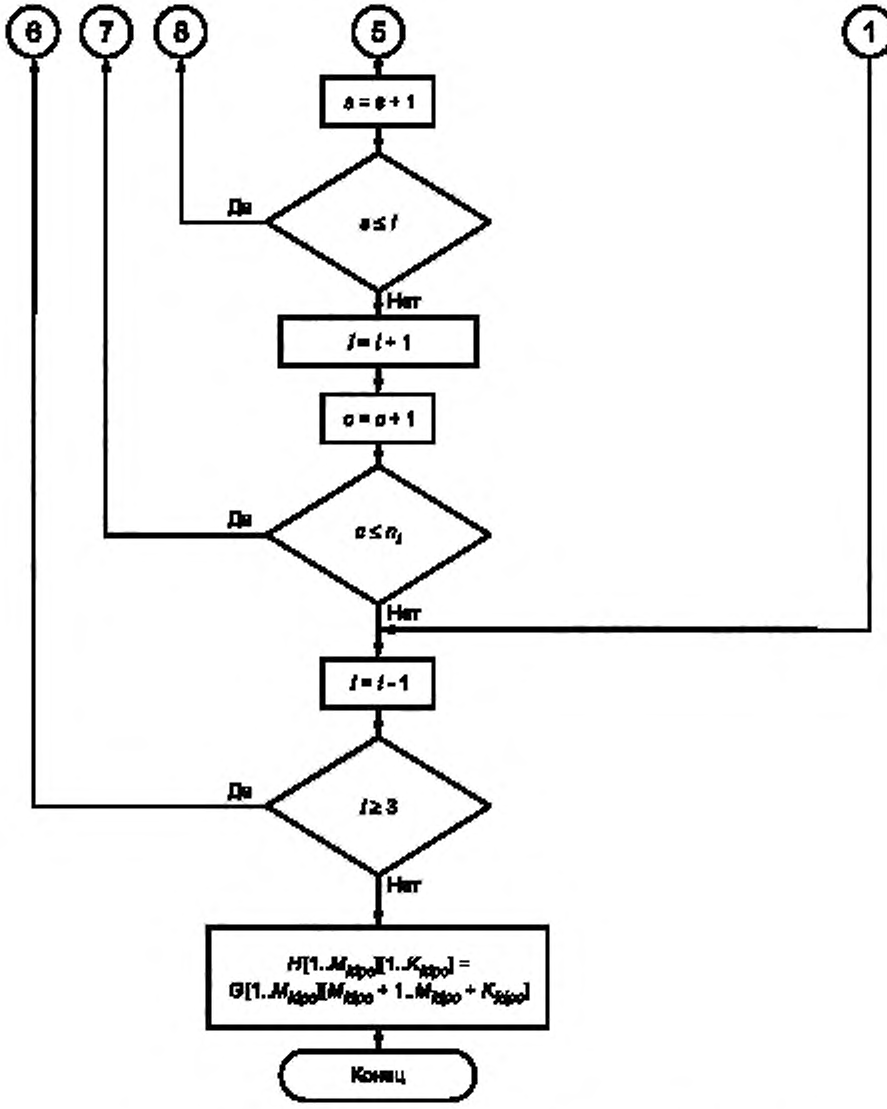

Рисунок Е.1 — Блок-схема алгоритма формирования матрицы *H*, лист 3

Библиография

[1]	ИСО/МЭК 13818-1:2007	Информационные технологии — Универсальное кодирование движущихся изображений и связанной с ними звуковой информации: Системы
	(ISO/IEC 13818-1:2007)	(Information technology — Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems)
[2]	ETSI TS 102 606 v1.1.1 (2007—10)	Цифровое видеовещание; протокол универсальной инкапсуляции потока
	[(ETSI TS 102 606 v1.1.1 (2007—10)]	(Digital Video Broadcasting (DVB); Generic Stream Encapsulation (GSE) Protocol)
[3]	ИСО/МЭК 14496-3:2009	Информационные технологии — Кодирование аудиовизуальных объектов — Часть 3. Аудио
	(ISO/IEC 14496-3:2009)	(Information technology — Coding of audio-visual objects — Part 3: Audio)
[4]	ИСО/МЭК 14496-10:2009	Информационные технологии — Кодирование аудиовизуальных объектов — Часть 10. Усовершенствованное кодирование видео
	(ISO/IEC 14496-10:2009)	(Information technology — Coding of audio-visual objects — Part 10: Advanced Video Coding)
[5]	ETSI EN 300 744:2009	Цифровое видеовещание. Методы канального кодирования, мультиплексирования и модуляции в цифровых системах наземного телевидения
	[(ETSI EN 300 744 v1.6.1 (2009—01)]	(Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television)
[6]	ETSI EN 302 755:2009	Цифровое видеовещание. Методы канального кодирования, мультиплексирования и модуляции в цифровых системах наземного телевизионного вещания второго поколения
	[(ETSI EN 302 755 v1.1.1 (2009—09)]	(Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2))

УДК 621.396:621.397:006.354 ОКС 33.170

Ключевые слова: аудиовизуальная информационная система реального времени, кадровая структура, канальное кодирование, модуляция, ОВЧ диапазон, технические требования

Редактор *Е.И. Мосур*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 20.05.2020. Подписано в печать 10.09.2020 Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,50.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва. Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
www.gostinfo.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru