ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 70184— 2022

СИСТЕМА СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ «СПУТНИК-А»

Процессы формирования кадровой структуры, канального кодирования, модуляции для системы цифровой спутниковой связи. Технические условия

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2022

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 480 «Связь»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23 июня 2022 г. № 525-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*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 (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2022

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, определения, обозначения и сокращения 1
3 Общие положения 5
4 Требования к подсистемам и блокам системы «Спутник-А» 7
Приложение А (обязательное) Радиочастотные характеристики системы 24
Приложение Б (обязательное) Координаты ненулевых элементов матрицы LDPC-кода для n_{ldpc} = 64 800 26
Приложение В (обязательное) Координаты ненулевых элементов матрицы LDPC-кода для n_{ldpc} = 32 400 43
Приложение Г (обязательное) Координаты ненулевых элементов матрицы LDPC-кода для n_{ldpc} = 16 200 45
Приложение Д (обязательное) Вычисление циклического избыточного кода 53
Приложение Е (обязательное) Алгоритмы кодирования LDPC 54
Приложение Ж (обязательное) Формат передаваемых данных для сверхнизких значений отношения «сигнал/шум» 56
Приложение И (обязательное) Формат передаваемых данных для схем разделения временно́го ресурса 59

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СИСТЕМА СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ «СПУТНИК-А»

Процессы формирования кадровой структуры, канального кодирования, модуляции для системы цифровой спутниковой связи. Технические условия

Satellite communication system «Sputnik-A».
Framing structure, channel coding and modulation for digital satellite communication system. Specifications

Дата введения — 2023—02—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на систему спутниковой передачи данных «Спутник-А». Она предназначена для обеспечения устойчивой защищенной связи и высокоскоростной передачи данных в спутниковых сетях силовых структур, в том числе для обеспечения доступа удаленных и труднодоступных мест Арктического региона к информационным и телекоммуникационным сетям.

«Спутник-А» позволяет производить передачу одного или нескольких потоков данных произвольных форматов. Система коррекции ошибок реализована на основе сочетания LDPC- и БЧХ-кодов, позволяющего осуществлять квазибезошибочное восстановление на расстоянии от 0,7 до 1,0 дБ от границы Шеннона, в зависимости от выбранного режима передачи. Выбор скорости кодирования в диапазоне от 1/8 до 9/10 и одного из пяти режимов модуляции со спектральной эффективностью от 1 до 5 бит/с/Гц позволяет установить требуемый баланс между качеством и скоростью передачи. Для работы в условиях сверхнизкого отношения сигнал/шум разработана группа специальных режимов передачи. Форма спектра сигнала задается одним из трех значений коэффициента сглаживания: 0,35; 0,25 и 0,2. Система предоставляет возможность использования адаптивной схемы модуляции и кодирования (АМК), позволяющей изменять параметры передачи от кадра к кадру на основании данных, получаемых по обратному каналу от устройства получателя.

Настоящий стандарт:

- описывает основные принципы построения системы «Спутник-А»;
- устанавливает формат манипулированного сигнала посредством детального описания процесса обработки сигнала модулятором, а также отдельные значимые аспекты работы приемника;
- определяет общие требования к функционированию системы для достижения необходимого качества обслуживания.

Требования стандарта следует учитывать при разработке, изготовлении и эксплуатации устройств системы спутниковой связи «Спутник-А».

2 Термины, определения, обозначения и сокращения

2.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

2.1.1 **пакетированный поток:** Битовый поток, состоящий из пакетов, длина которых равна целому количеству байт и не превышает 9000 байт.

2.1.2 **связанные потоки:** Логическая группа потоков данных, имеющих общие передатчик и приемник физического уровня (логический канал данных).

2.1.3 **наиболее [наименее] значимый бит потока:** Бит, передаваемый, обрабатываемый или получаемый ранее (позднее) остальных.

Издание официальное

2.1.4 **квазибезошибочный прием:** Прием сигнала, допускающий менее одной неисправленной ошибки в час при передаче на скорости 5 Мбит/с, что соответствует вероятности битовой ошибки менее 10^{-10}.

2.1.5 **подсистема:** Логически объединенная группа функциональных блоков системы.

2.1.6 **кадр базовой полосы;** BB-кадр: Кадр длины K_{bch} бит, получаемый на выходе подсистем адаптации режима и адаптации потока, состоящий из заголовка, поля данных и нулевых битов заполнения.

2.1.7 **помехозащищенный кадр;** FEC-кадр: Кадр длины n_{ldpc} бит, получаемый на выходе подсистемы введения помехоустойчивого кодирования, состоящий из кадра базовой полосы, проверочных битов кода БЧХ и проверочных битов кода LDPC.

2.1.8 **комплексный помехозащищенный кадр;** XFEC-кадр: Кадр длины (n_{ldpc}/η_{MOD}) комплексных символов, получаемый на выходе подсистемы отображения битов на созвездие.

2.1.9 **кадр физического уровня;** PL-кадр: Кадр комплексных символов, получаемый на выходе подсистемы формирования кадров физического уровня и состоящий из символов комплексного помехозащищенного кадра, заголовка физического уровня и опциональных пилотных символов. Длина PL-кадра может варьироваться в зависимости от параметров передачи.

2.1.10 **кадр СНОСШ:** Кадр физического уровня при использовании режима передачи, адаптированного для работы в условиях сверхнизкого отношения «сигнал/шум».

2.1.11 **рандомизация [скремблирование] потока:** Обратимое преобразование входного потока, формирующее на выходе последовательность, обладающую свойствами случайности, с целью достижения наиболее равномерного распределения энергии сигнала во времени и независимости энергии выходного сигнала от входных данных. Для битовых потоков получается логическим побитовым сложением исходной последовательности с псевдослучайной битовой последовательностью; для потока комплексных символов — поэлементным умножением на псевдослучайную последовательность комплексных символов.

2.1.12 **длинный кадр:** Помехозащищенный кадр длины 64 800 бит.

2.1.13 **средний кадр:** Помехозащищенный кадр длины 32 400 бит.

2.1.14 **короткий кадр:** Помехозащищенный кадр длины 16 200 бит.

2.1.15 **строчно-столбцовый битовый перемежитель:** Таблица, в которую входная последовательность битов записывается по столбцам, а выходная последовательность читается по строкам.

2.1.16 **коэффициент расширения битовой последовательности:** Число подряд идущих повторений каждого бита из входной последовательности.

2.1.17 **скорость помехоустойчивого кода:** Приблизительное значение скорости кода, служащее для индексации кодов. Может не совпадать с точным значением фактической скорости кода, равной отношению числа информационных битов помехозащищенного кадра к его общему числу битов. Если не оговаривается иное, имеется в виду именно условное приблизительное значение.

2.1.18 **битовая вместимость символа:** Длина группы битов помехозащищенного кадра, отображаемой в символ комплексного помехозащищенного кадра. Поскольку все используемые созвездия различны по данному параметру, он используется в качестве индекса созвездия.

2.1.19 **слот TDMA:** Интервал времени, в течение которого частотная несущая, используемая в схеме TDMA, выделяется одному передатчику, а также последовательность кадров физического уровня, заполняющих этот интервал.

2.2 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

$\oplus$	— сложение по модулю 2;
α	— коэффициент сглаживания;
γ, γ_1, γ_2	— соотношения радиусов в созвездиях 16APSK, 32APSK;
η	— коэффициент эффективности кадра физического уровня;
η_c	— скорость помехоустойчивого кода;
η_{MOD}	— битовая вместимость созвездия;
ρ, Φ	— амплитуда и фаза модулированного сигнала;
α_0, α_1, .. , α_{mh-1}	— промежуточные буферы формирования групп проверочных битов LDPC в алгоритме Б;

A_B — представление числа A в позиционной системе счисления по основанию B;

b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 — биты поля MODCOD PLS-кода;

b_6, b_7 — биты поля TYPE PLS-кода;

c — кодовое слово;

c_0, c_1, … , c_{mh-1} — векторы промежуточных результатов формирования групп проверочных битов LDPC в алгоритме Б;

$C/N + I$ — отношение несущая/(шум+помеха);

C_I, C_O — действительная и мнимая части комплексной рандомизирующей последовательности физического уровня;

$d_{n_{bch}-k_{bch}-1}$, $d_{n_{bch}-k_{bch}-2}$, … , — избыточные биты кода БЧХ;

$d(x)$ — остаток деления $m(x)x^{n_{bch}-k_{bch}}$ на $g(x)$;

$d_{\min}$ — минимальное расстояние кода LDPC;

E_b/N_0 — отношение энергии сигнала, приходящейся на 1 бит сообщения, к односторонней энергетической спектральной плотности шума;

E_s/N_0 — отношение энергии сигнала, приходящейся на 1 символ сообщения, к односторонней энергетической спектральной плотности шума;

f_N — частота Найквиста;

f_0 — несущая частота;

G — порождающая матрица PLS-кода;

$g(x)$ — порождающий многочлен кода;

$g_1(x)$, $g_2(x)$, … , $g_{12}(x)$ — примитивные полиномы, необходимые для получения порождающего полинома кода БЧХ;

$H(f)$ — амплитудно-частотная характеристика фильтра;

H — проверочная матрица кода LDPC;

H_1 — псевдослучайная часть проверочной матрицы кода LDPC;

H_2 — постоянная часть проверочной матрицы кода LDPC;

H_b — проверочная матрица кода LDPC в алгоритме Б в сокращенном виде;

H_{b1} — псевдослучайная часть проверочной матрицы кода LDPC в алгоритме Б в сокращенном виде;

H_{b2} — постоянная часть проверочной матрицы кода LDPC в алгоритме Б в сокращенном виде;

i — информационный блок кода LDPC;

i_0, i_1, … , $i_{k_{ldpc}-1}$ — информационные биты кода LDPC;

I, Q — синфазная и квадратурная составляющие модулированного сигнала;

K_{bch} — битовая длина блока до кодирования БЧХ;

k_b — число групп информационных битов кода LDPC в алгоритме Б;

K_{data} — битовая длина поля данных;

k_{ldpc} — битовая длина блока до кодирования LDPC;

m — информационное слово кода БЧХ;

m_b — число групп проверочных битов кода LDPC в алгоритме Б;

$m_{K_{bch}-1}$, $m_{K_{bch}-2}$,…, m_1, m_0 — информационные биты кода БЧХ;

$m(x)$ — информационный многочлен кода БЧХ;

M — число модулированных символов в слоте;

N_{bch} — битовая длина блока после кодирования БЧХ;

n_b — число групп битов на выходе кода LDPC в алгоритме Б;

n_{ldpc} — битовая длина блока после кодирования LDPC;

$p_0, p_1, \ldots, p_{n_{ldbc}-k_{ldbc}-1}$ — проверочные биты кода LDPC;
P — число символов в блоке пилотов;
P_k — квадратная матрица, строки которой получаются циклическими сдвигами строки с единственным ненулевым элементом в позиции $k \geq 0$, при $k = -1$ является нулевой матрицей;
q — параметр кода LDPC, определяемый скоростью кода в алгоритме А;
r_m — неравномерность АЧХ в полосе пропускания (дБ);
R_n — последовательность индексов значений рандомизирующей последовательности;
R_z — символьная скорость, соответствующая частоте Найквиста;
R_u — скорость подачи пользовательской информации на вход системы;
S — число слотов в комплексном кадре XFECFRAME;
T_s — период следования символов;
$u_0, u_1, \ldots, u_{k_h-1}$ — группы информационных битов кода LDPC в алгоритме Б;
$v_0, v_1, \ldots, v_{m_h-1}$ — группы проверочных битов кода LDPC в алгоритме Б;
x, y — последовательности максимальной длины, используемые при рандомизации физического уровня;
$y_0, y_1, y_2, \ldots$ — биты произвольного поля, подлежащие отображению на некоторое созвездие;
z — размер циркулянта проверочной матрицы кода LDPC в алгоритме Б;
z_n — последовательность Голда с номером n.

2.3 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ABNF — расширенная форма Бэкус-Наура (Augmented Backus-Naur Form);
16APSK — 16-позиционная APSK;
32APSK — 32-позиционная APSK;
8PSK — восьмипозиционная PSK;
π/2-BPSK — BPSK со сдвигом фаз точек созвездия на π/2;
APSK — амплитудно-фазовая манипуляция (Amplitude and Phase Shift Keying)
BBHEADER — заголовок кадра базовой полосы;
BB-кадр (BBFRAME) — кадр базовой полосы (BaseBand Frame);
BPSK — двоичная PSK (Binary PSK);
CNI — переменная отношения несущая/(шум+помеха);
CRC — циклический избыточный код (Cyclic Redundancy Check);
FEC — помехоустойчивое кодирование (Forward Error Correction);
FEC-кадр (FECFRAME) — кадр с введенным помехоустойчивым кодом;
FIFO — способ организации буфера «первым пришел — первым ушел» (First In — First Out);
GF — поле Галуа (Galois Field);
LDPC — коды с малой плотностью проверок на четность (Low Density Parity Check);
PKTH — заголовок пользовательского пакета (Packet Header);
PLHEADER — заголовок физического кадра;
PLS — сигнализация физического уровня (Physical Layer Signalling);
PL-кадр (PLFRAME) — кадр физического уровня (Physical Layer Frame);
PSK — фазовая манипуляция (Phase Shift Keying);
QPSK — четырехпозиционная PSK (Quaternary Phase Shift Keying);
SNR — отношение «сигнал/шум» (Signal to Noise Ratio);

SOF — начало кадра (Start Of Frame);
SYNCD — отступ синхронизации (SYNChronization Distance);
TDM — мультиплексирование с разделением по времени (Time Division Multiplexing);
TDMA — множественный доступ с разделением по времени (Time Division Multiple Access);
UPC — количество пользовательских пакетов в кадре (User Packet Count);
UPL — длина пользовательского пакета в байтах (User Packet Length);
XFEC-кадр (XFECFRAME) — комплексный кадр с коррекцией ошибок (compleX FECFRAME);
XOR — операция «исключающее ИЛИ»;
АМК — адаптивная схема модуляции и кодирования;
АЧХ — амплитудно-частотная характеристика;
БОР — блок объединения/разделения;
БЧХ — двоичный блоковый код коррекции ошибок Бозе-Чоудури-Хоквингема;
ИМК — схема модуляции и кодирования с изменяющимися параметрами;
КР — коэффициент расширения последовательности;
ПАР — подсистема адаптации режима;
ПД — поле данных кадра;
ПМК — схема модуляции и кодирования с постоянными параметрами;
ПП — пользовательский пакет;
ППД — пакетированный поток данных;
РСЛОС — регистр сдвига с линейной обратной связью;
СНОСШ — режим работы при сверхнизком отношении «сигнал/шум»;
ЦАП — цифроаналоговый преобразователь.

3 Общие положения

Система «Спутник-А» представляет собой блок оборудования, обеспечивающий преобразование входного потока от произвольного источника данных к виду спутникового радиосигнала. Пользовательские данные должны быть представлены в виде последовательностей ПП переменной длины. Входные потоки далее называются ППД.

Если уровень принимаемого сигнала выше порога C/N+I (отношение «несущая / (шум+помеха)»), для обеспечения квазибезошибочного декодирования применяется FEC. Для работы в условиях сильного шума (SNR от минус 10 до минус 2 дБ) может быть применен режим передачи, адаптированный для передачи в условиях СНОСШ, описанный в приложении Ж.

Для размещения на частотной несущей потоков от различных пользователей или к различным пользователям предусмотрена работа по схемам TDM и TDMA, описанным в приложении И.

3.1 Структурная схема передающей стороны. Режимы передачи

Структурная схема передающей части системы «Спутник-А» представлена на рисунке 1.

Логические группы связанных ППД обрабатываются отдельно друг от друга. Внутри группы могут передаваться до четырех связанных ППД, имеющих политику приоритизации, выходящую за рамки данного стандарта.

Связанные входные ППД поступают в ПАР. Подсистема встраивает заголовки пакетов PKTH и выполняет формирование полей данных (ПД) для вставки в BB-кадры (кадры базовой полосы).

Далее применяется адаптация потока, включающая дополнение кадра нулями, формирование и добавление заголовка BBHEADER в начало кадра для сообщения приемнику порядка извлечения ПП и контроля целостности данных на кадровом уровне, а также рандомизацию BB-кадров.

FEC выполняет кодирование сочетанием внешних БЧХ- и внутренних LDPC-кодов (скорости кода 1/8, 1/5, 2/9, 11/45, 1/4, 4/15, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10) и битовое перемежение. В зависимости от приложения FEC-блок может быть длинным, средним или коротким и иметь длину, соответственно, 64 800, 32 400 или 16 200 битов. При применении схем кодирования и модуляции с изменяющимися параметрами и адаптивной схемы (ИМК и АМК) FEC и режим модуляции могут изменяться от кадра к кадру, однако должны быть постоянными внутри одного кадра.

Маппер представляет собой подсистему (блок) отображения битов сообщения на выходе подсистемы FEC на точки созвездия π/2-BPSK, QPSK, 8PSK, 16APSK или 32APSK, в зависимости от сферы применения. При нумерации точек созвездий QPSK и 8PSK применяется схема Грея.

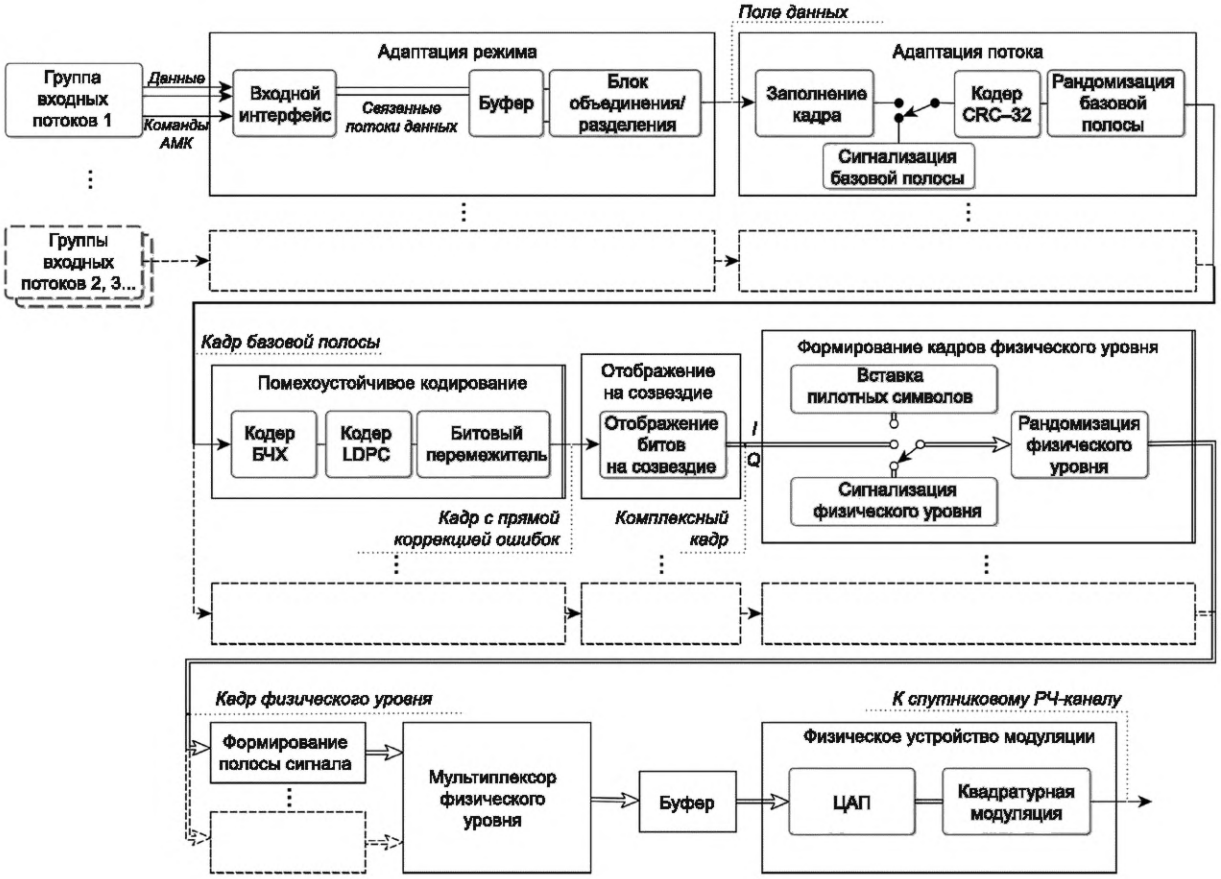

Рисунок 1 — Блок-схема системы «Спутник-А»

В таблице 1 представлены доступные комбинации скорости кодирования и типа модуляции для длинных и коротких кадров. Доступные режимы модуляции для длинных, средних и коротких кадров при применении режима СНОСШ описаны в таблице Ж.1.

Подсистема формирования кадров физического уровня выполняет функции сигнализации физического уровня, вставки пилотов (опционально) и рандомизации физического уровня для распределения энергии. Кадровая структура физического уровня системы основана на разбиении на слоты по 90 модулированных комплексных символов и обеспечивает надежную синхронизацию структуры FEC-блоков. Слот предназначен для сигнализации на физическом уровне, включая нахождение начала кадра и определение параметров передачи. Восстановление несущей может быть упрощено введением растра пилотных символов (P = 36 пилотных символов через каждые 16 слотов по 90 символов). Доступен также режим передачи без пилотов, в котором полезная емкость канала увеличивается на величину до 2,4 %.

Таблица 1 — Возможные соотношения типа модуляции и скорости кодирования для длинных и коротких кадров в системе «Спутник-А» без применения СНОСШ

Тип модуляции	Скорости кодирования длинных кадров	Скорости кодирования коротких кадров
QPSK	1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10	1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9
8PSK	3/5, 2/3, 3/4, 5/6, 8/9, 9/10	3/5, 2/3, 3/4, 5/6, 8/9
16APSK	2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10	2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9
32APSK	3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10	3/4, 4/5, 5/6, 8/9

Примечание — Средние кадры, тип модуляции π/2-BPSK и скорости кодирования 1/8, 1/5, 2/9, 1/45 и 4/15 не применяются вне режима СНОСШ.

Формирование полосы сигнала применяется для ограничения спектра огибающей сигнала (используется фильтр «корень приподнятого косинуса» с коэффициентом сглаживания 0,35, 0,25 или 0,2).

Мультиплексор физического уровня применяется для объединения потоков, не являющихся связанными, в один физический сигнал.

Физическое устройство модуляции состоит из цифроаналогового преобразователя и квадратурной модуляции аналогового сигнала.

3.2 Типы входных данных

Каждый из входных потоков должен относиться к одному из типов, представленных в таблице 2. Описания типов данных приведены в 5.1.1.

Таблица 2 — Типы входных данных системы «Спутник-А»

Тип входных данных	Сопряженное устройство	Число потоков
Пакетированный поток (ППД)	Источник данных	Одна или несколько групп связанных потоков
Команды АМК	Система управления параметрами модуляции и кодирования	Один поток

Выходной интерфейс системы представляет собой сигнал на несущей радиочастоте или на промежуточной частоте.

4 Требования к подсистемам и блокам системы «Спутник-А»

4.1 Подсистема адаптации режима

Данная подсистема подвергает потоки входных данных следующим преобразованиям:
- формирование заголовков пакетов;
- объединение связанных потоков;
- разделение на ПД.

Допустимые типы выходных данных описаны в 5.1.1.

Выходной поток ПАР представляет собой последовательность полей данных DATA_FIELD.

4.1.1 Требования к входному интерфейсу подсистемы адаптации режима

Блок входного интерфейса преобразует входной сигнал к внутреннему логическому (битовому) представлению системы. Далее под наиболее значимым битом подразумевается бит, полученный раньше остальных.

ППД представляет собой последовательность пакетов произвольной переменной длины UPL байтов (максимальное значение UPL составляет 9000).

В начало пакета добавляется заголовок PKTH длиной 2 байта (см. рисунок 2). Поля заголовка описаны в таблице 3.

Таблица 3 — Поля заголовка PKTH пользовательского пакета

Поле	Размер	Описание
PRIO	2 бита	Номер потока: 00_2 — поток 0 01_2 — поток 1 10_2 — поток 2 11_2 — поток 3
UPL	14 бит	Длина пользовательского пакета в байтах

Команды АМК предназначены для внешнего управления параметрами кодирования модуляции для определенного объема передаваемых входных данных.

Выход блока представлен потоками различного приоритета.

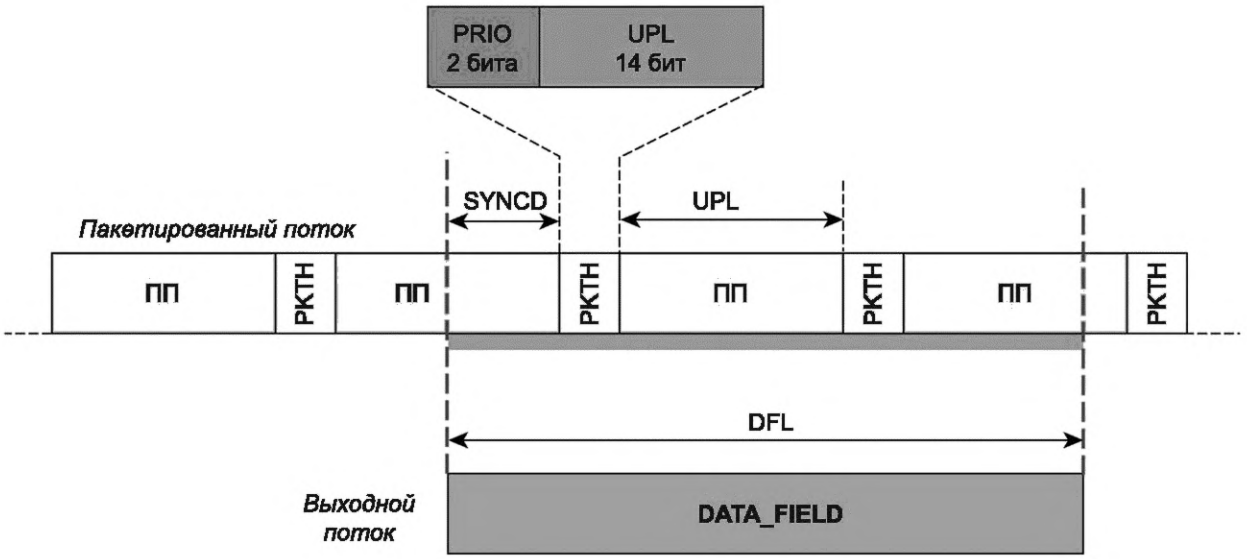

Рисунок 2 — Формат выходного потока подсистемы адаптации режима

4.1.2 Требования к блоку объединения/разделения

Входной поток БОР состоит из пакетов со встроенными заголовками. Входные потоки буферизуются в объеме, в котором БОР способен их обработать.

Блок разделения считывает с выходов буфера для записи в ПД последовательность длины K_{data} бит, где K_{data} удовлетворяет условию

$$0 \le K_{data} \le K_{bch} - 64,$$

где максимальная длина кадра K_{bch} определяется из таблиц 5, 6 и 7.

Блок объединения обобщает в единый выходной поток ПП, полученные из входных потоков различного приоритета. Политика приоритета потоков БОР не регламентируется данным стандартом.

БОР выделяет, считывает максимально допустимый объем данных вплоть до $K_{bch} - 64$, разбивая таким образом пакеты на границах смежных ПД.

Если БОР недоступны данные всех входов, ПД остается пустым.

Поскольку границы ПД соседних кадров могут проходить внутри ПП, для синхронизации приемника вычисляется количество битов от начала текущего поля данных до начала первого ПП, начало которого попадает в данный кадр (до первого заголовка ПП в ПД) и записывается подсистемой адаптации потока в поле SYNCD (отступ синхронизации) заголовка BBHEADER (см. 5.2.2). Например, SYNCD = 0 означает, что начало пакета совпадает с началом ПД.

4.2 Подсистема адаптации потока

Подсистема адаптации потока производит дополнение кадра нулями до постоянной длины K_{bch} бит, зависящей от скорости помехоустойчивого кода (см. таблицы 5, 6, 7), вставку заголовка кадра BBHEADER, генерацию кода проверки целостности данных, а также рандомизацию кадра. Заполнение применяется при недостаточном объеме данных на входе БОР ПАР.

Подсистемы принимает на вход поля данных DATA_FIELD. Выходной поток представляет собой поток кадров базовой полосы BBFRAME (см. рисунок 3).

4.2.1 Требования к блоку заполнения

Для дополнения кадра до длины K_{bch} бит в конец кадра вставляется $K_{bch} - K_{data} - 64$ нулевых бит.

4.2.2 Требования к процессу формирования заголовка кадра базовой полосы

Перед ПД ВВ-кадра вставляется заголовок BBHEADER фиксированного размера, равного 8 байтам, для описания формата ПД и контроля целостности кадра.

На рисунке 3 представлена структура BBHEADER. В таблице 4 описаны поля BBHEADER.

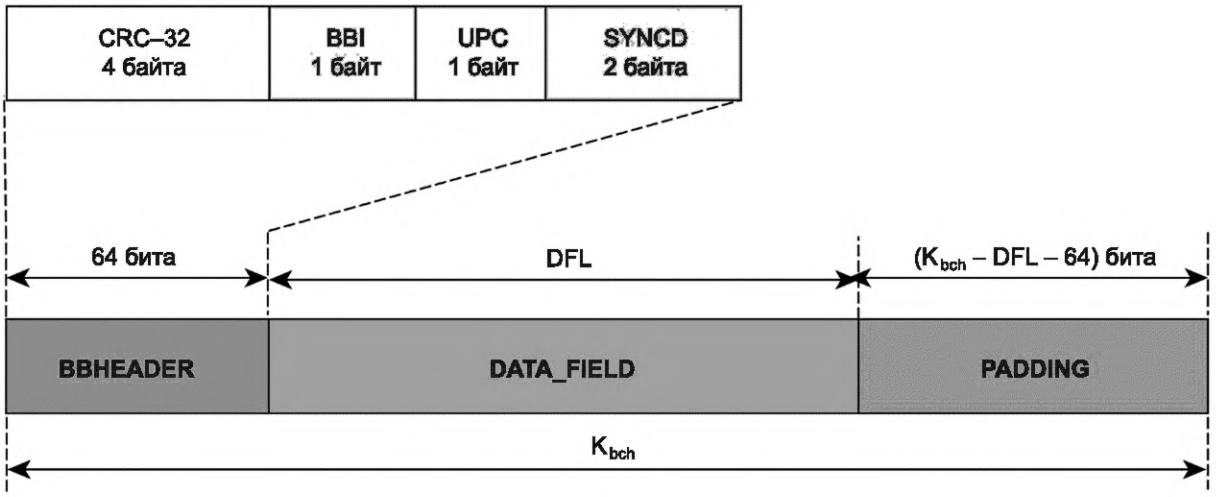

Рисунок 3 — Формат кадра базовой полосы на выходе ПАР

Таблица 4 — Поля заголовка BB-кадров

Поле	Размер	Описание
CRC-32	4 байта	CRC-код, примененный к части кадра от поля BBI заголовка до конца ПД
BBI	1 байт	Индекс текущего кадра. Каждый следующий кадр, обрабатываемый ПАР, увеличивает счетчик кадров на единицу. При переполнении счетчика он устанавливается в 0
UPC	1 байт	Количество ПП, начала которых лежат внутри данного ПД
SYNCD	2 байта	Расстояние в битах между началом ПД и началом первого ПП, начало которого попадает в данный кадр. Если ПД не содержит ни одного начала ПП, значение не регламентировано

4.2.3 Требования к кодеру CRC-32

Кодированию подвергается ПД кадра базовой полосы вместе с заголовком без поля CRC-кода.

Проверочное слово CRC-кода определяют в соответствии с описанной в приложении Д процедурой. Код CRC-32, используемый в системе «Спутник-А» и формирующий 3 бита контрольного слова на основе данного ПД, построен на следующем полиноме:

$$x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1.$$

4.2.4 Требования к рандомизатору базовой полосы

Для увеличения потенциала энергетического выигрыша через минимизацию пик-фактора при формировании радиосигнала применяется рандомизация (скремблирование) кадра. Выходная последовательность представляет собой псевдослучайную последовательность, энергия которой распределена относительно равномерно.

Для рандомизации применяется генератор псевдослучайных чисел на основе РСЛОС в соответствии с рисунком 4. Порождающий полином РСЛОС, используемый в системе «Спутник-А», имеет вид $x^{15} + x^{14} + 1$.

Для задания начального состояния РСЛОС перед передачей каждого кадра используется инициализирующая последовательность 100101010000000.

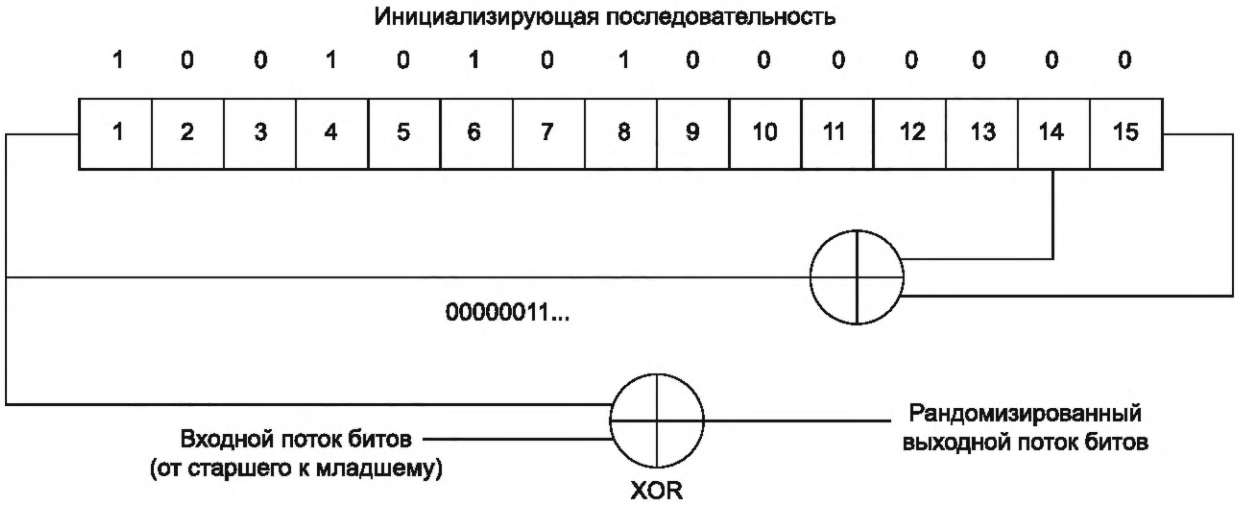

Рисунок 4 — Схема рандомизации данных

4.3 Подсистема помехоустойчивого кодирования

Данная подсистема выполняет внешнее кодирование БЧХ, внутреннее кодирование LDPC и битовое перемежение. Входной поток подсистемы состоит из кадров базовой полосы BBFRAME постоянной длины K_{bch} бит, выходной поток состоит из помехозащищенных кадров FECFRAME постоянной длины n_{ldpc} бит.

На рисунке 5 представлена структура FEC-кадра. Проверочные биты BCHFEC внешнего кода БЧХ вставляются после входного кадра BBFRAME, проверочные биты внутреннего кода LDPCFEC — после BCHFEC.

В таблице 5 даны параметры внешнего и внутреннего кодирования для длинных FEC-кадров (n_{ldpc} = 64 800 бит), в таблице 6 — для средних FEC-кадров (n_{ldpc} = 32 400 бит), в таблице 7 — для коротких FEC-кадров (n_{ldpc} = 16 200 бит). Кадры средней длины используются только при применении СНОСШ (см. приложение Ж).

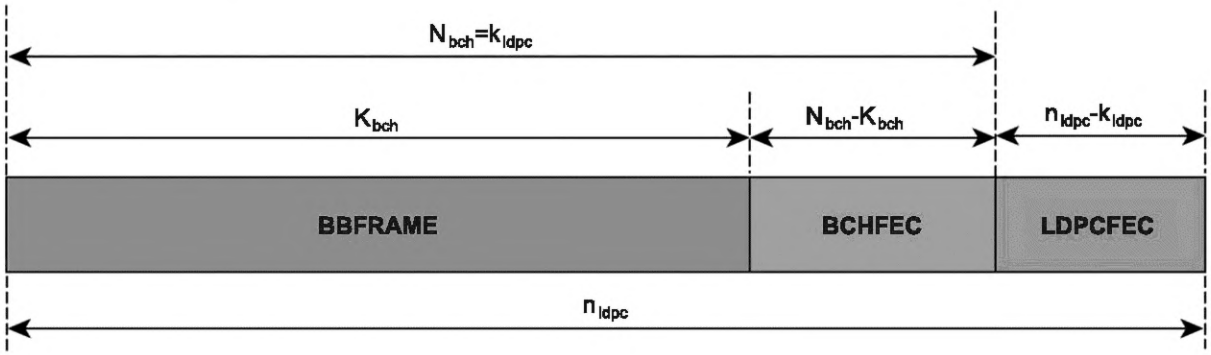

Рисунок 5 — Формат данных перед битовым перемежением (n_{ldpc} определяется длиной кадра)

Таблица 5 — Параметры кодирования для длинных FEC-кадров

Идентификатор LDPC-кода	Длина входного блока БЧХ K_{bch}	Длина выходного блока БЧХ (длина входного блока LDPC) N_{bch} (k_{ldpc})	Число ошибок, исправляемых кодом БЧХ, t	Длина выходного блока LDPC n_{ldpc}
2/9*	14 208	14 400	12	64 800
1/4	16 008	16 200	12	64 800
1/3	21 408	21 600	12	64 800

Окончание таблицы 5

Идентификатор LDPC-кода	Длина входного блока БЧХ K_{bch}	Длина выходного блока БЧХ (длина входного блока LDPC) N_{bch} (k_{ldpc})	Число ошибок, исправляемых кодом БЧХ, t	Длина выходного блока LDPC n_{ldpc}
2/5	25 728	25 920	12	64 800
1/2	32 208	32 400	12	64 800
3/5	38 688	38 880	12	64 800
2/3	43 008	43 200	12	64 800
3/4	48 408	48 600	12	64 800
4/5	51 648	51 840	12	64 800
5/6	53 840	54 000	10	64 800
8/9	57 472	57 600	8	64 800
9/10	58 192	58 320	8	64 800
* Используется только в режиме СНОСШ.				

Таблица 6 — Параметры кодирования для средних FEC-кадров (только в режиме СНОСШ)

Идентификатор LDPC-кода	Длина входного блока БЧХ K_{bch}	Длина выходного блока БЧХ (длина входного блока LDPC) N_{bch} (k_{ldpc})	Число ошибок, исправляемых кодом БЧХ, t	Реальная скорость LDPC-кода k_{ldpc}/n_{ldpc}	Длина выходного блока LDPC n_{ldpc}
1/5	6 300	6 480	12	73/405	32 400
11/45	7 740	7 920	12	11/45	32 400
1/3	10 620	10 800	12	1/3	32 400

Таблица 7 — Параметры кодирования для коротких FEC-кадров

Идентификатор LDPC-кода	Длина входного блока БЧХ K_{bch}	Длина выходного блока БЧХ (длина входного блока LDPC) N_{bch} (k_{ldpc})	Число ошибок, исправляемых кодом БЧХ, t	Реальная скорость LDPC-кода k_{ldpc}/n_{ldpc}	Длина выходного блока LDPC n_{ldpc}
1/8*	1 857	2 025	12	1/8	16 200
1/4	3 072	3 240	12	1/5	16 200
11/45*	3 792	3 960	12	11/45	16 200
4/15*	4 152	4 320	12	4/15	16 200
1/3	5 232	5 400	12	1/3	16 200
2/5	6 312	6 480	12	2/5	16 200
1/2	7 032	7 200	12	4/9	16 200
3/5	9 552	9 720	12	3/5	16 200
2/3	10 632	10 800	12	2/3	16 200
3/4	11 712	11 880	12	11/15	16 200
4/5	12 432	12 600	12	7/9	16 200
5/6	13 152	13 320	12	37/45	16 200
8/9	14 232	14 400	12	8/9	16 200
* Используется только в режиме СНОСШ.					

4.3.1 Требования к внешнему кодированию

Код БЧХ (N_{bch}, K_{bch}), исправляющий t ошибок, применяется к BB-кадру для формирования помехозащищенного пакета. Параметры кода БЧХ для итоговой длины пакета n_{ldpc} = 64 800 даны в таблице 5, для n_{ldpc} = 32 400 — в таблице 6, для n_{ldpc} = 16 200 — в таблице 7.

Для получения порождающего полинома g(x) кода коррекции t ошибок следует перемножить первые t примитивных полиномов таблицы 8 для n_{ldpc} = 64 800, таблицы 9 для n_{ldpc} = 32 400 или таблицы 10 для n_{ldpc} = 16 200.

Таблица 8 — Многочлены БЧХ для длинных FEC-кадров

$g_1(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^5 + x^{16}$
$g_2(x)$	$1 + x + x^4 + x^5 + x^6 + x^8 + x^{16}$
$g_3(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^5 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{16}$
$g_4(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^6 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{14} + x^{16}$
$g_5(x)$	$1 + x + x^2 + x^3 + x^5 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{12} + x^{16}$
$g_6(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^5 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{12} + x^{13} + x^{14} + x^{15} + x^{16}$
$g_7(x)$	$1 + x^2 + x^5 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{13} + x^{15} + x^{16}$
$g_8(x)$	$1 + x + x^2 + x^5 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{12} + x^{13} + x^{14} + x^{16}$
$g_9(x)$	$1 + x^5 + x^7 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{16}$
$g_{10}(x)$	$1 + x + x^2 + x^5 + x^7 + x^8 + x^{10} + x^{12} + x^{13} + x^{14} + x^{16}$
$g_{11}(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^5 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{13} + x^{16}$
$g_{12}(x)$	$1 + x + x^5 + x^6 + x^7 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{16}$

Таблица 9 — Многочлены БЧХ для средних FEC-кадров (только в режиме СНОСШ)

$g_1(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^5 + x^{15}$
$g_2(x)$	$1 + x + x^4 + x^7 + x^{10} + x^{11} + x^{15}$
$g_3(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^6 + x^8 + x^{10} + x^{12} + x^{13} + x^{15}$
$g_4(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^5 + x^6 + x^8 + x^{10} + x^{11} + x^{15}$
$g_5(x)$	$1 + x + x^2 + x^4 + x^6 + x^7 + x^{10} + x^{12} + x^{15}$
$g_6(x)$	$1 + x^4 + x^6 + x^7 + x^{12} + x^{13} + x^{15}$
$g_7(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^5 + x^7 + x^{11} + x^{12} + x^{14} + x^{15}$
$g_8(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{11} + x^{14} + x^{15}$
$g_9(x)$	$1 + x + x^2 + x^4 + x^5 + x^7 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{13} + x^{15}$
$g_{10}(x)$	$1 + x + x^2 + x^3 + x^4 + x^7 + x^{10} + x^{11} + x^{12} + x^{13} + x^{15}$
$g_{11}(x)$	$1 + x + x^2 + x^4 + x^9 + x^{11} + x^{15}$
$g_{12}(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^8 + x^{10} + x^{11} + x^{13} + x^{14} + x^{15}$

Таблица 10 — Многочлены БЧХ для коротких FEC-кадров

$g_1(x)$	$1 + x + x^3 + x^5 + x^{14}$
$g_2(x)$	$1 + x^6 + x^8 + x^{11} + x^{14}$
$g_3(x)$	$1 + x + x^2 + x^6 + x^9 + x^{10} + x^{14}$
$g_4(x)$	$1 + x^4 + x^7 + x^8 + x^{10} + x^{12} + x^{14}$
$g_5(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{11} + x^{13} + x^{14}$
$g_6(x)$	$1 + x^3 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{13} + x^{14}$

Окончание таблицы 10

$g_7(x)$	$1 + x^2 + x^5 + x^6 + x^7 + x^{10} + x^{11} + x^{13} + x^{14}$
$g_8(x)$	$1 + x^5 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{14}$
$g_9(x)$	$1 + x + x^2 + x^3 + x^9 + x^{10} + x^{14}$
$g_{10}(x)$	$1 + x^3 + x^6 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{14}$
$g_{11}(x)$	$1 + x^4 + x^{11} + x^{12} + x^{14}$
$g_{12}(x)$	$1 + x + x^2 + x^3 + x^5 + x^6 + x^7 + x^8 + x^{10} + x^{13} + x^{14}$

Кодирование БЧХ входной битовой информационной последовательности $m = \left(m_{K_{bch}-1}, m_{K_{bch}-2}, \ldots m_1, m_0\right)$ производят следующим образом:

- полином сообщения $m(x) = m_{K_{bch}-1}x^{K_{bch}-1} + m_{K_{bch}-2}x^{K_{bch}-2} + \cdots + m_1 x + m_0$ умножают на $x^{N_{bch}-K_{bch}}$;

- делят $m(x)x^{N_{bch}-K_{bch}}$ с остатком на порождающий многочлен $g(x)$; обозначим остаток через $d(x)$:

$d(x) = d_{N_{bch}-K_{bch}-1}x^{N_{bch}-K_{bch}-1} + d_{N_{bch}-K_{bch}-2}x^{N_{bch}-K_{bch}-2} + \cdots + d_1 x + d_0$;

- выходное кодовое слово получается объединением информационных и проверочных бит:

$c = \left(m_{K_{bch}-1}, m_{K_{bch}-2}, \ldots m_1, m_0, d_{N_{bch}-K_{bch}-1}, d_{N_{bch}-K_{bch}-2}, \ldots, d_1, d_0\right)$; его представление в виде многочлена $c(x) = m(x)x^{N_{bch}-K_{bch}} + d(x)$

4.3.2 Требования к внутреннему кодированию

LDPC-кодер преобразует битовое сообщение $i = \left(i_0, i_1, \ldots, i_{k_{ldpc}-1}\right)$ длины k_{ldpc} в кодовое слово $c = \left(i_0, i_1, \ldots, i_{k_{ldpc}-1}, p_0, p_1, \ldots p_{n_{ldpc}-k_{ldpc}-1}\right)$ длины n_{ldpc}. Длины блоков до и после кодирования (n_{ldpc}, k_{ldpc}) даны в таблицах 5, 6 и 7.

Проверочные биты $\left(p_0, p_1, \ldots p_{n_{ldpc}-k_{ldpc}-1}\right)$ определяются одним из двух алгоритмов, описанных в приложении Е. При использовании кодовых скоростей 1/8, 1/2, 2/3 для коротких кадров применяется алгоритм Б, при прочих сочетаниях кодовой скорости и длины кадра — алгоритм А.

4.3.3 Требования к битовому перемежению

Битовое перемежение применяется только при выборе модуляционных созвездий 8PSK, 16APSK, 32APSK. Цель перемежения состоит в распределении по кадру битовых ошибок, вносимых за счет передачи по каналу (предполагается, что искажения имеют локальный характер в силу объединения нескольких подряд идущих битов в один символ), в результате снижается влияние квазицикличности матрицы используемого LDPC-кода. Согласно рисункам 6 и 7 входные биты записываются в столбцы таблицы строчно-столбцового перемежителя сверху вниз слева направо и затем читаются построчно слева направо (справа налево для 8PSK при скорости проверочного кода 3/5) сверху вниз.

В таблице 11 даны параметры таблицы перемежителя для различных типов модуляции.

Таблица 11 — Параметры таблицы перемежителя

Созвездие	Число строк (n_{ldpc} = 64 800)	Число строк (n_{ldpc} = 32 400)	Число строк (n_{ldpc} = 16 200)	Число столбцов
8PSK	21 600	10 800	5 400	3
16APSK	16 200	8 100	4 050	4
32APSK	12 960	6 480	3 240	5

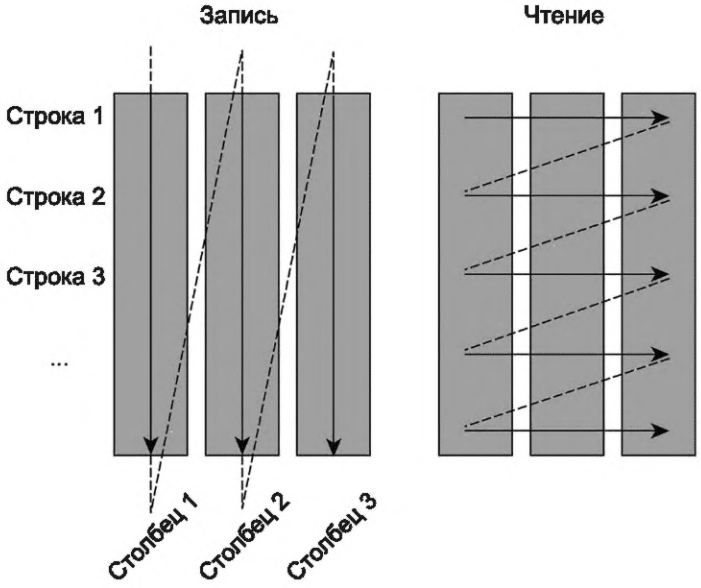

Рисунок 6 — Схема битового перемежения для всех конфигураций модулятора, кроме 8PSK при скорости кодирования 3/5

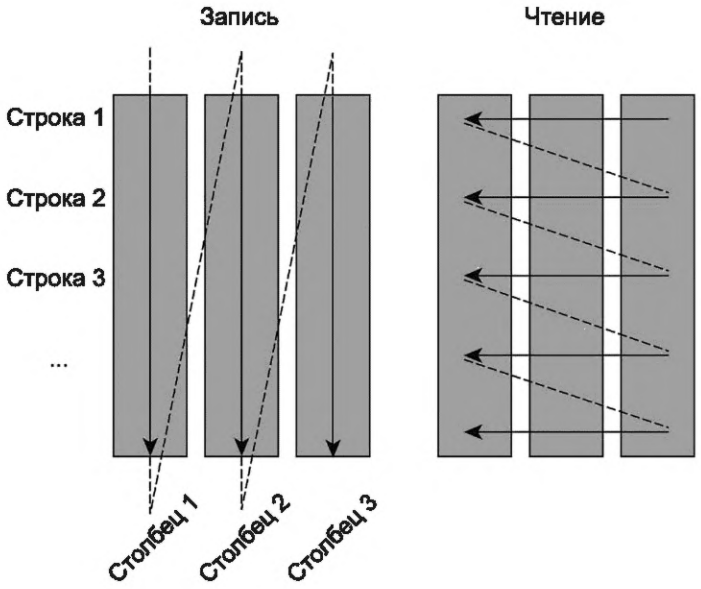

Рисунок 7 — Схема битового перемежения для 8PSK при скорости кодирования 3/5

4.4 Требования к отображению битов на созвездие (маппинг)

Блок производит разделение (мультиплексирование) битового потока FEC-кадров на несколько параллельных потоков, число которых равно битовой вместимости символа созвездия: η_{MOD} = 2 (QPSK), 3 (8PSK), 4 (16APSK), 5 (32APSK). Каждая группа параллельно следующих символов отображается на заданное созвездие, формируя таким образом на выходе маппера последовательность (I, Q)-точек комплексной плоскости длины. Созвездие π/2-BPSK (η_{MOD} = 1) используется только при применении режима СНОСШ (см. раздел 1 приложения Ж).

Последовательность модуляционных символов, формируемых из битов одного помехозащищенного кадра, называется комплексным кадром (XFEC-кадром) и имеет длину $64800/\eta_{MOD}$ в случае длинных кадров, $32400/\eta_{MOD}$ в случае средних кадров и $16200/\eta_{MOD}$ в случае коротких кадров.

Далее будут использоваться два эквивалентных представления комплексного числа: через синфазную и квадратурную составляющую (I, Q) и через модуль и фазу $\rho\exp(j\Phi)$.

4.4.1 Отображение на созвездие π/2-BPSK

Режим модуляции π/2-BPSK применяется к символам заголовка комплексного кадра (см. 5.5.1). Режим применяется к информационным символам только в режиме СНОСШ (раздел 1 приложения Ж).

В режиме модуляции π/2-BPSK (спектральная эффективность созвездия $\eta_{MOD} = 1$) применяется созвездие BPSK с чередующимися углами поворота $+\pi/4$ и $-\pi/4$ для символов с четными и нечетными индексами соответственно (см. рисунок 8). Средняя нормированная энергия на символ $\rho^2 = 1$.

Биты y_{2i}, y_{2i+1} отображаются в символы (I_{2i}, Q_{2i}), (I_{2i+1}, Q_{2i+1}), где $i = 0, 1, \ldots N/2 - 1$, а N — четно и означает число отображаемых битов по следующей формуле:

$$I_{2i} = Q_{2i} = \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - 2y_{2i}),\ i = 0,1,\ldots N/2 - 1,$$

$$I_{2i+1} = -Q_{2i+1} = -\frac{1}{\sqrt{2}}(1 - 2y_{2i+1}),\ i = 0,1,\ldots N/2 - 1.$$

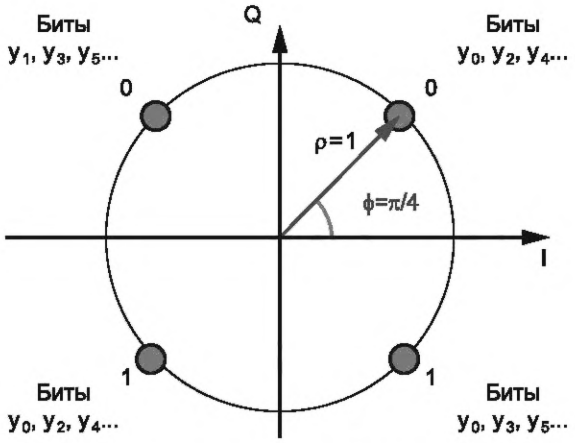

Рисунок 8 — Отображение битов на созвездие π/2-BPSK

4.4.2 Отображение на созвездие QPSK

В режиме QPSK применяется стандартное созвездие QPSK, размеченное с использованием кода Грея, в режиме абсолютного (недифференциального) отображения (см. рисунок 9). Средняя нормированная энергия на символ $\rho^2 = 1$.

Биты FEC-кадра с номерами $2i$ и $2i + 1$ задают i-й символ XFEC-кадра, где $i = 0, 1, 2, \ldots n_{ldpc}/2 - 1$.

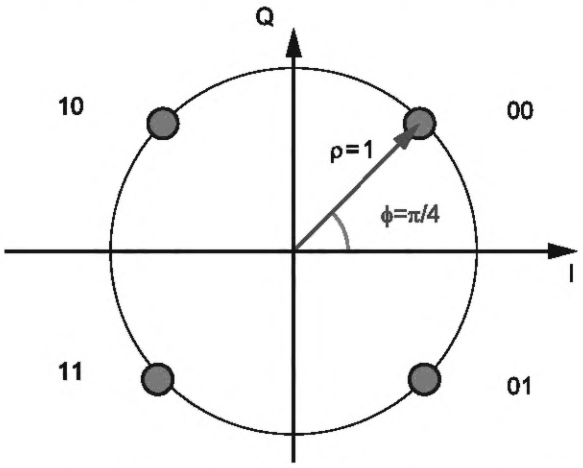

Рисунок 9 — Отображение битов на созвездие QPSK

4.4.3 Отображение на созвездие 8PSK

В режиме 8PSK применяется стандартное созвездие 8PSK, размеченное с использованием кода Грея, в режиме абсолютного (недифференциального) отображения (см. рисунок 10). Средняя нормированная энергия на символ $\rho^2 = 1$.

Биты кадра FEC-кадра с номерами $3i$, $3_i + 1$ и $3i + 2$ задают i-й символ XFEC-кадра, где $i = 0, 1, 2, \ldots n_{ldpc}/3 - 1$.

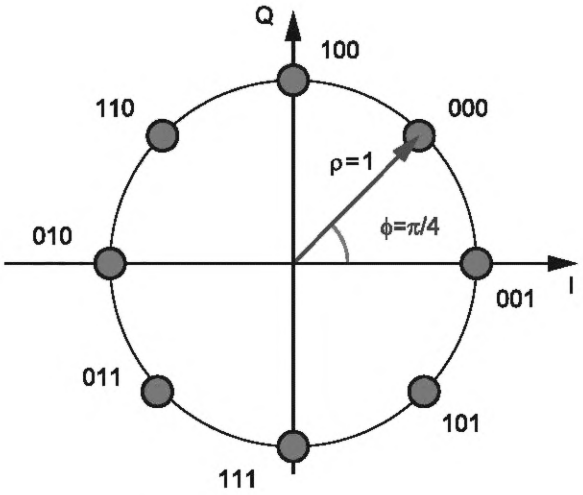

Рисунок 10 — Отображение битов на созвездие 8PSK

4.4.4 Отображение на созвездие 16APSK

Созвездие 16APSK представляет собой совокупность точек двух концентрических созвездий фазовой манипуляции с четырьмя и 12 символами, равномерно распределенными по окружностям меньшего радиуса R_1 и большего радиуса R_2 (см. рисунок 11). Отношение радиусов окружностей $\nu = R_2/R_1$ задается в соответствии с таблицей 12.

Таблица 12 — Оптимальное соотношение γ радиусов окружностей созвездия 16APSK

Скорость кода	Спектральная эффективность модуляции и кодирования	γ
2/3	2,66	3,15
3/4	2,99	2,85
4/5	3,19	2,75
5/6	3,32	2,70
8/9	3,55	2,60
9/10	3,59	2,57

Допускаются два способа нормирования амплитуд точек:

- E = 1 (где E – средняя энергия символа созвездия), равносильно $R^2_1 + 3R^2_2 = 4$;
- $R_2 = 1$.

Биты кадра FEC-кадра с номерами $4i$, $4i + 1$, $4i + 2$ и $4i + 3$ задают i-й символ XFEC-кадра, где $i = 0, 1, 2, \ldots n_{ldpc}/4 - 1$.

4.4.5 Отображение на созвездие 32APSK

Созвездие 32APSK представляет собой совокупность точек трех концентрических созвездий фазовой манипуляции с четырьмя, 12 и 16 символами, равномерно распределенными по окружностям меньшего радиуса R_1, среднего радиуса R_2 и большего радиуса R_3 (см. рисунок 12). Отношения радиусов окружностей $\gamma_1 = R_2/R_1$, $\gamma_2 = R_3/R_1$, задаются в соответствии с таблицей 13.

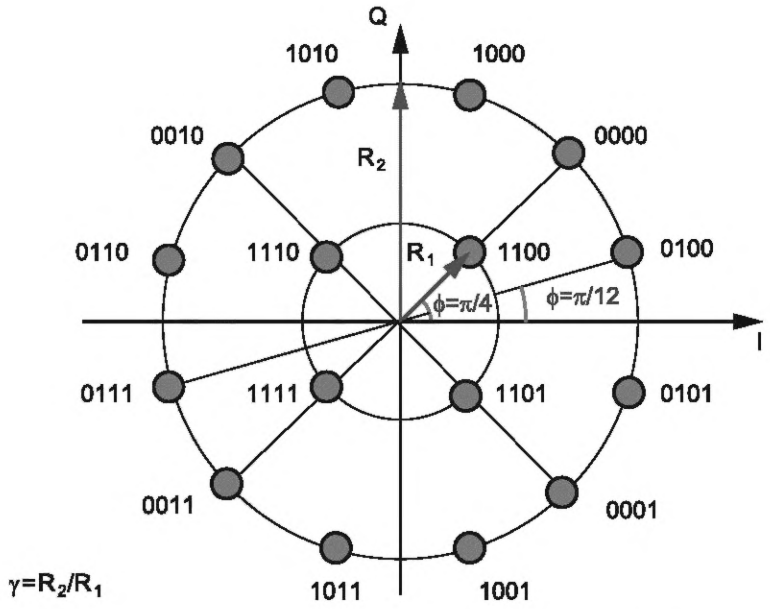

Рисунок 11 — Отображение битов на созвездие 16APSK

Таблица 13 — Оптимальные соотношения γ_1 и γ_2 радиусов окружностей созвездия 32APSK

Скорость кода	Спектральная эффективность модуляции и кодирования	γ_1	γ_2
3/4	3,74	2,84	5,27
4/5	3,99	2,72	4,87
5/6	4,15	2,64	4,64
8/9	4,43	2,54	4,33
9/10	4,49	2,53	4,30

Допускаются два способа нормировки амплитуд точек:

- E = 1 (где E – средняя энергия символа созвездия), равносильно $R^2_1 + 3R^2_2 + 4R^2_3 = 8$;
- $R_3 = 1$.

Биты кадра FEC-кадра с номерами $5i$, $5i + 1$, $5i + 2$, $5i + 3$ и $5i + 4$ задают i-й символ XFEC-кадра, где $i = 0, 1, 2, \ldots n_{ldpc}/5 - 1$.

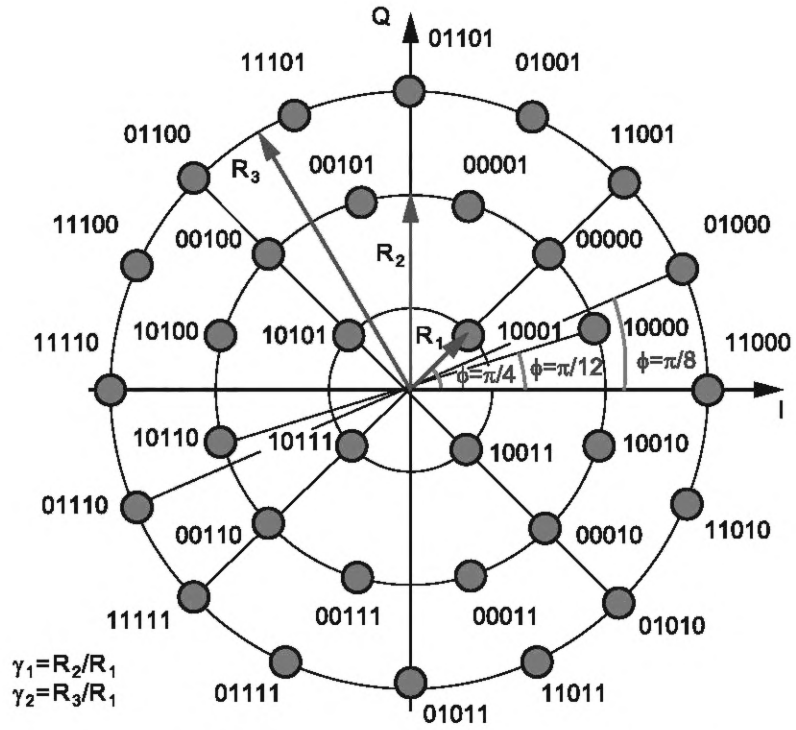

Рисунок 12 — Отображение битов на созвездие 32APSK

4.5 Требования к формированию кадров физического уровня

В данном подразделе описывается работа формирователя кадров физического уровня вне режима СНОСШ. Описание работы в режиме СНОСШ дано в приложении Ж.

Подсистема формирования кадров физического уровня (PL-кадров) выполняет следующие задачи (см. рисунки 1 и 13):

- разбиение XFEC-кадров на целое число S слотов SLOT, имеющих равную длину M = 90 символов (значения S приведены в таблице 14);
- формирование заголовка кадра физического уровня PLHEADER и его вставка перед кадром XFECFRAME для передачи параметров приемнику; PLHEADER должен иметь длину одного слота M = 90 символов;
- вставка пилотных блоков (для режимов передачи с пилотами) между каждыми 16 информационными слотами для улучшения синхронизации; пилотный блок состоит из P = 36 пилотных символов;
- скремблирование модулированных комплексных символов с помощью рандомизатора физического уровня.

Таблица 14 — Число слотов пользовательской информации и коэффициенты эффективности XFEC-кадра в режимах пепредачи без пилотов и с пилотами

	n_{ldpc} = 64 800 (длинный кадр)			n_{ldpc} = 16 200 (короткий кадр)		
η_{MOD}, бит/с/Гц	S	$\eta_{б/п}$, %	$\eta_{п}$, %	S	$\eta_{б/п}$, %	$\eta_{п}$, %
2	360	99,72	97,35	90	98,80	96,77
3	240	99,59	97,32	60	98,36	96,46
4	180	99,45	97,09	45	97,83	96,15
5	144	99,31	97,17	36	97,30	95,24

Входным потоком подсистемы является последовательность комплексных помехозащищенных кадров XFECFRAME, выходным — последовательность рандомизированных кадров физического уровня PLFRAME.

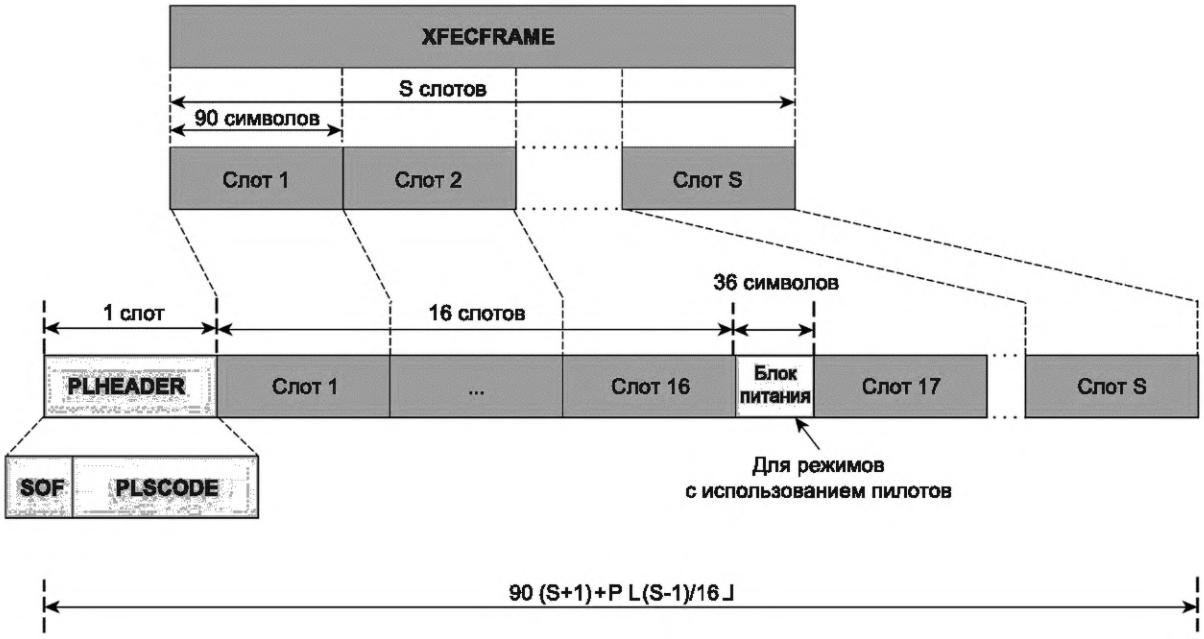

Рисунок 13 — Структура кадра физического уровня PLFRAME

Эффективность XFEC-кадра η рассчитывается как отношение количества информационных символов к общему числу символов кадра

$$\eta = \frac{90S}{90(S+1)+P\left\lfloor \frac{S-1}{16} \right\rfloor}.$$

Расчет эффективности кадра в режимах без использования пилотов $\eta_{б/п}$ и с использованием пилотов $\eta_{п}$ для различных длин FEC-кадров n_{ldpc} и значения спектральной эффективности η_{MOD} созвездий модуляции приведены в таблице 15.

4.5.1 Сигнализация физического уровня

Сигнализация физического уровня состоит в добавлении в начало FEC-кадра заголовка физического уровня.

Заголовок физического уровня PLHEADER предназначен для синхронизации приемника с передатчиком и содержит данные о применении режима СНОСШ (см. приложение Ж), о длине и структуре текущего PL-кадра, типе модуляции и скорости кодирования XFEC-кадра, наличии или отсутствии пилотных символов.

Заголовок PLHEADER (90 комплексных символов) в битовом представлении (y_0, y_1, … y_{89}) состоит из двух полей:

- SOF (26 бит) обозначает начало кадра;
- PLS-код (64 бита) (код сигнализации физического уровня) представляет собой несистематический двоичный код длины 64, размерности 7 с минимальным кодовым расстоянием 32, равнозначный коду Рида-Маллера первого порядка с перестановкой, примененный к 7 битам входного слова, состоящего из полей MODCOD и TYPE:
  - MODCOD (5 бит) фиксирует, используется ли СНОСШ, и определяет тип модуляции и скорость FEC-кодирования;
  - TYPE (2 бита) определяет длину FEC-кадра (64 800 бит или 16 200 бит) и наличие/отсутствие пилотов.

Символьное представление заголовка (I_i, Q_i) (i = 0, 1,… 89) связано с его представлением в виде двоичной последовательности (y_0, y_1, … y_{89}) через модуляцию по созвездию π/2-BPSK.

4.5.1.1 Поле SOF

Поле SOF (начало кадра) заполняется последовательностью $10967C6_{16}$ и используется для синхронизации.

4.5.1.2 Поле MODCOD

Поле MODCOD состоит из 5 бит. Вне режима СНОСШ поле MODCOD принимает значения от 1_{10} до 28_{10} и определяет скорость кода (η_C = [1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10]) и тип модуляции (вместимость символа η_{MOD} = [2, 3, 4, 5]) согласно таблице 15. Значения поля MODCOD в режиме СНОСШ описаны в пункте 2.2.1 приложения Ж.

Таблица 15 — Значения поля MODCOD

Режим	MODCOD	Режим	MODCOD	Режим	MODCOD	Режим	MODCOD
QPSK 1/4	1_{10}	QPSK 5/6	9_{10}	8PSK 9/10	17_{10}	32APSK 4/5	25_{10}
QPSK 1/3	2_{10}	QPSK 8/9	10_{10}	16APSK 2/3	18_{10}	32APSK 5/6	26_{10}
QPSK 2/5	3_{10}	QPSK 9/10	11_{10}	16APSK 3/4	19_{10}	32APSK 8/9	27_{10}
QPSK 1/2	4_{10}	8PSK 3/5	12_{10}	16APSK 4/5	20_{10}	32APSK 9/10	28_{10}
QPSK 3/5	5_{10}	8PSK 2/3	13_{10}	16APSK 5/6	21_{10}	СНОСШ-1	29_{10}
QPSK 2/3	6_{10}	8PSK 3/4	14_{10}	16APSK 8/9	22_{10}	СНОСШ-2	30_{10}
QPSK 3/4	7_{10}	8PSK 5/6	15_{10}	16APSK 9/10	23_{10}	СНОСШ-3	31_{10}
QPSK 4/5	8_{10}	8PSK 8/9	16_{10}	32APSK 3/4	24_{10}	Зарезерв.	0_{10}

4.5.1.3 Поле TYPE

Вне режима СНОСШ первый бит поля TYPE определяет длину кадра FEC-кадра: 0 — длинный кадр (64 800 бит), 1 — короткий кадр (16 200 бит).

Второй бит поля TYPE определяет конфигурацию пилотов: 0 — пилоты не применяются, 1 — пилоты применяются.

4.5.1.4 PLS-код

К 7 битам полей MODCODE b_1, b_2, ... b_5 и TYPE b_6, b_7 применяется код (64,7), который строится на основе кода (32,6), описанного ниже, по схеме, представленной на рисунке 14.

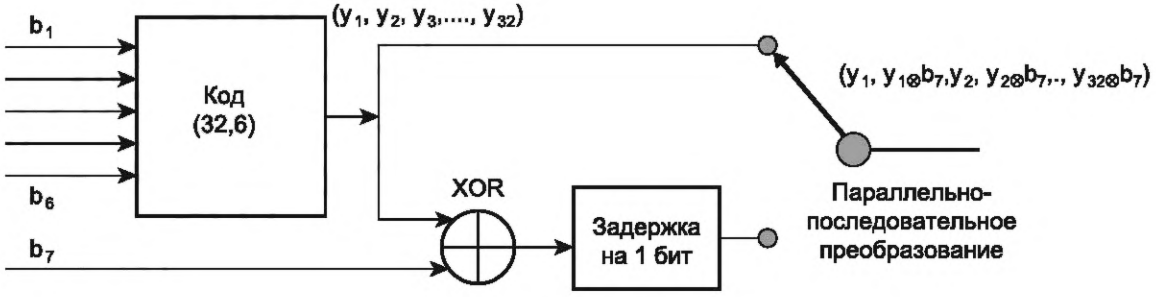

Рисунок 14 — Блок-схема формирования PLS-кода

Данный способ построения гарантирует, что каждый бит с нечетным индексом либо всегда равен предыдущему, либо всегда ему обратен. Выбор одного из двух случаев зависит от значения бита b_7. Данная особенность может быть использована при применении когерентного детектирования.

5 бит поля MODCOD и первый бит поля TYPE линейно кодируются с помощью кода (32,6) со следующей порождающей матрицей:

$$G = \begin{Vmatrix} 01010101010101010101010101010101 \\ 00110011001100110011001100110011 \\ 00001111000011110000111100001111 \\ 00000000111111110000000011111111 \\ 00000000000000001111111111111111 \\ 11111111111111111111111111111111 \end{Vmatrix}.$$

Полученные 64 бита PLS-кода скремблируются побитовым сложением со следующей последовательностью: 0010010110111011001101010111111000001000011000101001111010001110.

4.5.2 Вставка пилотов

Возможны конфигурации кадра физического уровня с применением пилотов и без них.

В случае применения пилотов после каждого 16-го информационного слота кадра после PLHEADER вставляют блок пилотов, представляющий собой последовательность P = 36 немодулированных символов $I = 1/\sqrt{2}$, $Q = 1/\sqrt{2}$. Если последний пилотный блок располагается непосредственно перед SOF-полем следующего кадра, блок не передается.

4.5.3 Рандомизация физического уровня

Перед модуляцией каждый кадр физического уровня PLFRAME, за исключением его заголовков PLHEADER и VLSNR (в режиме СНОСШ), для распределения энергии рандомизируется: каждый элемент $I + jQ$ умножается на соответствующий элемент комплексной рандомизирующей последовательности $C_I + jC_Q$, описанной ниже.

Примечание — Рандомизация сигнала не изменяет скорости следования битов, поэтому не влияет на ширину полосы сигнала. Период комплексной рандомизирующей последовательности гарантированно превышает максимальную длину кадра комплексных символов без заголовков, равную 33 984 символам, достигаемую в случае применения режима СНОСШ-1 (см. раздел 2 приложения Ж).

Рандомизирующая последовательность заново инициализируется после каждого PLHEADER. Длина кадра PLFRAME варьируется в зависимости от выбранного режима модуляции, поэтому рандомизирующая последовательность обрезается до длины текущего кадра. Данная последовательность формируется по описанному ниже алгоритму.

Вначале генерируются две двоичные последовательности максимальной длины $(2^{18} - 1)$, порожденные многочленами степени 18. Данные последовательности, далее обозначаемые через x и y, генерируются РСЛОС, заданными с помощью примитивных многочленов $1 + x^7 + x^{18}$ и $1 + y^5 + y^7 + y^{10} + y^{18}$ над полем GF(2) соответственно, со следующими начальными условиями:

- $x(0) = 1$, $x(1) = x(2) = \ldots = x(17) = 0$;
- $y(0) = y(1) = \ldots = y(17) = 1$,

где через $x(i)$ и $y(i)$ обозначаются элементы с номерами i последовательностей x, y.

Далее на основе последовательности x и y формируется двоичная последовательность Голда с номером n, обозначаемая через z_n, где $n = 0, 1, 2, \ldots, 2^{18} - 2$, следующим образом:

$$z_n(i) = x((i + n)\ mod(2^{18} - 1)) \oplus y(i).$$

Полученная двоичная последовательность преобразуется в целочисленную действительную последовательность R_n, принимающую значения {0, 1, 2, 3}, по следующей формуле

$$R_n(i) = 2z_n((i + 131\ 072), mod(2^{18} - 1)) + z_n(i).$$

Окончательно n-я комплексная рандомизирующая последовательность $C_I(i) + jC_Q(i)$ определяется как

$$C_I(i) + jC_Q(i) = exp\left(jR_n(i)\frac{\pi}{2}\right).$$

Параметр n задается равным 0.

Примечание — Номер рандомизирующей последовательности n может принимать значения от 0 до 262 142. Применение последовательностей с различными номерами позволяет снизить уровень интерференции между потоками передачи. С той же целью в различных каналах могут использовать сдвинутые копии одной и той же рандомизирующей последовательности.

Зависимость значений выходной рандомизированной последовательности ($I_{ранд}$, $Q_{ранд}$) от входных значений (I, Q) и значений действительной целочисленной последовательности R_n отражена в таблице 16.

Таблица 16 — Соотношение значений последовательности R_n и значений рандомизированной последовательности

R_n	$exp\ (j\ R_n\ \pi/2)$	$I_{ранд}$	$Q_{ранд}$
0	1	I	Q
1	J	$-Q$	I

Окончание таблицы 16

R_n	$exp\ (j\ R_n\ \pi/2)$	$I_{ранд}$	$Q_{ранд}$
2	–1	–*I*	–*Q*
3	–*j*	Q	–*I*

Возможная реализация рандомизатора в виде блок-схемы представлена на рисунке 15.

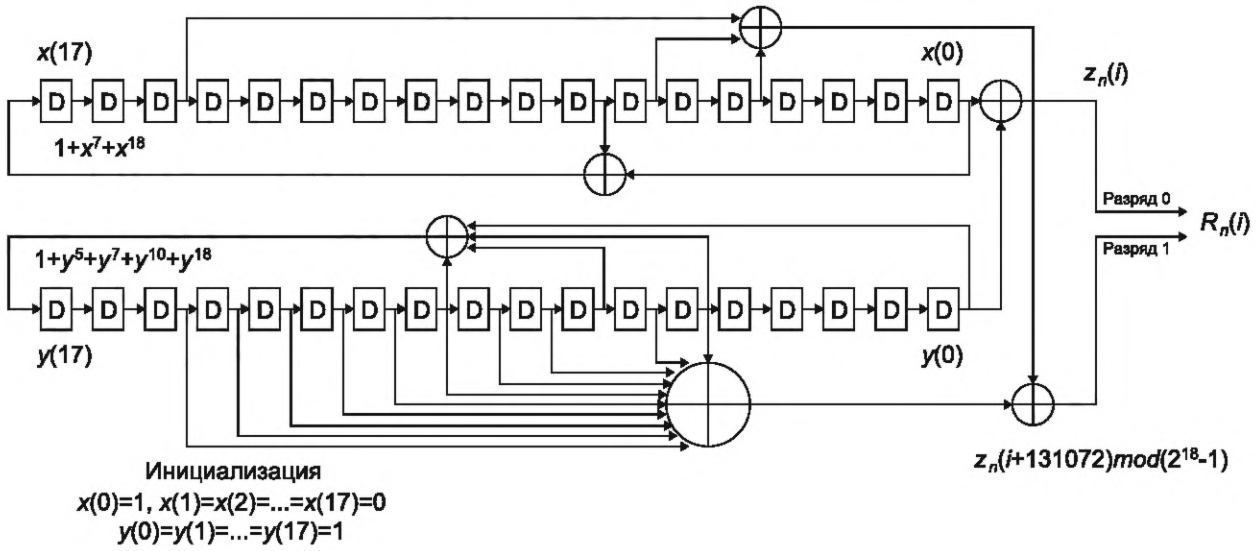

Рисунок 15 — Схема рандомизации физического уровня для $n = 0$

4.6 Требования к формированию полосы пропускания

Блок модуляции выполняет фильтрацию базовой полосы и полосовую модуляцию рандомизированного комплексного сигнала.

После рандомизации сигналы пропускаются через фильтр «корень приподнятого косинуса» (фильтр Найквиста). Коэффициент сглаживания α может принимать значения {0,35; 0,25; 0,2} в зависимости от требований обслуживаемого сервиса: более крутой спад (α = 0,25, α = 0,2)) позволяет повысить пропускную способность системы, но может создать значительные нелинейные искажения при приеме со спутника при работе с одной несущей.

Фильтр Найквиста определяется АЧХ, теоретически равной

$$f(x) = \begin{cases} 1, \ |f| < f_N(1-\alpha), \\ \left\{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\sin\frac{\pi}{2f_N}\left[\frac{f_N - |f|}{\alpha}\right]\right\}^{\frac{1}{2}}, \ f_N(1-\alpha) < |f| < f_N(1+\alpha), \\ 0, \ |f| > f_N(1+\alpha), \end{cases}$$

где $f_N = \frac{1}{2T_s} = \frac{R_s}{2}$ частота Найквиста, α — коэффициент сглаживания.

Шаблонный спектр сигнала представлен в приложении А.

4.7 Требования к мультиплексору физического уровня

Мультиплексор физического уровня выполняет сложение сигналов, не являющихся связанными, выполняя временны́е задержки и частотные смещения входных сигналов согласно параметрам частотно-временного плана.

4.8 Физическое устройство модуляции

Физическое устройство модуляции состоит из цифроаналогового преобразователя (ЦАП) и квадратурного модулятора.

4.8.1 Требования к цифроаналоговому преобразователю

ЦАП выполняет преобразование комплексной огибающей сигнала от вида последовательности отчетов к виду аналогового сигнала.

4.8.2 Требования к квадратурной модуляции

Квадратурная модуляция может быть произведена умножением синфазной и квадратурной составляющих сигнала базовой полосы (после фильтрации) на $\cos(2\pi f_0 t)$ и $\sin(2\pi f_0 t)$ соответственно с их последующим сложением.

Приложение А
(обязательное)

Радиочастотные характеристики системы

На рисунке А.1 приведен шаблон спектра сигнала на выходе модулятора, а также АЧХ возможной реализации фильтра Найквиста. На рисунке А.2 изображена относительная групповая задержка для аппаратной реализации фильтра Найквиста.

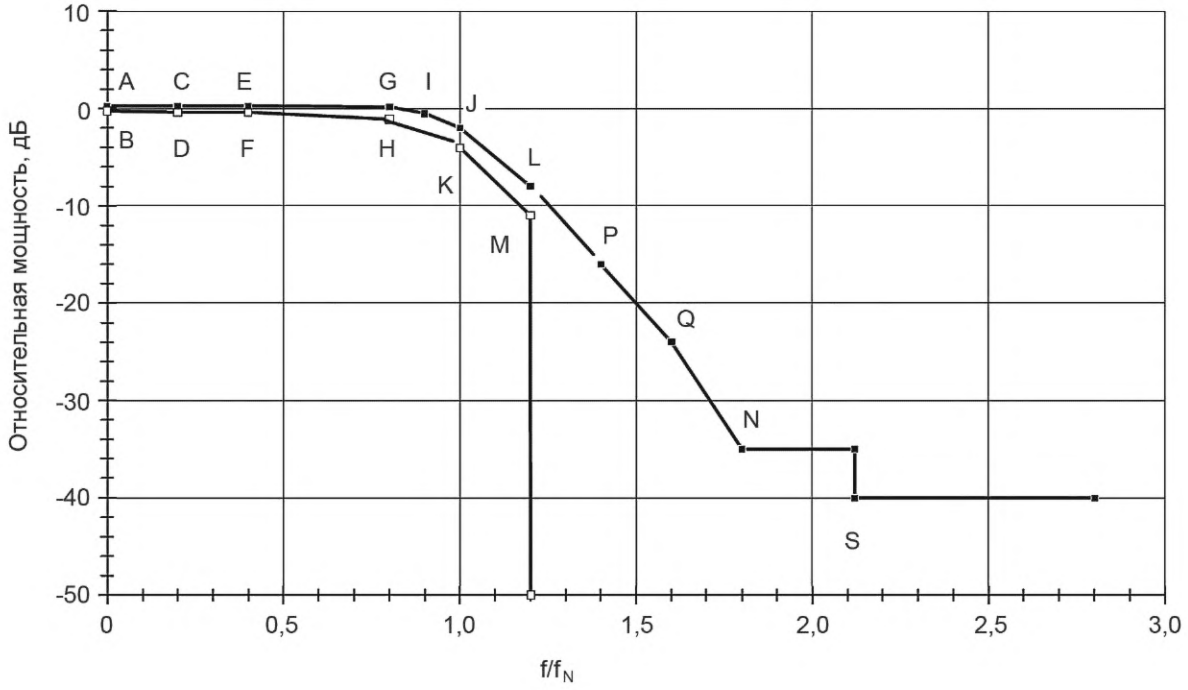

Рисунок А.1 — Шаблон полосы спектра сигнала на выходе модулятора для коэффициента сглаживания α = 0,35 и АЧХ аппаратной реализации фильтра Найквиста

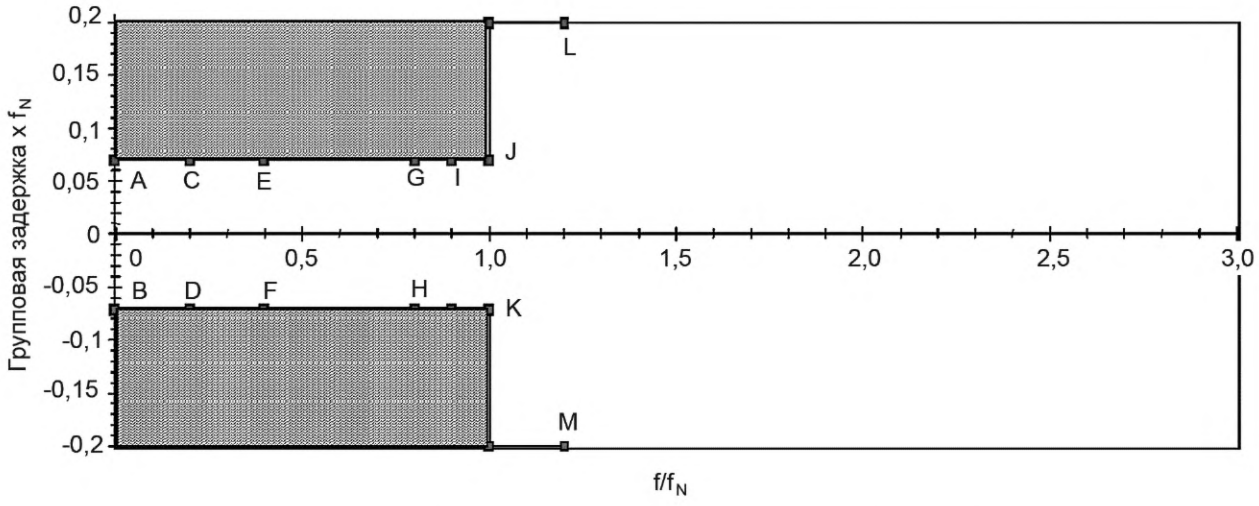

Рисунок А.2 — Шаблон групповой задержки фильтра Найквиста

Определение точек A-S рисунков А.1, А.2 дано в таблице А.1. Частотные характеристики фильтра строятся в предположении, что на вход подаются идеальные импульсы дельта-функции Дирака с интервалом, равным длине символа: $T_s = 1/R_s = 1/2f_N$, причем в случае П-образных сигналов должна производиться соответствующая sinc-коррекция.

Таблица А.1 — Определение точек шаблонов, приведенных на рисунках А.1, А.2; f_N — частота Найквиста

Точка	Относительная частота f/f_N при $\alpha = 0,35$	Относительная частота f/f_N при $\alpha = 0,25$	Относительная частота f/f_N при $\alpha = 0,2$	Относительная мощность, дБ	Относительная групповая задержка, $\tau_{гр} \cdot f_N$
A	0,0	0,0	0,0	+0,25	+0,07
B	0,0	0,0	0,0	–0,25	–0,07
C	0,2	0,2	0,2	+0,25	+0,07
D	0,2	0,2	0,2	–0,40	–0,07
E	0,4	0,4	0,4	+0,25	+0,07
F	0,4	0,4	0,4	–0,40	–0,07
G	0,8	0,86	0,89	+0,15	+0,07
H	0,8	0,86	0,89	–1,10	–0,07
I	0,9	0,93	0,94	–0,50	+0,07
J	1,0	1,0	1,0	–2,00	+0,07
K	1,0	1,0	1,0	–4,00	–0,07
L	1,2	1,13	1,11	–8,00	—
M	1,2	1,13	1,11	–11,00	—
N	1,8	1,60	1,5	–35,00	—
P	1,4	1,30	1,23	–16,00	—
Q	1,6	1,45	1,4	–24,00	—
S	2,12	1,83	1,7	–40,00	—

Приложение Б
(обязательное)

Координаты ненулевых элементов матрицы LDPC-кода для n_{lpdc} = 64 800

К длинным кадрам применяется алгоритм кодирования А. Проверочная матрица H имеет размер $(n_{ldpc} - k_{ldpc})\cdot n_{ldpc}$ и состоит из двух частей

$$H = [H_1 H_2],$$

где H_1 — псевдослучайная компонента размера $(n_{ldpc} - k_{ldpc})\cdot k_{ldpc}$, описание которой дается ниже, а H_2 — постоянная часть размера $(n_{ldpc} - k_{ldpc})\cdot(n_{ldpc} - k_{ldpc})$, имеющая вид аккумулятора: элементы на главной диагонали, а также непосредственно над главной диагональю равны 1, прочие элементы равны 0

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Матрица H_1 состоит из вертикально объединенных подматриц размера $360\cdot k_{ldpc}$. В строках приведенных ниже таблиц Б.1—Б.12 даны координаты ненулевых элементов верхних строк каждой из подматриц. Строка с номером ζ ($\zeta \in \{1, \dots, 359\}$) подматрицы получается с помощью циклического сдвига на ζ позиций вправо верхней строки подматрицы. Нумерация строк и столбцов начинается с 0.

При наличии в записи горизонтальных разделителей строки между двумя разделителями должны считаться единой строкой таблицы, в противном случае строки таблицы определяются одной строкой в записи.

При наличии в записи вертикальных разделителей запись произведена в несколько колонок и строки, приведенные в колонках, считаются продолжением предыдущей части таблицы, причем колонки читаются слева направо.

Таблица Б.1 — Скорость 2/9 (только в режиме СНОСШ)

5332	8018	35444	13098	9655	41945	44273	22741	9371	8727	43219
41410	43593	14611	46707	16041	1459	29246	12748	32996	676	46909
9340	35072	35640	17537	10512	44339	30965	25175	9918	21079	29835
3332	12088	47966	25168	50180	42842	40914	46726	17073	41812	34356
15159	2209	7971	22590	20020	27567	4853	10294	38839	15314	49808
20936	14497	23365	22630	38728	28361	34659	956	8559	44957	22222
28043	4641	25208	47039	30612	25796	14661	44139	27335	12884	6980
32584	33453	1867	20185	36106	30357	809	28513	46045	27862	4802
43744	13375	36066	23604	30766	6233	45051	23660	20815	19525	25207
27522	3854	9311	21925	41107	25773	26323	24237	24344	46187	44503
10256	20038	12177	26635	5214	14191	34404	45807	4938	4173	31344
32043	26501	46725	4648	16718	31060	26633	19036	14222	13886	26535
18103	8498	36814	34600	36495	36712	29833	27396	11877	42861	1834
36592	1645	3649	30521	14674	3630	890	13307	41412	24682	9907
4401	44543	13784	5828	32862	25179	29736	39614	5186	49749	38317
41460	39101	50080	40137	32691	26528	35332	44067	8467	14286	10470
12211	34019	37870	36918	36419	33153	50070	41498	47741	30538	12342
33751	23988	33624	41882	34075	25552	3106	17611	13190	29336	312
5667	35483	35460	16153	37267	28308	50009	46345	34204	32756	38243
5657	24157	36834	6890	49576	46244	43875	16738	47225	2944	36882
30341	48485	3700								
14451	20438	18875								
13634	41138	42962								
46459	13369	27974								
21493	14629	2369								
11351	40226	42457								

Окончание таблицы Б.1

34749	39000	3912
18128	46776	47055
2221	26806	11345
35143	630	2229
44009	41295	34646
32163	16657	26544
31770	23641	43623
45826	10902	39490
7514	20480	28511
11429	19834	35430
50112	38163	5738
16191	16862	6783
6085	39149	34988
41497	32023	28688

Таблица Б.2 — Скорость 1/4

23606	36098	1140	28859	18148	18510	6226	540	42014	20879	23802	47088
16419	24928	16609	17248	7693	24997	42587	16858	34921	21042	37024	20692
1874	40094	18704	14474	14004	11519	13106	28826	38669	22363	30255	31105
22254	40564	22645	22532	6134	9176	39998	23892	8937	15608	16854	31009
8037	40401	13550	19526	41902	28782	13304	32796	24679	27140	45980	10021
40540	44498	13911	22435	32701	18405	39929	25521	12497	9851	39223	34823
15233	45333	5041	44979	45710	42150	19416	1892	23121	15860	8832	10308
10468	44296	3611	1480	37581	32254	13817	6883	32892	40258	46538	11940
6705	21634	28150	43757	895	6547	20970	28914	30117	25736	41734	11392
22002	5739	27210	27828	34192	37992	10915	6998	3824	42130	4494	35739
8515	1191	13642	30950	25943	12673	16726	34261	31828	3340	8747	39225
18979	17058	43130	4246	4793	44030	19454	29511	47929	15174	24333	19354
16694	8381	29642	46516	32224	26344	9405	18292	12437	27316	35466	41992
15642	5871	46489	26723	23396	7257	8974	3156	37420	44823	35423	13541
42858	32008	41282	38773	26570	2702	27260	46974	1469	20887	27426	38553
22152	24261	8297									
19347	9978	27802									
34991	6354	33561					11171	23709	22460		
29782	30875	29523					34541	9937	44500		
9278	48512	14349					14035	47316	8815		
38061	4165	43878					15057	45482	24461		
8548	33172	34410					30518	36877	879		
22535	28811	23950					7583	13364	24332		
20439	4027	24186					448	27056	4682		
38618	8187	30947					12083	31378	21670		
35538	43880	21459					1159	18031	2221		
7091	45616	15063					17028	38715	9350		
5505	9315	21908					17343	24530	29574		
36046	32914	11836					46128	31039	32818		
7304	39782	33721					20373	36967	18345		
16905	29962	12980					46685	20622	32806		

Таблица Б.3 — Скорость 1/3

34903	20927	32093	1052	25611	16093	16454	5520	506	37399	18518	21120	
11636	14594	22158	14763	15333	6838	22222	37856	14985	31041	18704		
32910	17449	1665	35639	16624	12867	12449	10241	11650	25622	34372	19878	26894
29235	19780	36056	20129	20029	5457	8157	35554	21237	7943	13873	14980	
9912	7143	35911	12043	17360	37253	25588	11827	29152	21936	24125		
40870	40701	36035	39556	12366	19946	29072	16365	35495	22686	11106	8756	34863
19165	15702	13536	40238	4465	40034	40590	37540	17162	1712	20577	14138	
31338	19342	9301	39375	3211	1316	33409	28670	12282	6118	29236	35787	
11504	30506	19558	5100	24188	24738	30397	33775	9699	6215	3397	37451	
34689	23126	7571	1058	12127	27518	23064	11265	14867	30451	28289	2966	
11660	15334	16867	15160	38343	3778	4265	39139	17293	26229	42604	13486	
31497	1365	14828	7453	26350	41346	28643	23421	8354	16255	11055	24279	
15687	12467	13906	5215	41328	23755	20800	6447	7970	2803	33262	39843	
5363	22469	38091	28457	36696	34471	23619	2404	24229	41754	1297	18563	
3673	39070	14480	30279	37483	7580	29519	30519	39831	20252	18132	20010	
34386	7252	27526	12950	6875	43020	31566	39069	18985	15541	40020	16715	
1721	37332	39953	17430	32134	29162	10490	12971	28581	29331	6489	35383	
736	7022	42349	8783	6767	11871	21675	10325	11548	25978	431	24085	
1925	10602	28585	12170	15156	34404	8351	13273	20208	5800	15367	21764	
16279	37832	34792	21250	34192	7406	41488	18346	29227	26127	25493	7048	
39948	28229	24899										
17408	14274	38993										
38774	15968	28459					40651	42810	25709			
41404	27249	27425					31557	32138	38142			
41229	6082	43114					18624	41867	39296			
13957	4979	40654					37560	14295	16245			
3093	3438	34992					6821	21679	31570			
34082	6172	28760					25339	25083	22081			
42210	34141	41021					8047	697	35268			
14705	17783	10134					9884	17073	19995			
41755	39884	22773					26848	35245	8390			
14615	15593	1642					18658	16134	14807			
29111	37061	39860					12201	32944	5035			
9579	33552	633					25236	1216	38986			
12951	21137	39608					42994	24782	8681			
38244	27361	29417					28321	4932	34249			
2939	10172	36479					4107	29382	32124			
29094	5357	19224					22157	2624	14468			
9562	24436	28637					38788	27081	7936			
40177	2326	13504					4368	26148	10578			
6834	21583	42516					25353	4122	39751			

Таблица Б.4 — Скорость 2/5

31413	18834	28884	947	23050	14484	14809	4968	455	33659	16666	19008
13172	19939	13354	13719	6132	20086	34040	13442	27958	16813	29619	16553
1499	32075	14962	11578	11204	9217	10485	23062	30936	17892	24204	24885
32490	18086	18007	4957	7285	32073	19038	7152	12486	13483	24808	21759
32321	10839	15620	33521	23030	10646	26236	19744	21713	36784	8016	12869
35597	11129	17948	26160	14729	31943	20416	10000	7882	31380	27858	33356
14125	12131	36199	4058	35992	36594	33698	15475	1566	18498	12725	7067
17406	8372	35437	2888	1184	30068	25802	11056	5507	26313	32205	37232
15254	5365	17308	22519	35009	718	5240	16778	23131	24092	20587	33385
27455	17602	4590	21767	22266	27357	30400	8732	5596	3060	33703	3596
6882	873	10997	24738	20770	10067	13379	27409	25463	2673	6998	31378
15181	13645	34501	3393	3840	35227	15562	23615	38342	12139	19471	15483
13350	6707	23709	37204	25778	21082	7511	14588	10010	21854	28375	33591
12514	4695	37190	21379	18723	5802	7182	2529	29936	35860	28338	10835
34283	25610	33026	31017	21259	2165	21807	37578	1175	16710	21939	30841
27292	33730	6836	26476	27539	35784	18245	16394	17939	23094	19216	17432
11655	6183	38708	28408	35157	17089	13998	36029	15052	16617	5638	36464
15693	28923	26245	9432	11675	25720	26405	5838	31851	26898	8090	37037
24418	27583	7959	35562	37771	17784	11382	11156	37855	7073	21685	34515
10977	13633	30969	7516	11943	18199	5231	13825	19589	23661	11150	35602
19124	30774	6670	37344	16510	26317	23518	22957	6348	34069	8845	20175
34985	14441	25668	4116	3019	21049	37308	24551	24727	20104	24850	12114
38187	28527	13108	13985	1425	21477	30807	8613	26241	33368	35913	32477
5903	34390	24641	26556	23007	27305	38247	2621	9122	32806	21554	18685
17287	27292	19033									
25796	31795	12152									
12184	35088	31226									
38263	33386	24892									
23114	37995	29796									
34336	10551	36245									
35407	175	7203									
14654	38201	22605									
28404	6595	1018									
19932	3524	29305									
31749	20247	8128									
18026	36357	26735									
7543	29767	13588									
13333	25965	8463									
14504	36796	19710									
4528	25299	7318									
35091	25550	14798									
7824	215	1248									
30848	5362	17291									
28932	30249	27073									
13062	2103	16206									
7129	32062	19612									
9512	21936	38833									
35849	33754	23450									
18705	28656	18111									

22749	27456	32187
28229	31684	30160
15293	8483	28002
14880	13334	12584
28646	2558	19687
6259	4499	26336
11952	28386	8405
10609	961	7582
10423	13191	26818
15922	36654	21450
10492	1532	1205
30551	36482	22153
5156	11330	34243
28616	35369	13322
8962	1485	21186
23541	17445	35561
33133	11593	19895
33917	7863	33651
20063	28331	10702
13195	21107	21859
4364	31137	4804
5585	2037	4830
30672	16927	14800

Таблица Б.5 — Скорость 1/2

708	1132	2120	3208	3879	8320	11948	14185	15214	16594	17849	19766	23814
	26175	27579	28052	31512	32029							
2720	2753	3716	6133	8020	8305	9429	10337	15503	19905	20127	21963	25624
	27221	27907	27945	29833	30270							
4011	7807	11547	12782	13040	14599	14836	15218	17890	18922	19668	20267	20714
	22151	24373	25261	26101	27627							
136	5341	7661	12779	13392	13922	14151	15054	16544	17232	17478	19895	22814
	23820	25014	26346	27575	31803							
3456	3485	5839	8312	8423	9796	10018	11520	13336	15520	19928	22019	23144
	25339	27406	28729	29527	31406							
1779	3634	3930	4138	5449	5924	6776	7658	8703	11542	13133	15086	16334
	21876	23860	24281	28854	29557							
697	868	1345	6257	7400	8220	9761	11501	15828	16175	16865	17251	19298
	21907	24033	24175	24497	30965							
991	1845	3173	5609	11275	12666	12903	14409	15359	17537	17923	19821	20323
	21561	21663	23378	25371	28487							
446	3096	3604	3688	6864	7296	8128	9957	11568	13204	14502	16280	17655
	19695	25953	28006	31006	31160							
3592	5443	5450	8875	10529	10721	15241	16485	16905	17980	19685	21639	21938
	25038	25322	26073	27072	32305							
2539	11274	18981										
8099	17427	18613										
7872	12547	14776										
17272	31146	31476										
12171	20651	28060										
5845	20532	24021										
2102	9627	12746										
4406	13397	16767										
7707	19199	20221										
10278	11526	13739										
8902	13337	25524										
5385	6939	15968										
1686	2985	18124										
21285	22673	25722										
4833	4895	7657										
14073	19518	27540										
2832	27137	32072										
8936	19641	24786										
1696	4408	9480										
3941	9228	25043										
1328	7460	25237										
11251	21361	23890										
10450	10762	26795										
1544	19244	22553										
9564	24279	27073										
12214	15608	30892										
6316	29252	30504										

Продолжение таблицы Б.5

3667	7784	26600										
11435	20278	31840										
7211	21620	23899										
17193	18368	23536										
3750	18865	29121										
2088	7648	20893										
12231	28534	28933										
6316	14450	31885										
2672	8770	26920										
17337	18624	26359										
3098	17939	27134										
1084	24695	31846										
5110	9148	10203										
3943	19212	31745										
6	6061	29453										
2271	9151	27015										
386	2747	26182										
13129	15456	30698										
126	10222	23935										
11008	17244	19711										
17752	22103	31308										
11293	20670	23940										
11627	14829	19929										
2163	5918	23666										
28627	28709	31369										
3161	3209	26227										
1597	25322	30792										
2083	15971	16193										
4795	10875	11668										
12984	28077	28863										
1851	9750	30222										
2252	8660	8984										
6764	8375	15896										
5074	16399	31725										
11507	15519	30828										
3196	7975	17614										
477	11889	17748										
2420	2852	25451										
3683	4741	6944	8199	8808	13142	14071	15830	17216	18589	20284	21652	22542
	24994	25719	26187									
1534	4620	4899	6461	6737	9082	10679	11544	16118	20173	20662	21526	22646
	24778	29790	30044									
2343	2547	5620	6523	8188	9029	14162	15517	24143	25078	25163	26616	28731
	30201	30889	32034									
1876	4541	5147	9087	12853	12967	13887	16009	19722	20475	21245	21908	22547
	25790	27330	27640									
1706	3168	6471	7382	10195	11568	11770	17719	19484	19572	20375	20470	23332

Окончание таблицы Б.5

	24372	30654	31230					
996	3297	3587	4313	12243	12456	17510	20492	29071
7114	7312	7937	8379	8580	11514	13657	23774	24569
98	600	745	1223	4298	6362	12544	21620	28786
2585	4021	10785	11294	20707	25033	25465	26990	30713
1895	4346	10404	16998	17073	24131	24891	26056	26444
4265	8641	8937	13462	23815	26205			
1468	2578	3070	6258	8221	10414			
5186	8832	11589	25697	29629	32022			
15971	17493	18659	19082	22089	26779			
1597	1691	10499	13815	18943	27396			

Таблица Б.6 — Скорость 3/5

22422	10282	11626	19997	11161	2922	3122	99	5625	17064	8270	179
25087	16218	17015	828	20041	25656	4186	11629	22599	17305	22515	6463
11049	22853	25706	14388	5500	19245	8732	2177	13555	11346	17265	3069
16581	22225	12563	19717	23577	11555	25496	6853	25403	5218	15925	21766
16529	14487	7643	10715	17442	11119	5679	14155	24213	21000	1116	15620
5340	8636	16693	1434	5635	6516	9482	20189	1066	15013	25361	14243
18506	22236	20912	8952	5421	15691	6126	21595	500	6904	13059	6802
8433	4694	5524	14216	3685	19721	25420	9937	23813	9047	25651	16826
21500	24814	6344	17382	7064	13929	4004	16552	12818	8720	5286	2206
22517	2429	19065	2921	21611	1873	7507	5661	23006	23128	20543	19777
1770	4636	20900	14931	9247	12340	11008	12966	4471	2731	16445	791
6635	14556	18865	22421	22124	12697	9803	25485	7744	18254	11313	9004
19982	23963	18912	7206	12500	4382	20067	6177	21007	1195	23547	24837
756	11158	14646	20534	3647	17728	11676	11843	12937	4402	8261	22944
9306	24009	10012	11081	3746	24325	8060	19826	842	8836	2898	5019
7575	7455	25244	4736	14400	22981	5543	8006	24203	13053	1120	5128
3482	9270	13059	15825	7453	23747	3656	24585	16542	17507	22462	14670
15627	15290	4198	22748	5842	13395	23918	16985	14929	3726	25350	24157
24896	16365	16423	13461	16615	8107	24741	3604	25904	8716	9604	20365
3729	17245	18448	9862	20831	25326	20517	24618	13282	5099	14183	8804
16455	17646	15376	18194	25528	1777	6066	21855	14372	12517	4488	17490
1400	8135	23375	20879	8476	4084	12936	25536	22309	16582	6402	24360
25119	23586	128	4761	10443	22536	8607	9752	25446	15053	1856	4040
377	21160	13474	5451	17170	5938	10256	11972	24210	17833	22047	16108
13075	9648	24546	13150	23867	7309	19798	2988	16858	4825	23950	15125
20526	3553	11525	23366	2452	17626	19265	20172	18060	24593	13255	1552
18839	21132	20119	15214	14705	7096	10174	5663	18651	19700	12524	14033
4127	2971	17499	16287	22368	21463	7943	18880	5567	8047	23363	6797
10651	24471	14325	4081	7258	4949	7044	1078	797	22910	20474	4318
21374	13231	22985	5056	3821	23718	14178	9978	19030	23594	8895	25358
6199	22056	7749	13310	3999	23697	16445	22636	5225	22437	24153	9442
7978	12177	2893	20778	3175	8645	11863	24623	10311	25767	17057	3691
20473	11294	9914	22815	2574	8439	3699	5431	24840	21908	16088	18244
8208	5755	19059	8541	24924	6454	11234	10492	16406	10831	11436	9649
16264	11275	24953	2347	12667	19190	7257	7174	24819	2938	2522	11749
3627	5969	13862	1538	23176	6353	2855	17720	2472	7428	573	15036

Окончание таблицы Б.6

0	18539	18661
1	10502	3002
2	9368	10761
3	12299	7828
4	15048	13362
5	18444	24640
6	20775	19175
7	18970	10971
8	5329	19982
9	11296	18655
10	15046	20659
11	7300	22140
12	22029	14477
13	11129	742
14	13254	13813
15	19234	13273
16	6079	21122
17	22782	5828
18	19775	4247
19	1660	19413
20	4403	3649
21	13371	25851
22	22770	21784
23	10757	14131
24	16071	21617
25	6393	3725
26	597	19968
27	5743	8084
28	6770	9548
29	4285	17542
30	13568	22599
31	1786	4617
32	23238	11648
33	19627	2030
34	13601	13458
35	13740	17328
36	25012	13944
37	22513	6687
38	4934	12587
39	21197	5133
40	22705	6938
41	7534	24633
42	24400	12797
43	21911	25712
44	12039	1140
45	24306	1021
46	14012	20747
47	11265	15219
48	4670	15531
49	9417	14359
50	2415	6504
51	24964	24690
52	14443	8816
53	6926	1291
54	6209	20806
55	13915	4079
56	24410	13196
57	13505	6117
58	9869	8220
59	1570	6044
60	25780	17387
61	20671	24913
62	24558	20591
63	12402	3702
64	8314	1357
65	20071	14616
66	17014	3688
67	19837	946
68	15195	12136
69	7758	22808
70	3564	2925
71	3434	7769

Таблица Б.7 — Скорость 2/3

692	1779	1973	2726	5151	6088	7921	9618	11804	13043	15975	16214	16889	16980	18585	18648
13	4090	4319	5288	8102	10110	10481	10527	10953	11185	12069	13177	14217	15963	17661	20959
2330	2516	2902	4087	6338	8015	8638	9436	10294	10843	11802	12304	12371	14095	18486	18996
125	586	5137	5701	6432	6500	8131	8327	10488	11032	11334	11449	12504	16000	20753	21317
30	480	2681	3635	3898	4058	12803	14734	20252	20306	20680	21329	21333	21466	21562	21568
20	44	738	4965	5516	7659	8464	8759	12216	14630	18241	18711	19093	20217	21316	21490
31	43	3554	5289	5667	8687	14885	16579	17883	18384	18486	19142	20785	20932	21131	21308
7054	9276	10435	12324	12354	13849	14285	16482	19212	19217	19221	20499	20831	20925	21195	21247
9	13	4099	10353	10747	14884	15492	17650	19291	19394	20356	20658	21068	21117	21183	21586
28	2250	2980	8988	10282	12503	13301	18351	20546	20622	21006	21293	21344	21472	21530	21542
17	32	2521	4374	5098	7525	13035	14437	15283	18635	19136	20240	21147	21179	21300	21349

Продолжение таблицы Б.7

57	4735	5657	7649	8807	12375	16092	16178	16379	17545	19461	19489	20321	20530	21453	21457
35	55	5333	14423	14670	15438	19468	19667	20823	21084	21241	21344	21447	21520	21554	21586
13	20	2025	11854	12516	14938	15929	18081	19730	19929	20408	21338	21391	21425	21468	21546
54	7451	8176	10136	15240	16442	16482	19431	19483	19762	20647	20839	20966	21512	21579	21592
26	465	3604	4233	9831	11741	13692	18953	18974	21021	21039	21133	21282	21488	21532	21558
1	7	16	59	6979	7675	7717	9791	12370	13050	18534	18729	19846	19864	20127	20165
15	31	11089	12360	13640	14237	17937	18043	18410	19443	21107	21444	21449	21528	21576	21584
32	51	9768	17848	18095	19326	19594	19618	19765	20440	20482	20582	21236	21338	21563	21587
44	55	4864	10253	11306	12117	13076	13901	15610	17057	18205	19794	20939	21132	21267	21573
3436	11304	15361	16511	16860	18238	18639	19341	20106	20123	20407	21200	21280	21452	21526	21569
679	8822	11045	14403	16588	17838	19117	19453	20265	20558	21374	21396	21428	21442	21529	21590
391	13002	13140	14314	17169	17175	17846	18122	19447	20075	20212	20436	20583	21330	21359	21403
7601	10257	20060	21285												
4419	9150	18097	20315												

4675	13376	21435
610	1238	16704
5732	7096	21104
5690	13531	14545
4334	14839	17357
8	2814	17674
2392	8128	18369
502	7403	15133
343	13624	20673
13188	15687	21593
321	16866	21347
1242	4261	17449
4691	8086	8691
8500	11538	20278
6269	12905	18192
5984	15452	17111
11541	18717	21534
16	10780	16107
12310	12959	20390
1365	18306	19634
6125	19132	20242
3012	17233	21533
5816	13021	21440
13207	17811	18798
2762	7586	12139
3949	5545	13584
11374	18279	19241
2736	10989	21209
4095	20677	21395
8251	10084	20498
7628	8875	21406
2743	8943	9090
1817	7788	15767

9333	9838	21268
6203	9480	12042
5747	21187	21468
2553	18281	21500
3179	9155	15222
12498	18109	20326
14106	21209	21592
7454	17484	20791
20804	21120	21574
5754	18178	20935
30	4322	21381
11905	20416	21397
12452	19899	21497
1917	6028	16868
9891	18710	18953
912	21083	21446
370	14355	18069
16519	19003	20902
11163	17558	18424
8427	14396	21405
8885	11796	21361
4960	15431	20653
11944	16839	21236
9967	14529	17208
14144	19354	19745
7986	12680	21396
6097	11501	13028
33	13803	21038
3177	20124	20803
2692	6841	18655
971	5892	14354
3887	19455	21271
17214	17315	21148

Окончание таблицы Б.7

6539	13910	21526	16138	16386	21371
3809	5153	15793	8616	15624	18453
3865	21438	21510	6013	8015	21599
7129	17787	19636	9184	10688	20792
5972	13150	14182	18122	21141	21469
7078	14906	16911	10706	13177	20957
15705	21160	21482	15148	15584	20959
5479	13860	19763	9114	9432	16467
16817	19722	20001	5483	14687	14705
14649	16147	18886	8325	21161	21410
15138	18578	21502	2328	17670	19834
2096	2534	17760	7015	20802	21385
11920	13460	19783	52	5451	20379
19876	20071	20583	9689	15537	19733
6241	14230	20775			

Таблица Б.8 — Скорость 3/4

0	6385	7901	14611	13389	11200	3252	5243	2504	2722	821	7374
1	11359	2698	357	13824	12772	7244	6752	15310	852	2001	11417
2	7862	7977	6321	13612	12197	14449	15137	13860	1708	6399	13444
3	1560	11804	6975	13292	3646	3812	8772	7306	5795	14327	7866
4	7626	11407	14599	9689	1628	2113	10809	9283	1230	15241	4870
5	1610	5699	15876	9446	12515	1400	6303	5411	14181	13925	7358
6	4059	8836	3405	7853	7992	15336	5970	10368	10278	9675	4651
7	4441	3963	9153	2109	12683	7459	12030	12221	629	15212	406
8	6007	8411	5771	3497	543	14202	875	9186	6235	13908	3563
9	3232	6625	4795	546	9781	2071	7312	3399	7250	4932	12652
10	8820	10088	11090	7069	6585	13134	10158	7183	488	7455	9238
11	1903	10818	119	215	7558	11046	10615	11545	14784	7961	15619
12	3655	8736	4917	15874	5129	2134	15944	14768	7150	2692	1469
13	8316	3820	505	8923	6757	806	7957	4216	15589	13244	2622
14	14463	4852	15733	3041	11193	12860	13673	8152	6551	15108	8758
15	3149	11981					30	3470	3152		
16	13416	6906					31	13917	4365		
17	13098	13352					32	6024	13730		
18	2009	14460					33	10973	14182		
19	7207	4314					34	2464	13167		
20	3312	3945					35	5281	15049		
21	4418	6248					36	1103	1849		
22	2669	13975					37	2058	1069		
23	7571	9023					38	9654	6095		
24	14172	2967					39	14311	7667		
25	7271	7138					40	15617	8146		
26	6135	13670					41	4588	11218		
27	7490	14559					42	13660	6243		
28	8657	2466					43	8578	7874		
29	8599	12834					44	11741	2686		

Окончание таблицы Б.8

0	1022	1264
1	12604	9965
2	8217	2707
3	3156	11793
4	354	1514
5	6978	14058
6	7922	16079
7	15087	12138
8	5053	6470
9	12687	14932
10	15458	1763
11	8121	1721
12	12431	549
13	4129	7091
14	1426	8415
15	9783	7604
16	6295	11329
17	1409	12061
18	8065	9087
19	2918	8438
20	1293	14115
21	3922	13851
22	3851	4000
23	5865	1768
24	2655	14957
25	5565	6332
26	4303	12631
27	11653	12236
28	16025	7632
29	4655	14128
30	9584	13123
31	13987	9597
32	15409	12110
33	8754	15490
34	7416	15325
35	2909	15549
36	2995	8257
37	9406	4791
38	11111	4854
39	2812	8521
40	8476	14717
41	7820	15360
42	1179	7939
43	2357	8678
44	7703	6216

0	3477	7067
1	3931	13845
2	7675	12899
3	1754	8187
4	7785	1400
5	9213	5891
6	2494	7703
7	2576	7902
8	4821	15682
9	10426	11935
10	1810	904
11	11332	9264
12	11312	3570
13	14916	2650
14	7679	7842
15	6089	13084
16	3938	2751
17	8509	4648
18	12204	8917
19	5749	12443
20	12613	4431
21	1344	4014
22	8488	13850
23	1730	14896
24	14942	7126
25	14983	8863
26	6578	8564
27	4947	396
28	297	12805
29	13878	6692
30	11857	11186
31	14395	11493
32	16145	12251
33	13462	7428
34	14526	13119
35	2535	11243
36	6465	12690
37	6872	9334
38	15371	14023
39	8101	10187
40	11963	4848
41	15125	6119
42	8051	14465
43	11139	5167
44	2883	14521

Таблица Б.9 — Скорость 4/5

0	149	11212	5575	6360	12559	8108	8505	408	10026	12828
1	5237	490	10677	4998	3869	3734	3092	3509	7703	10305
2	8742	5553	2820	7085	12116	10485	564	7795	2972	2157
3	2699	4304	8350	712	2841	3250	4731	10105	517	7516
4	12067	1351	11992	12191	11267	5161	537	6166	4246	2363
5	6828	7107	2127	3724	5743	11040	10756	4073	1011	3422
6	11259	1216	9526	1466	10816	940	3744	2815	11506	11573
7	4549	11507	1118	1274	11751	5207	7854	12803	4047	6484
8	8430	4115	9440	413	4455	2262	7915	12402	8579	7052
9	3885	9126	5665	4505	2343	253	4707	3742	4166	1556
10	1704	8936	6775	8639	8179	7954	8234	7850	8883	8713
11	11716	4344	9087	11264	2274	8832	9147	11930	6054	5455
12	7323	3970	10329	2170	8262	3854	2087	12899	9497	11700
13	4418	1467	2490	5841	817	11453	533	11217	11962	5251
14	1541	4525	7976	3457	9536	7725	3788	2982	6307	5997
15	11484	2739	4023	12107	6516	551	2572	6628	8150	9852
16	6070	1761	4627	6534	7913	3730	11866	1813	12306	8249
17	12441	5489	8748	7837	7660	2102	11341	2936	6712	11977
18	10155	4210				11	12270	6562		
19	1010	10483				12	11954	7592		
20	8900	10250				13	7420	2592		
21	10243	12278				14	8810	9636		
22	7070	4397				15	689	5430		
23	12271	3887				16	920	1304		
24	11980	6836				17	1253	11934		
25	9514	4356				18	9559	6016		
26	7137	10281				19	312	7589		
27	11881	2526				20	4439	4197		
28	1969	11477				21	4002	9555		
29	3044	10921				22	12232	7779		
30	2236	8724				23	1494	8782		
31	9104	6340				24	10749	3969		
32	7342	8582				25	4368	3479		
33	11675	10405				26	6316	5342		
34	6467	12775				27	2455	3493		
35	3186	12198				28	12157	7405		
0	9621	11445				29	6598	11495		
1	7486	5611				30	11805	4455		
2	4319	4879				31	9625	2090		
3	2196	344				32	4731	2321		
4	7527	6650				33	3578	2608		
5	10693	2440				34	8504	1849		
6	6755	2706				35	4027	1151		
7	5144	5998				0	5647	4935		
8	11043	8033				1	4219	1870		
9	4846	4435				2	10968	8054		
10	4157	9228				3	6970	5447		

Окончание таблицы Б.9

4	3217	5638	2	12343	9019
5	8972	669	3	4414	8331
6	5618	12472	4	3464	642
7	1457	1280	5	6960	2039
8	8868	3883	6	786	3021
9	8866	1224	7	710	2086
10	8371	5972	8	7423	5601
11	266	4405	9	8120	4885
12	3706	3244	10	12385	11990
13	6039	5844	11	9739	10034
14	7200	3283	12	424	10162
15	1502	11282	13	1347	7597
16	12318	2202	14	1450	112
17	4523	965	15	7965	8478
18	9587	7011	16	8945	7397
19	2552	2051	17	6590	8316
20	12045	10306	18	6838	9011
21	11070	5104	19	6174	9410
22	6627	6906	20	255	113
23	9889	2121	21	6197	5835
24	829	9701	22	12902	3844
25	2201	1819	23	4377	3505
26	6689	12925	24	5478	8672
27	2139	8757	25	4453	2132
28	12004	5948	26	9724	1380
29	8704	3191	27	12131	11526
30	8171	10933	28	12323	9511
31	6297	7116	29	8231	1752
32	616	7146	30	497	9022
33	5142	9761	31	9288	3080
34	10377	8138	32	2481	7515
35	7616	5811	33	2696	268
0	7285	9863	34	4023	12341
1	7764	10867	35	7108	5553

Таблица Б.10 — Скорость 5/6

0	4362	416	8909	4156	3216	3112	2560	2912	6405	8593	4969	6723
1	2479	1786	8978	3011	4339	9313	6397	2957	7288	5484	6031	10217
2	10175	9009	9889	3091	4985	7267	4092	8874	5671	2777	2189	8716
3	9052	4795	3924	3370	10058	1128	9996	10165	9360	4297	434	5138
4	2379	7834	4835	2327	9843	804	329	8353	7167	3070	1528	7311
5	3435	7871	348	3693	1876	6585	10340	7144	5870	2084	4052	2780
6	3917	3111	3476	1304	10331	5939	5199	1611	1991	699	8316	9960
7	6883	3237	1717	10752	7891	9764	4745	3888	10009	4176	4614	1567
8	10587	2195	1689	2968	5420	2580	2883	6496	111	6023	1024	4449
9	3786	8593	2074	3321	5057	1450	3840	5444	6572	3094	9892	1512
10	8548	1848	10372	4585	7313	6536	6379	1766	9462	2456	5606	9975

Продолжение таблицы Б.10

11	8204	10593	7935	3636	3882	394	5968	8561	2395	7289	9267	9978
12	7795	74	1633	9542	6867	7352	6417	7568	10623	725	2531	9115
13	7151	2482	4260	5003	10105	7419	9203	6691	8798	2092	8263	3755
14	3600	570	4527	200	9718	6771	1995	8902	5446	768	1103	6520
15	6304	7621										
16	6498	9209										
17	7293	6786										
18	5950	1708										
19	8521	1793										
20	6174	7854										
21	9773	1190										
22	9517	10268										
23	2181	9349										
24	1949	5560										
25	1556	555										
26	8600	3827										
27	5072	1057										
28	7928	3542										
29	3226	3762										
0	7045	2420										
1	9645	2641										
2	2774	2452										
3	5331	2031										
4	9400	7503										
5	1850	2338										
6	10456	9774										
7	1692	9276										
8	10037	4038										
9	3964	338										
10	2640	5087										
11	858	3473										
12	5582	5683										
13	9523	916										
14	4107	1559										
15	4506	3491										
16	8191	4182										
17	10192	6157										
18	5668	3305										
19	3449	1540										
20	4766	2697										
21	4069	6675										
22	1117	1016										
23	5619	3085										
24	8483	8400										
25	8255	394										
26	6338	5042										
27	6174	5119										
28	7203	1989										
29	1781	5174										
0	1464	3559										
1	3376	4214										
2	7238	67										
3	10595	8831										
4	1221	6513										
5	5300	4652										
6	1429	9749										
7	7878	5131										
8	4435	10284										
9	6331	5507										
10	6662	4941										
11	9614	10238										
12	8400	8025										
13	9156	5630										
14	7067	8878										
15	9027	3415										
16	1690	3866										
17	2854	8469										
18	6206	630										
19	363	5453										
20	4125	7008										
21	1612	6702										
22	9069	9226										
23	5767	4060										
24	3743	9237										
25	7018	5572										
26	8892	4536										
27	853	6064										
28	8069	5893										
29	2051	2885										
0	10691	3153										
1	3602	4055										
2	328	1717										
3	2219	9299										
4	1939	7898										
5	617	206										
6	8544	1374										
7	10676	3240										
8	6672	9489										
9	3170	7457										

Окончание таблицы Б.10

10	7868	5731	5	4244	5669
11	6121	10732	6	10245	7821
12	4843	9132	7	7648	3944
13	580	9591	8	3310	5488
14	6267	9290	9	6346	9666
15	3009	2268	10	7088	6122
16	195	2419	11	1291	7827
17	8016	1557	12	10592	8945
18	1516	9195	13	3609	7120
19	8062	9064	14	9168	9112
20	2095	8968	15	6203	8052
21	753	7326	16	3330	2895
22	6291	3833	17	4264	10563
23	2614	7844	18	10556	6496
24	2303	646	19	8807	7645
25	2075	611	20	1999	4530
26	4687	362	21	9202	6818
27	8684	9940	22	3403	1734
28	4830	2065	23	2106	9023
29	7038	1363	24	6881	3883
0	1769	7837	25	3895	2171
1	3801	1689	26	4062	6424
2	10070	2359	27	3755	9536
3	3667	9918	28	4683	2131
4	1914	6920	29	7347	8027

Таблица Б.11 — Скорость 8/9

0	6235	2848	3222	0	5156	6166	0	3196	6126	0	2148	5066
1	5800	3492	5348	1	1504	4356	1	573	1909	1	1306	145
2	2757	927	90	2	130	1904	2	850	4034	2	2319	871
3	6961	4516	4739	3	6027	3187	3	5622	1601	3	3463	1061
4	1172	3237	6264	4	6718	759	4	6005	524	4	5554	6647
5	1927	2425	3683	5	6240	2870	5	5251	5783	5	5837	339
6	3714	6309	2495	6	2343	1311	6	172	2032	6	5821	4932
7	3070	6342	7154	7	1039	5465	7	1875	2475	7	6356	4756
8	2428	613	3761	8	6617	2513	8	497	1291	8	3930	418
9	2906	264	5927	9	1588	5222	9	2566	3430	9	211	3094
10	1716	1950	4273	10	6561	535	10	1249	740	10	1007	4928
11	4613	6179	3491	11	4765	2054	11	2944	1948	11	3584	1235
12	4865	3286	6005	12	5966	6892	12	6528	2899	12	6982	2869
13	1343	5923	3529	13	1969	3869	13	2243	3616	13	1612	1013
14	4589	4035	2132	14	3571	2420	14	867	3733	14	953	4964
15	1579	3920	6737	15	4632	981	15	1374	4702	15	4555	4410
16	1644	1191	5998	16	3215	4163	16	4698	2285	16	4925	4842
17	1482	2381	4620	17	973	3117	17	4760	3917	17	5778	600
18	6791	6014	6596	18	3802	6198	18	1859	4058	18	6509	2417
19	2738	5918	3786	19	3794	3948	19	6141	3527	19	1260	4903

Окончание таблицы Б.11

0	3369	3031	0	970	2572	0	6358	1951	0	3934	2778
1	3557	3224	1	2062	6599	1	3117	6960	1	3238	6587
2	3028	583	2	4597	4870	2	2710	7062	2	1111	6596
3	3258	440	3	1228	6913	3	1133	3604	3	1457	6226
4	6226	6655	4	4159	1037	4	3694	657	4	1446	3885
5	4895	1094	5	2916	2362	5	1355	110	5	3907	4043
6	1481	6847	6	395	1226	6	3329	6736	6	6839	2873
7	4433	1932	7	6911	4548	7	2505	3407	7	1733	5615
8	2107	1649	8	4618	2241	8	2462	4806	8	5202	4269
9	2119	2065	9	4120	4280	9	4216	214	9	3024	4722
10	4003	6388	10	5825	474	10	5348	5619	10	5445	6372
11	6720	3622	11	2154	5558	11	6627	6243	11	370	1828
12	3694	4521	12	3793	5471	12	2644	5073	12	4695	1600
13	1164	7050	13	5707	1595	13	4212	5088	13	680	2074
14	1965	3613	14	1403	325	14	3463	3889	14	1801	6690
15	4331	66	15	6601	5183	15	5306	478	15	2669	1377
16	2970	1796	16	6369	4569	16	4320	6121	16	2463	1681
17	4652	3218	17	4846	896	17	3961	1125	17	5972	5171
18	1762	4777	18	7092	6184	18	5699	1195	18	5728	4284
19	5736	1399	19	6764	7127	19	6511	792	19	1696	1459

Таблица Б.12 — Скорость 9/10

0	5611	2563	2900	7	6047	683	14	449	1164	3	5198	541
1	5220	3143	4813	8	5616	2582	15	2308	3088	4	1146	4426
2	2481	834	81	9	2108	1179	16	1122	669	5	3202	2902
3	6265	4064	4265	10	933	4921	17	2268	5758	6	2724	525
4	1055	2914	5638	11	5953	2261	0	5878	2609	7	1083	4124
5	1734	2182	3315	12	1430	4699	1	782	3359	8	2326	6003
6	3342	5678	2246	13	5905	480	2	1231	4231	9	5605	5990
7	2185	552	3385	14	4289	1846	3	4225	2052	10	4376	1579
8	2615	236	5334	15	5374	6208	4	4286	3517	11	4407	984
9	1546	1755	3846	16	1775	3476	5	5531	3184	12	1332	6163
10	4154	5561	3142	17	3216	2178	6	1935	4560	13	5359	3975
11	4382	2957	5400	0	4165	884	7	1174	131	14	1907	1854
12	1209	5329	3179	1	2896	3744	8	3115	956	15	3601	5748
13	1421	3528	6063	2	874	2801	9	3129	1088	16	6056	3266
14	1480	1072	5398	3	3423	5579	10	5238	4440	17	3322	4085
15	3843	1777	4369	4	3404	3552	11	5722	4280	0	1768	3244
16	1334	2145	4163	5	2876	5515	12	3540	375	1	2149	144
17	2368	5055	260	6	516	1719	13	191	2782	2	1589	4291
0	6118	5405		7	765	3631	14	906	4432	3	5154	1252
1	2994	4370		8	5059	1441	15	3225	1111	4	1855	5939
2	3405	1669		9	5629	598	16	6296	2583	5	4820	2706
3	4640	5550		10	5405	473	17	1457	903	6	1475	3360
4	1354	3921		11	4724	5210	0	855	4475	7	4266	693
5	117	1713		12	155	1832	1	4097	3970	8	4156	2018
6	5425	2866		13	1689	2229	2	4433	4361	9	2103	752

Окончание таблицы Б.12

10	3710	3853	8	2257	3067	6	6323	4042	4	5155	3858
11	5123	931	9	2483	3073	7	1313	5603	5	1517	1312
12	6146	3323	10	1196	5329	8	1303	3496	6	2554	3158
13	1939	5002	11	649	3918	9	3516	3639	7	5280	2643
14	5140	1437	12	3791	4581	10	5161	2293	8	4990	1353
15	1263	293	13	5028	3803	11	4682	3845	9	5648	1170
16	5949	4665	14	3119	3506	12	3045	643	10	1152	4366
17	4548	6380	15	4779	431	13	2818	2616	11	3561	5368
0	3171	4690	16	3888	5510	14	3267	649	12	3581	1411
1	5204	2114	17	4387	4084	15	6236	593	13	5647	4661
2	6384	5565	0	5836	1692	16	646	2948	14	1542	5401
3	5722	1757	1	5126	1078	17	4213	1442	15	5078	2687
4	2805	6264	2	5721	6165	0	5779	1596	16	316	1755
5	1202	2616	3	3540	2499	1	2403	1237	17	3392	1991
6	1018	3244	4	2225	6348	2	2217	1514			
7	4018	5289	5	1044	1484	3	5609	716			

Приложение В
(обязательное)

Координаты ненулевых элементов матрицы LDPC-кода для n_{ldpc} = 32 400

К средним кадрам применяется алгоритм кодирования А. Проверочная матрица H имеет размер $(n_{ldpc} - k_{ldpc})\cdot n_{ldpc}$ и состоит из двух частей

$$H = [H_1\ H_2],$$

где H_1 — псевдослучайная компонента размера $(n_{ldpc} - k_{ldpc})\cdot k_{ldpc}$, описание которой дается ниже, а H_2 — постоянная часть размера $(n_{ldpc} - k_{ldpc})\cdot(n_{ldpc} - k_{ldpc})$, имеющая вид аккумулятора: элементы на главной диагонали, а также непосредственно над главной диагональю равны 1, прочие элементы равны 0

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}.$$

Матрица H_1 состоит из вертикально объединенных подматриц размера $360\cdot k_{ldpc}$. В строках приведенных ниже таблиц В.1—В.3 даны координаты ненулевых элементов верхних строк каждой из подматриц. Строка с номером $\zeta(\zeta \in \{1, \dots, 359\})$ подматрицы получается с помощью циклического сдвига на ζ позиций вправо верхней строки подматрицы. Нумерация строк и столбцов начинается с 0.

При наличии в записи горизонтальных разделителей строки между двумя разделителями должны считаться единой строкой таблицы, в противном случае строки таблицы определяются одной строкой в записи.

При наличии в записи вертикальных разделителей запись произведена в несколько колонок и строки, приведенные в колонках, считаются продолжением предыдущей части таблицы, причем колонки читаются слева направо.

Таблица В.1 — Скорость 1/5

18222	6715	4908	21568	22821	11708	4769	4495	22243	25872	9051	19072	13956
2038	5205	21215	21009	9584	2403	23652	20866	20130	677	9509	6136	773
19936	14590	17829	473	4432	23171	11386	17937	22084	24450	267	8822	19335
16376	16769	5111	9794	18907	827	12385	12370	21647	10938	23619	11633	15865
23417	7631	12243	21546	4192	22117	14757	4118	9686	17021	8531	15989	8807
15533	16584	18529	19699	17821	4252	1254	5952	3163	20295	6944	1022	19743
129	16579	23524	25897	14690	11222	16250	9925	4268	999	7102	24528	152
18361	3708	3454	16604	1551	5809	20324	4775	22418	19091	19674	10975	7327
24133	10950	22779	11388	13818	20668	7556	12333	16446	19684	12510	25118	8162
17026	6850	1269										
21895	7137	25270										
11858	24153	13303										
7885	16438	12805										
10473	15004	8052										
2088	10379	10067										
21438	13426	10440										
17696	727	12164										
22623	8408	17849										

Таблица В.2 — Скорость 11/45

20617	6867	14845	11974	22563	190	17207	4052	7406	16007
21448	14846	2543	23380	16633	20365	16869	13411	19853	795
5200	2330	2775	23620	20643	10745	14742	6493	14222	20939
9445	9523	12769	7332	21792	18717	16397	14016	9481	22162
2922	6427	4497	4116	17658	2581	14364	3781	18851	22974
10383	2184	1433	3889	12828	17424	17580	20936	1390	21374

Окончание таблицы В.1

425	2063	22398	20907	9445	14790	4457	723	7048	4072
11771	9640	23212	9613	12042	8335	21386	20129	13521	16301
14867	12501	1086	21526	17701	17731	20907	8790	19224	5784
7107	19690	17616	5800	9501	23320	16878	794	15931	17539
4556	21783	1524							
20100	11706	23663							
2535	15530	6116							
12078	3867	2663							
19629	20246	7024							
11748	11426	19802							
15942	12333	5316							
11521	3170	17818							
2289	23780	16575							
6649	16991	13025							
20050	10619	10250							
3944	13063	5656							

Таблица В.3 — Скорость 1/3

7416	4093	16722	1023	20586	12219	9175	16284	1554	10113	19849	17545
13140	3257	2110	13888	3023	1537	1598	15018	18931	13905	10617	1014
339	14366	3309	15360	18358	3196	4412	6023	7070	17380	2777	6691
12720	17634	4141	1400	8247	18201	16077	11314	11928	3494	3155	2865
21038	6928	3860	1943	20292	6526	12939	15182	3957	5651	356	2673
20555	17905	5724	13932	1218	17763	5912	5164	6233	6220	1277	19209
19190	4498	4950	6645	5482	5667	13701	16334	15231	735	8589	12344
679	17849	17807	16033	10181	3368	5778	8275	2736	14042	17506	6005
1576	10259	10525	3007	16522	697	7726	8641	14323	2893	8168	11070
17270	10180	18740	847	4969	14715	19316	5530	17428	11193	9861	13562
6156	18787	10467									
2422	3723	10769									
8015	18716	13406									
5969	15949	3084									
6855	13990	3764									
10351	15779	10392									
16078	19034	11279									
11747	6608	4188									
19699	8928	8045									
4598	7219	11391									
19766	11871	5692									
7487	15905	17621									
8554	7751	16516									
4981	20250	16146									
12524	21364	10793									
17083	2051	8862									
1315	6246	7721									
18043	16652	5502									
1432	5674	2224									
11257	1312	8453									

Приложение Г
(обязательное)

Координаты ненулевых элементов матрицы LDPC-кода для n_{ldpc} = 16 200

При использовании кодовых скоростей 1/8, 1/2, 2/3 для коротких кадров применяется алгоритм Б, при других кодовых скоростях применяется алгоритм А.

Г.1 Алгоритм кодирования А

Проверочная матрица H имеет размер $(n_{ldpc} - k_{ldpc})\cdot n_{ldpc}$ и состоит из двух частей

$$H = [H_1\ H_2],$$

где H_1 — псевдослучайная компонента размера $(n_{ldpc} - k_{ldpc})\cdot k_{ldpc}$, описание которой дается ниже, а H_2 — постоянная часть размера $(n_{ldpc} - k_{ldpc})\cdot(n_{ldpc} - k_{ldpc})$, имеющая вид аккумулятора: элементы на главной диагонали, а также непосредственно над главной диагональю равны 1, прочие элементы равны 0

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}.$$

Матрица H_1 состоит из вертикально объединенных подматриц размера $360\cdot k_{ldpc}$. В строках приведенных ниже таблиц Г.1—Г.10 даны координаты ненулевых элементов верхних строк каждой из подматриц. Строка с номером $\zeta(\zeta\varepsilon\{1, \dots, z-1\})$ подматрицы получается с помощью циклического сдвига на ζ позиций вправо верхней строки подматрицы. Нумерация строк и столбцов начинается с 0.

При наличии в записи горизонтальных разделителей строки между двумя разделителями должны считаться единой строкой таблицы, в противном случае строки таблицы определяются одной строкой в записи.

При наличии в записи вертикальных разделителей запись произведена в несколько колонок и строки, приведенные в колонках, считаются продолжением предыдущей части таблицы, причем колонки читаются слева направо.

Таблица Г.1 — Скорость ¼

6295	9626	304	7695	4839	4936	1660	144	11203	5567	6347	12557
10691	4988	3859	3734	3071	3494	7687	10313	5964	8069	8296	11090
10774	3613	5208	11177	7676	3549	8746	6583	7239	12265	2674	4292
11869	3708	5981	8718	4908	10650	6805	3334	2627	10461	9285	11120
7844	3079	10773									
3385	10854	5747									
1360	12010	12202									
6189	4241	2343									
9840	12726	4977									

Таблица Г.2 — Скорость 11/45 (только в режиме СНОСШ)

9054	9186	12155	1000	7383	6459	2992	4723	8135	11250
2624	9237	7139	12238	11962	4361	5292	10967	11036	8105
2044	11996	5654	7568	7002	3549	4767	8767	2872	8345
6966	8473	5180	8084	3359	5051	9576	5139	1893	902
3041	3801	8252	11951	909	8535	1038	8400	3200	4585
5291	10484	10872							
442	7516	3720							
11469	769	10998							
10575	1436	2935							
6905	8610	11285							
1873	5634	6383							

Таблица Г.3 — Скорость 4/15 (только в режиме СНОСШ)

1953	2331	2545	2623	4653	5012	5700	6458	6875	7605	7694	7881	8416
	8758	9181	9555	9578	9932	10068	11479	11699				
514	784	2059	2129	2386	2454	3396	5184	6624	6825	7533	7861	9116
	9473	9601	10432	11011	11159	11378	11528	11598				
483	1303	1735	2291	3302	3648	4222	4522	5511	6626	6804	7404	7752
	7982	8108	8930	9151	9793	9876	10786	11879				
1956	7572	9020	9971									
13	1578	7445	8373									
6805	6857	8615	11179									
7983	8022	10017	11748									
4939	8861	10444	11661									
2278	3733	6265	10009									
4494	7974	10649										
8909	11030	11696										
3131	9964	10480										

Таблица Г.4 — Скорость 1/3

416	8909	4156	3216	3112	2560	2912	6405	8593	4969	6723	6912
8978	3011	4339	9312	6396	2957	7288	5485	6031	10218	2226	3575
3383	10059	1114	10008	10147	9384	4290	434	5139	3536	1965	2291
2797	3693	7615	7077	743	1941	8716	6215	3840	5140	4582	5420
6110	8551	1515	7404	4879	4946	5383	1831	3441	9569	10472	4306
1505	5682	7778					9930	5058	4554		
7172	6830	6623					4844	9609	2707		
7281	3941	3505					6883	3237	1714		
10270	8669	914					4768	3878	10017		
3622	7563	9388					10127	3334	8267		

Таблица Г.5 — Скорость 2/5

5650	4143	8750	583	6720	8071	635	1767	1344	6922	738	6658
5696	1685	3207	415	7019	5023	5608	2605	857	6915	1770	8016
3992	771	2190	7258	8970	7792	1802	1866	6137	8841	886	1931
4108	3781	7577	6810	9322	8226	5396	5867	4428	8827	7766	2254
4247	888	4367	8821	9660	324	5864	4774	227	7889	6405	8963
9693	500	2520	2227	1811	9330	1928	5140	4030	4824	806	3134
1652	8171	1435					8683	7378	4946		
3366	6543	3745					5348	1993	9186		
9286	8509	4645					6724	9015	5646		
7397	5790	8972					4502	4439	8474		
6597	4422	1799					5107	7342	9442		
9276	4041	3847					1387	8910	2660		

Таблица Г.6 — Скорость 3/5

2765	5713	6426	3596	1374	4811	2182	544	3394	2840	4310	771
4951	211	2208	723	1246	2928	398	5739	265	5601	5993	2615
210	4730	5777	3096	4282	6238	4939	1119	6463	5298	6320	4016
4167	2063	4757	3157	5664	3956	6045	563	4284	2441	3412	6334
4201	2428	4474	59	1721	736	2997	428	3807	1513	4732	6195
2670	3081	5139	3736	1999	5889	4362	3806	4534	5409	6384	5809

Окончание таблицы Г.6

5516	1622	2906	3285	1257	5797	3816	817	875	2311	3543	1205
4244	2184	5415	1705	5642	4886	2333	287	1848	1121	3595	6022
2142	2830	4069	5654	1295	2951	3919	1356	884	1786	396	4738

0	2161	2653					9	266	4878		
1	1380	1461					10	4913	3247		
2	2502	3707					11	4763	3937		
3	3971	1057					12	3590	2903		
4	5985	6062					13	2566	4215		
5	1733	6028					14	5208	4707		
6	3786	1936					15	3940	3388		
7	4292	956					16	5109	4556		
8	5692	3417					17	4908	4177		

Таблица Г.7 — Скорость ¾

3	3198	478	4207	1481	1009	2616	1924	3437	554	683	1801

4	2681	2135					8	1015	1945		
5	3107	4027					9	1948	412		
6	2637	3373					10	995	2238		
7	3830	3449					11	4141	1907		
8	4129	2060					0	2480	3079		
9	4184	2742					1	3021	1088		
10	3946	1070					2	713	1379		
11	2239	984					3	997	3903		
0	1458	3031					4	2323	3361		
1	3003	1328					5	1110	986		
2	1137	1716					6	2532	142		
3	132	3725					7	1690	2405		
4	1817	638					8	1298	1881		
5	1774	3447					9	615	174		
6	3632	1257					10	1648	3112		
7	542	3694					11	1415	2808		

Таблица Г.8 — Скорость 4/5

5	896	1565	7	951	2068	9	2116	1855
6	2493	184	8	3108	3542	0	722	1584
7	212	3210	9	307	1421	1	2767	1881
8	727	1339	0	2272	1197	2	2701	1610
9	3428	612	1	1800	3280	3	3283	1732
0	2663	1947	2	331	2308	4	168	1099
1	230	2695	3	465	2552	5	3074	243
2	2025	2794	4	1038	2479	6	3460	945
3	3039	283	5	1383	343	7	2049	1746
4	862	2889	6	94	236	8	566	1427
5	376	2110	7	2619	121	9	3545	1168
6	2034	2286	8	1497	2774			

Таблица Г.9 — Скорость 5/6

3	2409	499	1481	908	559	716	1270	333	2508	2264	1702	2805
4	2447	1926			0	1245	1581			4	2511	980
5	414	1224			1	775	169			5	2320	2675
6	2114	842			2	1696	1104			6	435	1278
7	212	573			3	1914	2831			7	228	503
0	2383	2112			4	532	1450			0	1885	2369
1	2286	2348			5	91	974			1	57	483
2	545	819			6	497	2228			2	838	1050
3	1264	143			7	2326	1579			3	1231	1990
4	1701	2258			0	2482	256			4	1738	68
5	964	166			1	1117	1261			5	2392	951
6	114	2413			2	1257	1658			6	163	645
7	2243	81			3	1478	1225			7	2644	1704

Таблица Г.10 — Скорость 8/9

0	1558	712	805
1	1450	873	1337
2	1741	1129	1184
3	294	806	1566
4	482	605	923
0	926	1578	
1	777	1374	
2	608	151	
3	1195	210	
4	1484	692	
0	427	488	
1	828	1124	
2	874	1366	
3	1500	835	
4	1496	502	
0	1006	1701	
1	1155	97	
2	657	1403	
3	1453	624	
4	429	1495	
0	809	385	
1	367	151	
2	1323	202	
3	960	318	
4	1451	1039	
0	1098	1722	
1	1015	1428	
2	1261	1564	
3	544	1190	
4	1472	1246	
0	508	630	
1	421	1704	
2	284	898	
3	392	577	

Окончание таблицы Г.10

4	1155	556
0	631	1000
1	732	1368
2	1328	329
3	1515	506
4	1104	1172

Г.2 Алгоритм кодирования Б

Проверочная матрица H, имеющая размер $(n_{ldpc} - k_{ldpc})\cdot n_{ldpc}$, состоит из циркулянтов размера z·z, в строках каждого из которых встречается одна либо ноль единиц. Проверочная матрица представима в сжатом формате в виде матрицы H_b размера $m_b \cdot n_b$, элементы которой соответствуют циркулянтам матрицы в расширенной форме, и для ненулевых циркулянтов равны номеру позиции единицы в первой строке, называемому сдвигом. Сдвиг для диагональной матрицы равен нулю. Для нулевых циркулянтов значение сдвига принимается равным минус 1. Ниже дан пример соответствия матриц в расширенном и сжатом виде

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \leftrightarrow H_b = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 2 & -1 \end{bmatrix}.$$

Под координатами циркулянта подразумеваются номер строки и номер столбца соответствующего элемента сжатой матрицы. Верхний левый циркулянт имеет координаты (0, 0).

Проверочная матрица в сжатой форме имеет структуру вида

$$H_b = [H_{b1}\ H_{b2}],$$

где H_{b1} — псевдослучайная компонента размера $m_b \cdot k_b$, описание которой дается ниже, а H_{b2} — постоянная часть размера $m_b \cdot m_b$, имеющая стандартизированный вид: элементы на главной диагонали, а также непосредственно над главной диагональю равны 0, за исключением левого верхнего элемента матрицы. Левый верхний и левый нижний элементы равны 1. Верхний элемент нижней половины левого столбца, то есть элемент с координатами $(m_b/2, 0)$ равен 0. Остальные элементы матрицы равны минус 1. Таким образом, постоянная часть H_{b2} проверочной матрицы имеет вид

$$H_{b2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & \cdots & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & \cdots & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 0 & \cdots & -1 & -1 & -1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\ -1 & -1 & -1 & & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & \ddots & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & & -1 & -1 & -1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\ -1 & -1 & -1 & \cdots & 0 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & \cdots & -1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & \cdots & -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}.$$

В приведенных ниже таблицах Г.11—Г.13 даны координаты и сдвиги ненулевых циркулянтов псевдослучайной части матрицы H_1 в формате (i, j, s), где i и j — номера строк и столбцов соответствующих элементов матрицы в сжатом формате, а s — значение сдвига вправо единицы в первой строке. Также для каждого кода приведено значение параметра z.

Таблица Г.11 — Скорость 1/8, $z = 45$

(53, 0, 42); (59, 0, 41); (134, 0, 44); (170, 0, 35); (201, 0, 8); (224, 0, 33); (282, 0, 33); (13, 1, 40); (49, 1, 38); (83, 1, 16); (107, 1, 18); (130, 1, 28); (146, 1, 27); (240, 1, 40); (10, 2, 11); (40, 2, 20); (123, 2, 22); (155, 2, 42); (190, 2, 9); (194, 2, 22); (251, 2, 39); (67, 3, 31); (80, 3, 42); (165, 3, 2); (204, 3, 36); (216, 3, 36); (239, 3, 9); (307, 3, 40); (36, 4, 10); (88, 4, 38); (176, 4, 42); (185, 4, 36); (230, 4, 11); (265, 4, 26); (287, 4, 16); (31, 5, 36); (75, 5, 6); (192, 5, 31); (238, 5, 25); (243, 5, 35);

Окончание таблицы Г.11

(250, 5, 29); (255, 5, 28); (47, 6, 44); (61, 6, 17); (100, 6, 0); (116, 6, 16); (218, 6, 8); (248, 6, 9); (303, 6, 18); (23, 7, 24); (112, 7, 8); (211, 7, 31); (269, 7, 8); (270, 7, 1); (278, 7, 42); (286, 7, 32); (9, 8, 28); (32, 8, 27); (58, 8, 2); (109, 8, 27); (138, 8, 29); (193, 8, 44); (196, 8, 44); (169, 9, 1); (171, 9, 30); (197, 9, 32); (207, 9, 9); (237, 9, 3); (280, 9, 29); (309, 9, 44); (11, 10, 20); (12, 10, 14); (78, 10, 33); (136, 10, 0); (173, 10, 21); (191, 10, 39); (292, 10, 20); (51, 11, 32); (85, 11, 26); (95, 11, 26); (162, 11, 9); (221, 11, 30); (229, 11, 25); (283, 11, 14); (50, 12, 25); (52, 12, 6); (55, 12, 25); (111, 12, 2); (118, 12, 39); (125, 12, 22); (142, 12, 32); (46, 13, 39); (54, 13, 40); (114, 13, 3); (149, 13, 12); (213, 13, 1); (291, 13, 39); (302, 13, 25); (18, 14, 29); (37, 14, 19); (101, 14, 28); (108, 14, 44); (181, 14, 25); (217, 14, 6); (241, 14, 18); (60, 15, 12); (89, 15, 37); (103, 15, 23); (120, 15, 20); (135, 15, 30); (156, 15, 33); (174, 15, 18); (7, 16, 26); (15, 16, 12); (96, 16, 38); (232, 16, 4); (296, 16, 15); (313, 16, 34); (314, 16, 15); (4, 17, 43); (63, 17, 33); (76, 17, 6); (159, 17, 13); (203, 17, 18); (206, 17, 23); (272, 17, 11); (139, 18, 42); (160, 18, 30); (186, 18, 44); (253, 18, 44); (260, 18, 23); (284, 18, 41); (310, 18, 6); (16, 19, 1); (20, 19, 41); (56, 19, 4); (121, 19, 23); (219, 19, 4); (268, 19, 19); (312, 19, 18); (19, 20, 38); (66, 20, 8); (167, 20, 38); (210, 20, 14); (259, 20, 7); (263, 20, 19); (298, 20, 32); (29, 21, 41); (38, 21, 37); (91, 21, 8); (104, 21, 29); (166, 21, 25); (180, 21, 24); (222, 21, 4); (57, 22, 35); (65, 22, 16); (127, 22, 9); (202, 22, 23); (233, 22, 43); (258, 22, 28); (308, 22, 29); (35, 23, 16); (70, 23, 10); (93, 23, 35); (164, 23, 23); (212, 23, 24); (252, 23, 22); (276, 23, 7); (41, 24, 17); (102, 24, 16); (110, 24, 6); (140, 24, 35); (145, 24, 11); (262, 24, 14); (304, 24, 19); (14, 25, 1); (74, 25, 32); (90, 25, 43); (143, 25, 29); (144, 25, 43); (249, 25, 25); (257, 25, 16); (33, 26, 34); (71, 26, 39); (82, 26, 15); (132, 26, 16); (261, 26, 19); (264, 26, 6); (271, 26, 34); (2, 27, 12); (45, 27, 32); (175, 27, 18); (195, 27, 2); (245, 27, 31); (273, 27, 31); (295, 27, 36); (39, 28, 20); (73, 28, 41); (126, 28, 14); (154, 28, 42); (168, 28, 34); (200, 28, 12); (231, 28, 9); (28, 29, 5); (62, 29, 21); (64, 29, 41); (97, 29, 10); (187, 29, 28); (275, 29, 5); (288, 29, 3); (8, 30, 39); (25, 30, 36); (30, 30, 29); (86, 30, 19); (150, 30, 21); (152, 30, 15); (208, 30, 9); (1, 31, 6); (131, 31, 9); (147, 31, 39); (182, 31, 32); (188, 31, 3); (242, 31, 12); (254, 31, 29); (27, 32, 0); (48, 32, 2); (113, 32, 40); (189, 32, 12); (198, 32, 5); (267, 32, 4); (281, 32, 44); (77, 33, 36); (226, 33, 36); (247, 33, 6); (277, 33, 28); (279, 33, 0); (290, 33, 23); (305, 33, 42); (59, 34, 28); (105, 34, 8); (133, 34, 28); (172, 34, 13); (179, 34, 8); (227, 34, 20); (266, 34, 27); (6, 35, 29); (42, 35, 2); (68, 35, 43); (87, 35, 43); (92, 35, 39); (244, 35, 42); (285, 35, 12); (22, 36, 12); (43, 36, 35); (69, 36, 39); (98, 36, 32); (119, 36, 28); (137, 36, 37); (301, 36, 38); (3, 37, 29); (79, 37, 34); (183, 37, 23); (209, 37, 16); (215, 37, 44); (246, 37, 8); (289, 37, 36); (44, 38, 22); (99, 38, 0); (122, 38, 5); (128, 38, 13); (235, 38, 36); (236, 38, 11); (274, 38, 0); (84, 39, 29); (106, 39, 21); (115, 39, 9); (148, 39, 0); (157, 39, 29); (205, 39, 32); (225, 39, 2); (17, 40, 14); (117, 40, 20); (220, 40, 21); (228, 40, 8); (293, 40, 30); (300, 40, 11); (311, 40, 27); (0, 41, 9); (5, 41, 17); (94, 41, 13); (153, 41, 22); (199, 41, 42); (214, 41, 16); (299, 41, 16); (21, 42, 34); (72, 42, 40); (81, 42, 38); (124, 42, 18); (163, 42, 15); (256, 42, 40); (294, 42, 18); (24, 43, 39); (26, 43, 18); (34, 43, 18); (151, 43, 0); (177, 43, 40); (184, 43, 35); (234, 43, 29); (129, 44, 13); (141, 44, 34); (161, 44, 34); (178, 44, 17); (223, 44, 42); (297, 44, 7); (306, 44, 42).

Таблица Г.12 — Скорость 1/2, z = 90

(0, 0, 38); (15, 0, 5); (25, 0, 9); (26, 0, 2); (28, 0, 59); (33, 0, 85); (43, 0, 72); (63, 0, 38); (76, 0, 46); (88, 0, 87); (89, 0, 48); (93, 0, 85); (2, 1, 20); (12, 1, 21); (20, 1, 80); (23, 1, 65); (27, 1, 75); (31, 1, 81); (62, 1, 51); (66, 1, 65); (72, 1, 63); (74, 1, 58); (77, 1, 70); (79, 1, 53); (6, 2, 46); (9, 2, 79); (17, 2, 8); (19, 2, 89); (32, 2, 84); (37, 2, 25); (42, 2, 72); (57, 2, 68); (59, 2, 28); (61, 2, 34); (71, 2, 25); (82, 2, 23); (1, 3, 31); (16, 3, 63); (22, 3, 84); (36, 3, 29); (41, 3, 47); (44, 3, 34); (52, 3, 38); (64, 3, 69); (83, 3, 32); (84, 3, 43); (92, 3, 80); (98, 3, 76); (5, 4, 26); (14, 4, 46); (30, 4, 25); (34, 4, 10); (51, 4, 38); (56, 4, 24); (65, 4, 18); (75, 4, 27); (80, 4, 1); (91, 4, 28); (94, 4, 20); (99, 4, 17); (13, 5, 39); (21, 5, 35); (35, 5, 69); (38, 5, 30); (50, 5, 59); (68, 5, 39); (69, 5, 8); (73, 5, 89); (85, 5, 6); (86, 5, 12); (90, 5, 42); (97, 5, 46); (3, 6, 36); (8, 6, 11); (11, 6, 20); (29, 6, 82); (40, 6, 26); (45, 6, 29); (47, 6, 25); (48, 6, 80); (54, 6, 43); (58, 6, 71); (67, 6, 14); (70, 6, 2); (1, 7, 79); (4, 7, 66); (8, 7, 85); (10, 7, 17); (11, 7, 47); (14, 7, 49); (20, 7, 14); (66, 7, 11); (71, 7, 56); (79, 7, 44); (86, 7, 14); (94, 7, 79); (23, 8, 70); (25, 8, 58); (28, 8, 67); (29, 8, 75); (38, 8, 71); (55, 8, 42); (61, 8, 19); (75, 8, 41); (80, 8, 36); (83, 8, 83); (85, 8, 62); (92, 8, 20); (7, 9, 47); (18, 9, 72); (26, 9, 24); (31, 9, 9); (37, 9, 11); (40, 9, 3); (41, 9, 7); (57, 9, 67); (59, 9, 12); (68, 9, 65); (70, 9, 60); (77, 9, 69); (5, 10, 52); (15, 10, 56); (16, 10, 6); (30, 10, 79); (33, 10, 25); (48, 10, 1); (49, 10, 68); (52, 10, 26); (54, 10, 55); (60, 10, 16); (87, 10, 18); (91, 10, 34); (21, 11, 82); (32, 11, 50); (34, 11, 52); (35, 11, 11); (43, 11, 26); (51, 11, 89); (58, 11, 20); (63, 11, 83); (76, 11, 26); (88, 11, 52); (97, 11, 25); (99, 11, 21); (0, 12, 87); (12, 12, 83); (13, 12, 43); (17, 12, 27); (19, 12, 8); (42, 12, 0); (46, 12, 69); (47, 12, 7); (64, 12, 87); (73, 12, 67); (82, 12, 60); (90, 12, 41); (3, 13, 84); (6, 13, 53); (24, 13, 17); (44, 13, 12); (45, 13, 43); (56, 13, 17); (62, 13, 48); (69, 13, 46); (89, 13, 3); (93, 13, 64); (95, 13, 45); (98, 13, 20); (2, 14, 25); (9, 14, 15); (36, 14, 77); (50, 14, 45); (53, 14, 77); (65, 14, 84); (67, 14, 67); (72, 14, 52); (74, 14, 74); (78, 14, 78); (81, 14, 32); (96, 14, 45); (2, 15, 13); (14, 15, 55); (22, 15, 24); (27, 15, 74); (39, 15, 52); (53, 15, 52); (60, 15, 79); (77, 15, 43); (81, 15, 86); (84, 15, 17); (93, 15, 25); (94, 15, 9); (9, 16, 55); (29, 16, 78); (37, 16, 56); (40, 16, 16); (72, 16, 87); (78, 16, 40); (87, 16, 12); (88, 16, 63); (89, 16, 12); (92, 16, 60); (97, 16, 21); (98, 16, 88); (4, 17, 84); (21, 17, 19); (24, 17, 60); (30, 17, 36); (41, 17, 38); (49, 17, 33); (55, 17, 40); (69, 17, 48); (76, 17, 78); (82, 17, 29); (85, 17, 31); (86, 17, 51); (6, 18, 60); (10, 18, 39); (20, 18, 79); (27, 18, 80); (28, 18, 66); (36, 18, 31); (39, 18, 89); (50, 18, 1); (63, 18, 23); (70, 18, 61); (75, 18, 75); (95, 18, 35); (12, 19, 25); (13, 19, 48); (22, 19, 39); (26, 19, 18); (35, 19, 22); (44, 19, 77); (61, 19, 44); (66, 19, 34); (67, 19, 13); (68, 19, 33); (84, 19, 79); (96, 19, 53); (1, 20, 5); (3, 20, 8); (17, 20, 3); (19, 20, 29); (31, 20, 41); (33, 20, 10); (42, 20, 82); (46, 20, 75); (47, 20, 3); (48, 20, 70); (65, 20, 25); (79, 20, 67); (0, 21, 6); (5, 21, 16); (7, 21, 78); (8, 21, 88); (25, 21, 43); (32, 21, 66); (52, 21, 68); (57, 21, 57); (59, 21, 48); (64, 21, 34); (83, 21, 55); (99, 21, 73); (18, 22, 63); (38, 22, 37);

Окончание таблицы Г.12

(43, 22, 65); (45, 22, 77); (56, 22, 44); (58, 22, 3); (62, 22, 61); (71, 22, 55); (73, 22, 15); (74, 22, 52); (80, 22, 68); (91, 22, 29); (3, 23, 16); (11, 23, 82); (15, 23, 62); (16, 23, 73); (23, 23, 35); (30, 23, 14); (34, 23, 80); (51, 23, 57); (54, 23, 22); (55, 23, 66); (56, 23, 10); (90, 23, 67); (8, 24, 57); (13, 24, 19); (17, 24, 40); (26, 24, 45); (48, 24, 64); (49, 24, 48); (50, 24, 13); (59, 24, 10); (68, 24, 48); (71, 24, 44); (87, 24, 26); (92, 24, 75); (15, 25, 11); (16, 25, 61); (21, 25, 45); (36, 25, 31); (42, 25, 68); (46, 25, 17); (53, 25, 73); (69, 25, 85); (83, 25, 15); (89, 25, 13); (90, 25, 31); (94, 25, 53); (9, 26, 43); (18, 26, 37); (22, 26, 29); (24, 26, 37); (27, 26, 62); (31, 26, 60); (33, 26, 81); (37, 26, 73); (62, 26, 24); (63, 26, 81); (80, 26, 52); (98, 26, 17); (19, 27, 70); (44, 27, 51); (81, 27, 1); (6, 28, 59); (78, 28, 59); (82, 28, 79); (38, 29, 19); (57, 29, 27); (66, 29, 40); (1, 30, 40); (34, 30, 58); (85, 30, 71); (41, 31, 87); (43, 31, 27); (52, 31, 21); (10, 32, 49); (32, 32, 32); (74, 32, 45); (28, 33, 82); (45, 33, 4); (67, 33, 78); (64, 34, 7); (70, 34, 3); (84, 34, 20); (11, 35, 23); (12, 35, 29); (47, 35, 66); (2, 36, 56); (25, 36, 23); (73, 36, 89); (7, 37, 49); (77, 37, 43); (96, 37, 34); (23, 38, 88); (58, 38, 62); (79, 38, 69); (29, 39, 12); (72, 39, 9); (91, 39, 47); (39, 40, 68); (65, 40, 3); (93, 40, 62); (4, 41, 39); (54, 41, 45); (61, 41, 21); (35, 42, 47); (40, 42, 5); (60, 42, 60); (5, 43, 4); (95, 43, 31); (97, 43, 35); (51, 44, 13); (75, 44, 47); (99, 44, 62); (0, 45, 24); (76, 45, 82); (88, 45, 75); (14, 46, 5); (20, 46, 11); (86, 46, 89); (55, 47, 71); (80, 47, 74); (94, 47, 40); (0, 48, 53); (30, 48, 70); (57, 48, 76); (91, 49, 73); (93, 49, 37); (96, 49, 47); (21, 50, 36); (29, 50, 27); (82, 50, 16); (16, 51, 72); (38, 51, 1); (71, 51, 81); (9, 52, 69); (35, 52, 53); (36, 52, 32); (52, 53, 34); (97, 53, 24); (99, 53, 43); (6, 54, 40); (7, 54, 21); (83, 54, 75); (18, 55, 29); (85, 55, 72); (88, 55, 19); (4, 56, 10); (59, 56, 72); (98, 56, 60); (44, 57, 66); (73, 57, 45); (89, 57, 78); (37, 58, 49); (39, 58, 38); (79, 58, 60); (28, 59, 43); (84, 59, 14); (90, 59, 10); (67, 60, 59); (70, 60, 34); (81, 60, 20); (48, 61, 19); (49, 61, 27); (66, 61, 45); (10, 62, 60); (11, 62, 77); (46, 62, 6); (2, 63, 18); (45, 63, 6); (74, 63, 82); (23, 64, 48); (62, 64, 82); (69, 64, 78); (3, 65, 38); (40, 65, 11); (78, 65, 60); (17, 66, 11); (34, 66, 33); (76, 66, 81); (19, 67, 66); (51, 67, 38); (86, 67, 1); (14, 68, 33); (33, 68, 59); (53, 68, 34); (24, 69, 27); (58, 69, 83); (75, 69, 21); (13, 70, 20); (22, 70, 72); (31, 70, 55); (15, 71, 61); (54, 71, 57); (87, 71, 8); (8, 72, 41); (32, 72, 23); (95, 72, 71); (12, 73, 39); (25, 73, 50); (56, 73, 2); (27, 74, 44); (42, 74, 76); (72, 74, 9); (64, 75, 34); (77, 75, 23); (92, 75, 61); (41, 76, 61); (60, 76, 0); (65, 76, 3); (1, 77, 84); (5, 77, 24); (26, 77, 13); (43, 78, 58); (61, 78, 32); (63, 78, 67); (20, 79, 46); (47, 79, 49); (68, 79, 25).

Таблица Г.13 — Скорость 2/3, $z = 90$

(3, 0, 65); (5, 0, 52); (8, 0, 19); (20, 0, 25); (26, 0, 41); (31, 0, 57); (38, 0, 29); (41, 0, 2); (46, 0, 39); (47, 0, 62); (54, 0, 28); (56, 0, 9); (3, 1, 14); (6, 1, 62); (7, 1, 88); (15, 1, 58); (16, 1, 57); (22, 1, 75); (32, 1, 68); (39, 1, 30); (43, 1, 36); (53, 1, 36); (55, 1, 83); (58, 1, 76); (0, 2, 60); (4, 2, 84); (8, 2, 53); (17, 2, 73); (23, 2, 57); (36, 2, 80); (42, 2, 68); (45, 2, 70); (49, 2, 34); (50, 2, 65); (57, 2, 29); (59, 2, 66); (1, 3, 78); (5, 3, 1); (9, 3, 86); (12, 3, 75); (19, 3, 8); (24, 3, 79); (25, 3, 45); (27, 3, 82); (30, 3, 17); (40, 3, 64); (44, 3, 60); (51, 3, 61); (10, 4, 25); (11, 4, 33); (14, 4, 70); (18, 4, 26); (21, 4, 82); (28, 4, 22); (29, 4, 51); (31, 4, 7); (35, 4, 46); (37, 4, 50); (48, 4, 17); (52, 4, 77); (2, 5, 52); (7, 5, 61); (11, 5, 75); (13, 5, 67); (15, 5, 52); (18, 5, 35); (25, 5, 3); (30, 5, 4); (33, 5, 27); (34, 5, 66); (39, 5, 27); (56, 5, 50); (17, 6, 9); (21, 6, 62); (23, 6, 26); (28, 6, 36); (33, 6, 3); (40, 6, 21); (44, 6, 66); (45, 6, 65); (51, 6, 61); (53, 6, 30); (57, 6, 44); (59, 6, 22); (0, 7, 52); (2, 7, 25); (3, 7, 26); (6, 7, 41); (24, 7, 4); (27, 7, 5); (35, 7, 87); (41, 7, 79); (48, 7, 75); (50, 7, 81); (52, 7, 33); (58, 7, 64); (4, 8, 3); (5, 8, 60); (16, 8, 24); (20, 8, 58); (26, 8, 18); (32, 8, 24); (34, 8, 2); (37, 8, 80); (46, 8, 6); (47, 8, 8); (54, 8, 45); (55, 8, 14); (8, 9, 33); (10, 9, 2); (12, 9, 81); (13, 9, 14); (14, 9, 37); (19, 9, 31); (22, 9, 45); (29, 9, 2); (31, 9, 19); (36, 9, 61); (38, 9, 2); (42, 9, 45); (1, 10, 0); (4, 10, 22); (9, 10, 43); (15, 10, 56); (21, 10, 25); (27, 10, 29); (31, 10, 10); (43, 10, 69); (45, 10, 46); (49, 10, 54); (50, 10, 49); (51, 10, 62); (2, 11, 11); (10, 11, 1); (13, 11, 12); (17, 11, 27); (18, 11, 20); (25, 11, 58); (34, 11, 34); (35, 11, 67); (38, 11, 15); (41, 11, 72); (55, 11, 1); (57, 11, 27); (7, 12, 76); (14, 12, 41); (24, 12, 72); (32, 12, 33); (36, 12, 50); (40, 12, 36); (42, 12, 66); (43, 12, 88); (46, 12, 58); (48, 12, 88); (56, 12, 88); (58, 12, 40); (0, 13, 58); (1, 13, 11); (8, 13, 36); (12, 13, 1); (20, 13, 16); (28, 13, 68); (33, 13, 12); (39, 13, 40); (44, 13, 32); (52, 13, 28); (53, 13, 63); (54, 13, 88); (5, 14, 49); (6, 14, 78); (9, 14, 29); (16, 14, 33); (22, 14, 70); (23, 14, 45); (26, 14, 8); (29, 14, 30); (30, 14, 5); (47, 14, 31); (49, 14, 63); (59, 14, 58); (3, 15, 17); (11, 15, 20); (19, 15, 28); (20, 15, 45); (24, 15, 34); (28, 15, 85); (29, 15, 29); (37, 15, 59); (38, 15, 72); (41, 15, 6); (51, 15, 7); (59, 15, 5); (1, 16, 56); (6, 16, 6); (12, 16, 63); (16, 16, 80); (31, 16, 22); (32, 16, 81); (40, 16, 14); (42, 16, 80); (47, 16, 62); (48, 16, 87); (50, 16, 36); (56, 16, 83); (0, 17, 32); (2, 17, 79); (4, 17, 47); (5, 17, 41); (10, 17, 80); (21, 17, 34); (25, 17, 32); (26, 17, 19); (34, 17, 79); (39, 17, 35); (45, 17, 12); (52, 17, 73); (3, 18, 41); (8, 18, 72); (9, 18, 57); (15, 18, 50); (23, 18, 61); (27, 18, 29); (35, 18, 40); (37, 18, 59); (44, 18, 29); (49, 18, 33); (54, 18, 62); (58, 18, 35); (7, 19, 13); (11, 19, 79); (14, 19, 6); (17, 19, 29); (18, 19, 28); (19, 19, 25); (22, 19, 18); (36, 19, 53); (43, 19, 8); (46, 19, 19); (53, 19, 7); (57, 19, 70); (7, 20, 75); (13, 20, 58); (17, 20, 55); (21, 20, 60); (28, 20, 74); (30, 20, 39); (31, 20, 4); (33, 20, 19); (37, 20, 79); (53, 20, 50); (55, 20, 17); (58, 20, 7); (2, 21, 65); (12, 21, 74); (14, 21, 71); (19, 21, 31); (20, 21, 13); (33, 21, 13); (35, 21, 32); (36, 21, 44); (38, 21, 44); (46, 21, 38); (47, 21, 7); (50, 21, 69); (3, 22, 2); (11, 22, 14); (22, 22, 65); (29, 22, 47); (30, 22, 17); (32, 22, 82); (34, 22, 19); (41, 22, 31); (44, 22, 14); (45, 22, 33); (49, 22, 66); (57, 22, 2); (1, 23, 80); (8, 23, 72); (9, 23, 12); (13, 23, 36); (16, 23, 15); (40, 23, 46); (42, 23, 2); (51, 23, 70); (54, 23, 57); (55, 23, 47); (56, 23, 11); (59, 23, 24); (4, 24, 39); (5, 24, 32); (10, 24, 32); (15, 24, 25); (18, 24, 75); (23, 24, 87); (24, 24, 19); (25, 24, 59); (26, 24, 39); (39, 24, 37); (43, 24, 76); (48, 24, 45); (0, 25, 45); (6, 25, 50); (13, 25, 28); (14, 25, 37); (16, 25, 81); (27, 25, 77); (28, 25, 83); (29, 25, 50); (50, 25, 16); (52, 25, 60); (55, 25, 32); (57, 25, 16); (0, 26, 14); (4, 26, 76); (9, 26, 19); (11, 26, 0); (18, 26, 86); (24, 26, 87); (31, 26, 71); (34, 26, 16); (45, 26, 13); (46, 26, 23); (54, 26, 55); (56, 26, 84); (23, 27, 18); (25, 27, 14); (47, 27, 68); (7, 28, 59); (27, 28, 75); (40, 28, 7); (5, 29, 47); (8, 29, 67); (32, 29, 35); (2, 30, 82); (30, 30, 60); (53, 30, 20); (12, 31, 45); (39, 31, 14); (59, 31, 17); (19, 32, 22); (38, 32, 19); (44, 32, 60); (21, 33, 8); (35, 33, 17); (58, 33, 39); (1, 34, 66); (15, 34, 47); (43, 34, 41); (3, 35, 88); (20, 35, 41); (42, 35, 33); (36, 36, 76); (48, 36, 20); (51, 36, 57); (10, 37, 11); (17, 37, 61); (52, 37, 74); (26, 38, 10);

Окончание таблицы Г.13

(33, 38, 67); (49, 38, 86); (6, 39, 70); (37, 39, 14); (41, 39, 62); (22, 40, 34); (45, 40, 19); (53, 40, 26); (3, 41, 63); (10, 41, 21); (12, 41, 48); (20, 42, 19); (32, 42, 27); (56, 42, 53); (5, 43, 25); (41, 43, 46); (44, 43, 87); (4, 44, 10); (17, 44, 27); (33, 44, 3); (11, 45, 23); (28, 45, 20); (40, 45, 33); (7, 46, 62); (29, 46, 54); (39, 46, 85); (14, 47, 71); (16, 47, 61); (22, 47, 23); (0, 48, 11); (27, 48, 13); (47, 48, 63); (23, 49, 25); (36, 49, 20); (55, 49, 12); (30, 50, 50); (34, 50, 86); (50, 50, 79); (2, 51, 81); (13, 51, 17); (54, 51, 80); (6, 52, 19); (26, 52, 34); (37, 52, 65); (18, 53, 43); (21, 53, 81); (46, 53, 39); (25, 54, 75); (31, 54, 47); (49, 54, 59); (8, 55, 8); (19, 55, 77); (42, 55, 86); (9, 56, 4); (35, 56, 26); (59, 56, 67); (1, 57, 37); (52, 57, 69); (57, 57, 62); (38, 58, 41); (43, 58, 9); (58, 58, 36); (15, 59, 20); (48, 59, 12); (51, 59, 27); (24, 60, 77); (28, 60, 28); (43, 60, 24); (25, 61, 39); (42, 61, 12); (47, 61, 47); (8, 62, 4); (34, 62, 22); (44, 62, 85); (30, 63, 50); (37, 63, 28); (40, 63, 13); (11, 64, 41); (50, 64, 38); (59, 64, 58); (2, 65, 20); (35, 65, 49); (41, 65, 61); (16, 66, 18); (21, 66, 12); (36, 66, 2); (22, 67, 3); (32, 67, 31); (56, 67, 42); (33, 68, 75); (49, 68, 43); (51, 68, 5); (4, 69, 64); (24, 69, 84); (38, 69, 47); (15, 70, 39); (26, 70, 72); (58, 70, 73); (12, 71, 48); (54, 71, 5); (57, 71, 50); (3, 72, 41); (14, 72, 13); (46, 72, 23); (7, 73, 37); (20, 73, 4); (53, 73, 28); (23, 74, 35); (29, 74, 85); (45, 74, 75); (0, 75, 58); (9, 75, 5); (39, 75, 13); (5, 76, 43); (6, 76, 62); (13, 76, 46); (19, 77, 49); (27, 77, 11); (31, 77, 11); (1, 78, 55); (17, 78, 87); (18, 78, 60); (48, 79, 44); (52, 79, 73); (55, 79, 21); (10, 80, 79); (24, 80, 30); (39, 80, 38); (9, 81, 25); (52, 81, 5); (54, 81, 73); (23, 82, 54); (25, 82, 9); (27, 82, 40); (3, 83, 25); (19, 83, 6); (44, 83, 65); (15, 84, 53); (42, 84, 19); (56, 84, 32); (16, 85, 76); (46, 85, 23); (58, 85, 84); (6, 86, 74); (7, 86, 19); (38, 86, 8); (18, 87, 23); (28, 87, 21); (55, 87, 63); (35, 88, 69); (40, 88, 35); (57, 88, 35); (31, 89, 15); (32, 89, 78); (41, 89, 22); (37, 90, 27); (49, 90, 20); (51, 90, 62); (20, 91, 3); (53, 91, 13); (59, 91, 33); (1, 92, 11); (8, 92, 23); (48, 92, 34); (4, 93, 61); (14, 93, 67); (43, 93, 1); (0, 94, 79); (5, 94, 25); (26, 94, 70); (10, 95, 60); (12, 95, 32); (29, 95, 8); (11, 96, 51); (30, 96, 6); (36, 96, 23); (13, 97, 65); (21, 97, 73); (45, 97, 83); (2, 98, 15); (22, 98, 60); (47, 98, 78); (33, 99, 38); (34, 99, 25); (50, 99, 30); (17, 100, 53); (28, 100, 21); (49, 100, 2); (13, 101, 56); (20, 101, 26); (21, 101, 6); (16, 102, 21); (17, 102, 26); (37, 102, 15); (14, 103, 88); (34, 103, 51); (46, 103, 31); (2, 104, 16); (24, 104, 26); (39, 104, 37); (6, 105, 11); (32, 105, 40); (33, 105, 60); (10, 106, 70); (18, 106, 43); (42, 106, 41); (40, 107, 22); (43, 107, 57); (45, 107, 72); (38, 108, 79); (55, 108, 42); (58, 108, 14); (12, 109, 35); (26, 109, 24); (50, 109, 74); (27, 110, 55); (29, 110, 25); (51, 110, 18); (23, 111, 75); (25, 111, 42); (57, 111, 37); (3, 112, 3); (19, 112, 61); (56, 112, 66); (35, 113, 86); (41, 113, 67); (53, 113, 59); (8, 114, 80); (11, 114, 38); (15, 114, 30); (1, 115, 35); (36, 115, 0); (47, 115, 19); (9, 116, 52); (22, 116, 60); (44, 116, 32); (0, 117, 36); (52, 117, 88); (59, 117, 55); (4, 118, 62); (5, 118, 52); (31, 118, 73); (7, 119, 5); (48, 119, 61); (54, 119, 3).

Приложение Д
(обязательное)

Вычисление циклического избыточного кода

Циклический избыточный код (CRC-код) представляет собой контрольную сумму, позволяющую выявлять ошибки передачи в приемнике. Слова CRC-кода должны быть включены в передаваемые данные.

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 определяется как остаток деления многочлена $u(x) \cdot x^n$ на многочлен $G_n(x)$ над полем GF(2).

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; $b_2 - x^2$; …; 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.

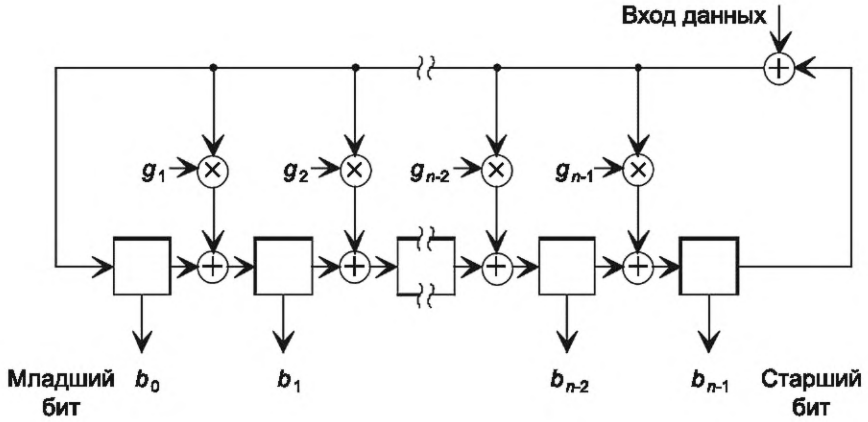

Рисунок Д.1 — Блок-схема вычисления CRC-кода

Перед вычислением 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.

Приложение Е
(обязательное)

Алгоритмы кодирования LDPC

LDPC-кодер преобразует битовое сообщение $i = (i_0, i_1, \ldots, i_{k_{ldpc}-1})$ длины k_{ldpc} в кодовое слово $c = (i_0, i_1, \ldots, i_{k_{ldpc}-1}, p_0, p_1, \ldots, p_{n_{ldpc}-k_{ldpc}-1})$ длины n_{ldpc}.

При использовании кодовых скоростей 1/8, 1/2, 2/3 для коротких кадров применяется алгоритм Б, при прочих сочетаниях кодовой скорости и длины кадра применяется алгоритм А.

Е.1 Алгоритм кодирования А

Вначале происходит инициализация: $p_0 = p_1 = \ldots = p_{n_{ldpc}-k_{ldpc}-1} = 0$.

На первом шаге рассматриваются первые 360 бит сообщения: i_m, $m = 0, 1, ..., 359$ и первая строка таблицы координат ненулевых элементов Б.1—Б.12 для длинных кадров, В.1—В.3 для средних кадров или Г.1—Г.10 для коротких кадров. Далее будет приведен пример выполнения операций для случая длинных кадров и скорости 3/4 (таблица Б.8).

Выполняется прибавление бита i_0 к каждому из проверочных битов с индексами, указанными в первой строке таблицы

$$p_0 = p_0 \oplus i_0, \qquad p_{3252} = p_{3252} \oplus i_0,$$
$$p_{6385} = p_{6385} \oplus i_0, \qquad p_{5243} = p_{5243} \oplus i_0,$$
$$p_{7901} = p_{7901} \oplus i_0, \qquad p_{2504} = p_{2504} \oplus i_0,$$
$$p_{14611} = p_{14611} \oplus i_0, \qquad p_{2722} = p_{2722} \oplus i_0,$$
$$p_{13389} = p_{13389} \oplus i_0, \qquad p_{821} = p_{821} \oplus i_0,$$
$$p_{11200} = p_{11200} \oplus i_0, \qquad p_{7374} = p_{7374} \oplus i_0.$$

Для следующих 359 бит сообщения i_m, $m = 0, 1, ..., 359$ индексы получаются сложением координат из первой строки таблицы с числом $m \cdot q$ по модулю длины проверочного слова $(n_{ldpc} - k_{ldpc})$:

$$x_m = \{x_0^1 + m \cdot q\} \bmod (n_{ldpc} - k_{ldpc}),$$

где x_0^1 — координата из первой строки таблицы, x_m — соответствующий индекс для бита i_m, q — параметр кода, зависящий от скорости согласно таблице 11 (в данном примере $q = 45$):

$$p_{45} = p_{45} \oplus i_0, \qquad p_{3297} = p_{3297} \oplus i_0,$$
$$p_{6430} = p_{6430} \oplus i_0, \qquad p_{5288} = p_{5288} \oplus i_0,$$
$$p_{7946} = p_{7946} \oplus i_0, \qquad p_{2549} = p_{2549} \oplus i_0,$$
$$p_{14656} = p_{14656} \oplus i_0, \qquad p_{2767} = p_{2767} \oplus i_0,$$
$$p_{13434} = p_{13434} \oplus i_0, \qquad p_{866} = p_{866} \oplus i_0,$$
$$p_{11245} = p_{11245} \oplus i_0, \qquad p_{7419} = p_{7419} \oplus i_0.$$

На втором шаге рассматриваются вторые 360 бит сообщения: i_m, $m = 360, 361, ..., 719$. Индексами для первого бита группы i_{360} будут служить значения координат из второй строки таблицы Б.1—Б.12 для длинных кадров, В.1—В.3 для средних кадров или Г.1—Г.10 для коротких кадров. Индексы бит i_m, $m = 360, 361, ..., 719$ вычисляются по формуле, подобной указанной выше, с учетом номера бита m по модулю 360:

$$x_m = \{x_0^2 + (m \bmod 360) \cdot q\} \bmod (n_{ldpc} - k_{ldpc}),$$

где x_0^2 — координата из второй строки таблицы.

Далее на каждом следующем шаге рассматриваются следующая группа из 360 битов и следующая строка таблицы. Индексы находятся по формуле

$$x_m = \{x_0^l + (m \bmod 360) \cdot q\} \bmod (n_{ldpc} - k_{ldpc}),$$

где l — номер рассматриваемой группы, x_0^l — координата из строки с номером l.

По исчерпании данных производится финальное преобразование последовательно для $i = 1, 2, \ldots, n_{ldpc} - k_{ldpc} - 1$:

$$p_i = p_i \oplus p_{i-1}.$$

Таблица Е.1 — Параметр q для различных скоростей кодирования

n_{ldpc} = 64 800		n_{ldpc} = 32 400		n_{ldpc} = 16 200	
Скорость кода	q	Скорость кода	q	Скорость кода	q
2/9*	140	1/5*	72	1/4	36
1/4	135	11/45*	68	11/45*	34
1/3	120	1/3*	60	4/15*	31
2/5	108			1/3	30
1/2	90			2/5	27
3/5	72			3/5	18
2/3	60			3/4	12
3/4	45			4/5	10
4/5	36			5/6	8
5/6	30			8/9	5
8/9	20				
9/10	18				
* Применяется только в режиме СНОСШ.					

Е.2 Алгоритм кодирования Б

Входное информационное слово обрабатывается в блоках по z бит, представленных в виде векторов-столбцов, число которых составляет $k_b = k_{ldpc}/z$: $\boldsymbol{u}_0, \boldsymbol{u}_1, \ldots, \boldsymbol{u}_{k_b-1}$. Параметр z определяется согласно приложению Г. Выходное проверочное слово также представляется в виде $m_b = (n_{ldpc} - k_{ldpc})/z$ векторов по z битов: $\boldsymbol{v}_0, \boldsymbol{v}_1, \ldots, \boldsymbol{v}_{mb-1}$.

В таблицах Г.11—Г.13 записаны тройки чисел (i, j, s), ставящие в соответствие парам координат (i, j) циркулянтов значения сдвигов $s(i, j)$. При отсутствии в таблице пары координат (i, j) принимается $s(i, j) = -1$.

Обработка данных LDPC-кодером выполняется в два этапа. На первом этапе происходит расчет первого вектора проверочной части $\boldsymbol{v}_0$, определяемого формулой

$$P_1 v_0 = \sum_{j=0}^{k_b-1} \sum_{i=0}^{m_b-1} P_{s(i,j)} \boldsymbol{u}_j,$$

где P_k при $k \geq 0$ является циркулянтной матрицей размера $z \cdot z$, строка с номером ζ ($\zeta \in \{0, \ldots, z-1\}$) которой получается с помощью циклического сдвига на ζ позиций вправо строки с единственным ненулевым элементом в позиции k, а при $k = -1$ является нулевой матрицей размера $z \cdot z$.

Расчет на первом этапе производится с помощью m_b сдвиговых регистров длины z. На шаге j ($j \in \{0, \ldots, k_b - 1\}$) в каждый из регистров загружается блок $\boldsymbol{u}_j$, после чего в каждом регистре производятся сдвиги: в регистре с номером i циклический сдвиг влево составляет $s(i, j)$, если $s(i, j) \geq 0$; при $s(i, j) = -1$ регистр обнуляется.

Значение каждого регистра аккумулируется в промежуточном буфере $\boldsymbol{a}_i$ ($i = 0, \ldots, m_b - 1$) длины z, инициализируемом нулевым значением перед обработкой нового информационного слова $\boldsymbol{i}$. После выполнения k_b операций «сдвиг-суммирование» происходит формирование векторов промежуточного результата $\boldsymbol{c}_0, \boldsymbol{c}_1, \ldots, \boldsymbol{c}_{mb-1}$: вектор $\boldsymbol{c}_i$ содержит сумму буферов с номерами от i до $m_b - 1$:

$$\boldsymbol{c}_i = \boldsymbol{a}_i + \boldsymbol{a}_{i+1} + \ldots + \boldsymbol{a}_{mb-1}.$$

Вектор $\boldsymbol{v}_0$ получается циклическим сдвигом на 1 позицию вправо вектора $\boldsymbol{c}_0$.

На втором этапе выполняется вычисление векторов проверочных битов $\boldsymbol{v}_0, \boldsymbol{v}_1, \ldots, \boldsymbol{v}_{mb-1}$, определяемых выражением

$$\boldsymbol{v}_l = \sum_{j=0}^{k_b-1} \sum_{i=l}^{m_b-1} P_{s(i,j)} \boldsymbol{u}_j + \sum_{i=l}^{m_b-1} P_{s(i,k_b)} \boldsymbol{v}_0, \; l = 1, \ldots, m_b - 1,$$

ичем для подсчета используется следующая формула:

$$\boldsymbol{v}_l = c_l + \sum_{i=l}^{m_b-1} P_{s(i,k_b)} \boldsymbol{v}_0, \; l = 1, \ldots, m_b - 1.$$

На каждом шаге l ($l \in \{0, \ldots, m_b - 1\}$) выполняется вычисление вектора проверочных битов $\boldsymbol{v}_l$ сложением вектора $\boldsymbol{c}_l$ и частичной суммы циклических сдвигов вектора $\boldsymbol{v}_0$ согласно значениям столбца 0 с номерами от i до $m_b - 1$ матрицы H_{b2}, определенной в приложении Г.

Приложение Ж
(обязательное)

Формат передаваемых данных для сверхнизких значений отношения «сигнал/шум»

Для приема сигнала со сверхнизким отношением «сигнал/шум» (от –10 до –2 дБ) целесообразно повышать надежность канала за счет уменьшения скорости передачи. Специальный режим передачи в условиях высокого уровня шума (СНОСШ) использует пониженные скорости передачи (1/8, 1/5, 2/9, 11/45, 1/4, 4/15, 1/3) и режимы модуляции с низкой спектральной эффективностью и, соответственно, более низким порогом по SNR для квазибезошибочного детектирования (π/2-BPSK и QPSK). Также в режиме СНОСШ вводится кадр средней длины (n_{ldpc} = 32 400 бит) наряду с длинными (n_{ldpc} = 64 800 бит) и короткими (n_{ldpc} = 16 200 бит) кадрами. Для некоторых режимов помехоустойчивые свойства улучшаются двукратным или трехкратным повторением каждого бита помехозащищенного кадра (коэффициент расширения 2 или 3).

Таблица Ж.1 — Режимы модуляции и кодирования СНОСШ

Тип FEC-кадра	Скорость кодирования	Коэффициент расширения	Тип модуляции	Тип PL-кадра
длинный	2/9	1	QPSK	СНОСШ-1
средний	1/5	1	π/2-BPSK	СНОСШ-1
средний	11/45	1	π/2-BPSK	СНОСШ-1
средний	1/3	1	π/2-BPSK	СНОСШ-1
короткий	1/8	2	π/2-BPSK	СНОСШ-1
короткий	1/4	2	π/2-BPSK	СНОСШ-1
короткий	11/45	2	π/2-BPSK	СНОСШ-1
короткий	1/4	1	π/2-BPSK	СНОСШ-2
короткий	4/15	1	π/2-BPSK	СНОСШ-2
короткий	1/3	1	π/2-BPSK	СНОСШ-2
короткий	1/8	3	π/2-BPSK	СНОСШ-3
короткий	1/5	3	π/2-BPSK	СНОСШ-3

Доступные соотношения длины входного кадра и типов кодирования и модуляции, а также типы выходных кадров, описанные в разделе 2 данного приложения, даны в таблице Ж.1. В режиме СНОСШ обязательно использование пилотов, располагаемых между информационными слотами кадра вдвое чаще по сравнению с режимом передачи с пилотами без СНОСШ.

Ж.1 Расширение и отображение на созвездие π/2-BPSK (только для режима СНОСШ)

Для некоторых режимов СНОСШ перед отображением производится расширение последовательности с коэффициентом расширения (КР), равным 2 или 3, в соответствии с таблицей Ж.1. Расширение производится за счет повторения каждого бита входной последовательности $b_0, b_1, \ldots, b_{n_{ldpc}-1}$ дважды подряд: $b_0, b_0, b_1, b_1, \ldots, b_{n_{ldpc}-1}, b_{n_{ldpc}-1}$ или трижды подряд: $b_0, b_0, b_0, b_1, b_1, b_1, \ldots, b_{n_{ldpc}-1}, b_{n_{ldpc}-1}, b_{n_{ldpc}-1}$.

Режим модуляции π/2-BPSK описан в 5.4.1, причем длина N отображаемой последовательности $y_0, y_1, \ldots, y_{N-1}$ равна произведению n_{ldpc} на коэффициент расширения.

При КР = 1 бит FEC-кадра с номером i задает символ XFEC-кадра с номером i. При КР = 2 бита/ам FEC-кадра с номером i задает символы XFEC-кадра с номерами $2i$ и $2i + 1$. При КР = 3 бита/ам FEC-кадра с номером i задает символы XFEC-кадра с номерами $3i$, $3i + 1$ и $3i + 2$.

Ж.2 Требования к формированию кадров физического уровня

Кадр физического уровня при использовании СНОСШ может иметь один из трех видов структуры в соответствии с таблицей Ж.1:

- СНОСШ-1: длина кадра физического уровня равна 34 974 символам; число информационных символов равно 32 400 (360 слотов);
- СНОСШ-2: длина кадра физического уровня равна 17 982 символам; число информационных символов равно 16 200 (180 слотов);
- СНОСШ-3: длина кадра физического уровня равна 52 002 символам; число информационных символов равно 48 600 (540 слотов).

Структура кадра физического уровня трех структур изображена на рисунке Ж.2.

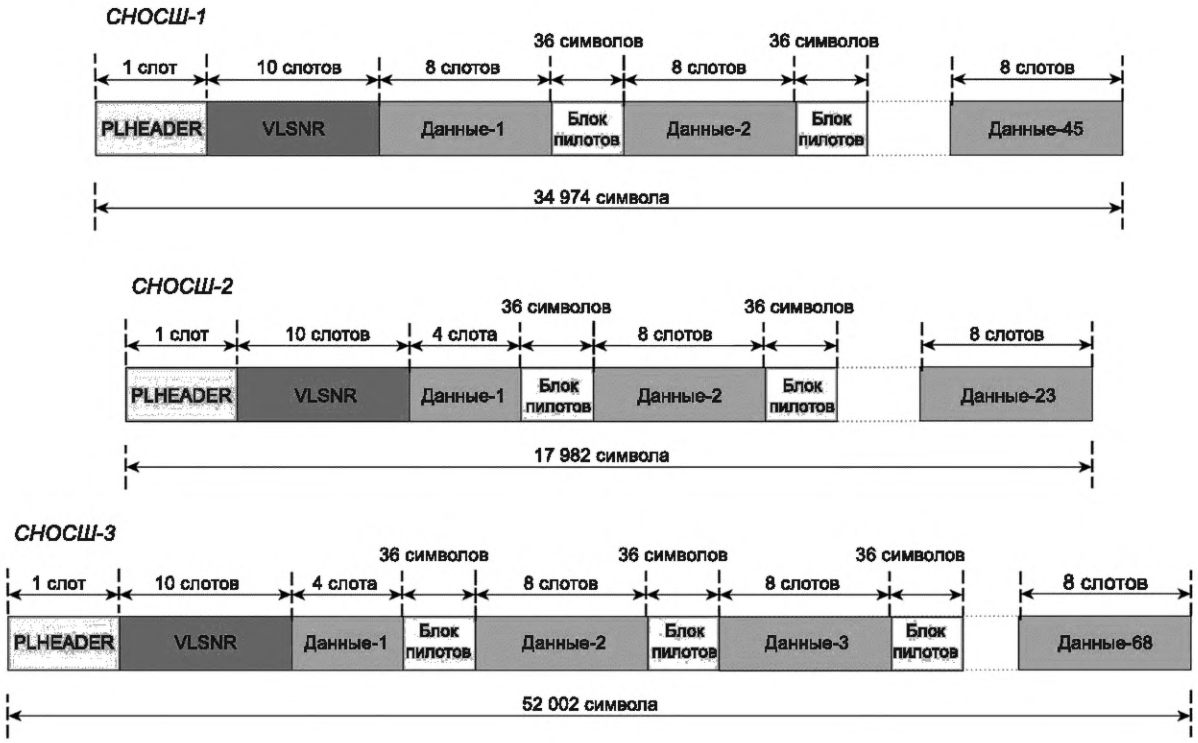

Рисунок Ж.2 — Структура кадра физического уровня в режимах СНОСШ-1, СНОСШ-2 и СНОСШ-3

Эффективность XFEC-кадра η рассчитывается как отношение количества информационных символов к общему числу символов кадра и равна 92,64 % для типа СНОСШ-1, 90,09 % для типа СНОСШ-2 и 93,46 % для типа СНОСШ-3.

Ж.2.1 Сигнализация физического уровня

Требования к формированию полей заголовка кадра физического уровня согласуются с 5.5.2, за исключением изменений в 5.5.2.2 и 5.5.2.3, описанных ниже.

В режиме СНОСШ структура кадра физического уровня (PLFRAME) также включает заголовок режима СНОСШ (VLSNR) длиной 900 символов, описанный в Ж.2.1.3, располагающийся между заголовком физического уровня (PLHEADER) и комплексным кадром (XFECFRAME).

Ж.2.1.1 Поле MODCOD

В режиме СНОСШ поле MODCOD принимает значения 29_{10}, 30_{10} или 31_{10}, определяя длину XFEC-кадра. Равенство поля MODCOD принятого PL-кадра значению 29_{10}, 30_{10} или 31_{10} сигнализирует об использовании режима СНОСШ. При прочих значениях поля MODCOD структура кадра согласуется с 5.5.

Ж.2.1.2 Поле TYPE

Поскольку информация о длине кадра в режиме СНОСШ включена в поле MODCOD, а использование пилотов в нем обязательно, значение поля TYPE фиксируется равным 11_2.

Ж.2.1.3 Заголовок VLSNR

Заголовок VLSNR представляет собой поле, состоящее из 10 слотов по 90 символов в символьном представлении или 900 бит в битовом представлении. Первые два бита и последние два бита заголовка нулевые. Остальные биты, определяющие тип модуляции, кодирования и тип входного и выходного кадров, можно разбить на 16 групп по 56 бит. Биты каждой группы определяются через ряд Уолша-Адамара, сопоставляемый с набором параметров для данного кадра согласно таблице Ж.3. Биты группы с номером n получаются из строки n таблицы Ж.2 ее побитовым инвертированием либо полным сохранением в зависимости от значения элемента с номером n ряда Уолша-Адамара для данного кадра: значение элемента «+» означает сохранение данной строки, а значение «_» – ее инвертирование.

Символьное представление заголовка (I_i, Q_i) (i = 0, 1, …, 899) связано с его представлением в виде двоичной последовательности $(y_0, y_1, \ldots, y_{899})$ через модуляцию по созвездию $\pi/2$-BPSK (см. 5.4.1),

Таблица Ж.2 — Скремблирующая последовательность для поля VLSNR

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

Ж.2.2 Вставка пилотов

В режиме СНОСШ обязательно применение пилотных блоков, представляющих собой последовательности $P = 36$ немодулированных символов $I = 1/\sqrt{2}$, $Q = 1/\sqrt{2}$ вставляемых между информационными слотами согласно рисунку Ж.2 с интервалом восемь слотов между соседними группами пилотных блоков. Первый пилотный блок вставляется после восьмого слота после VLSNR в режиме СНОСШ-1 и после четвертого слота после VLSNR в режимах СНОСШ-2 и СНОСШ-3. Пилотный блок за последним слотом кадра не вставляется.

Таблица Ж.3 — Последовательности Уолша-Адамара для каждого режима СНОСШ

Последовательность	Тип входного кадра	Тип модуляции	Коэффициент расширения	Скорость кода
СНОСШ-1				
++++++++++++++++	длинный	QPSK	1	2/9
+_+_+_+_+_+_+_+_	средний	π/2-BPSK	1	1/5
++__++__++__++__	средний	π/2-BPSK	1	11/45
+__++__++__++__+	средний	π/2-BPSK	1	1/3
++++____++++____	короткий	π/2-BPSK	2	1/8
+__+_++_+__+_++_	короткий	π/2-BPSK	2	1/4
++__++____++__++	короткий	π/2-BPSK	2	11/45
+__++__+_++__++_	зарезервировано	н/д	н/д	н/д
++++________++++	зарезервировано	н/д	н/д	н/д
СНОСШ-2				
++____++++____++	короткий	π/2-BPSK	1	1/4
+_+__+_++_+__+_+	короткий	π/2-BPSK	1	4/15
________++++++++	короткий	π/2-BPSK	1	1/3
+_+_+_+__+_+_+_+	зарезервировано	н/д	н/д	н/д
СНОСШ-3				
+_+__+_+_+_++_+_	короткий	π/2-BPSK	3	1/8
++____++__++++__	короткий	π/2-BPSK	3	1/4
+__+_++__++_+__+	зарезервировано	н/д	н/д	н/д

Ж.2.3 Рандомизация физического уровня

Рандомизация физического уровня для режима СНОСШ производится согласно 5.5.4.

Приложение И
(обязательное)

Формат передаваемых данных для схем разделения временно́го ресурса

Система «Спутник-А» может обеспечивать связь абонентов по схемам TDM (мультиплексирование с разделением по времени) и TDMA (множественный доступ с разделением по времени), предполагающим распределение частотной несущей между несколькими передатчиками или несколькими приемниками.

И.1 Передача данных в схеме TDM

В схеме мультиплексирования с разделением по времени данные, предназначенные для получения различными приемными устройствами, передаются на одной частотной несущей.

При использовании этой схемы потоки, предназначенные для различных получателей, становятся связанными и мультиплексируются блоком объединения/разделения подсистемы адаптации режима. Получатель сопоставляется с номером входного потока.

И.2 Передача данных в схеме TDMA

В схеме множественного доступа с разделением по времени данные, исходящие от различных передающих устройств, передаются на одной частотной несущей.

При использовании этой схемы передача организована через слоты TDMA. Слот представляет собой последовательность сформированных физических кадров, окруженную с обеих сторон защитными интервалами, вводимыми для предупреждения наложения данных соседних слотов из-за временной рассинхронизации передатчиков и размытия сигналов вследствие фильтрации. Длина последовательности кадров и длительности защитных интервалов определяются частотно-временным планом. Структура слота TDMA приведена на рисунке И.1.

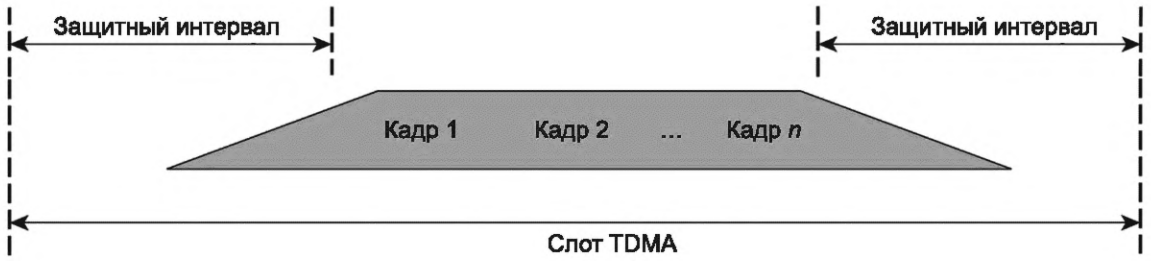

Рисунок И.1 — Структура слота TDMA

Последовательность кадров слота подвергается фильтрации подсистемой формирования полосы пропускания отдельно от прочих кадров, таким образом, выходной сигнал непрерывно начинается из нулевого и непрерывно переходит в нулевой.

Данные, прошедшие процедуру формирования полосы пропускания, подмешиваются на заданную частоту в момент времени, определяемый частотно-временным планом.

УДК 621.396.946 ОКС 33.040.20

Ключевые слова: спутниковая связь, цифровая связь, Арктика, передача данных при шумах, мультиплексирование, циклический избыточный код, рандомизация, помехоустойчивое кодирование, БЧХ, LDPC, модуляция сигнала, формирование полосы пропускания, адаптивная схема модуляции и кодирования, множественный доступ

Редактор *З.А. Лиманская*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 27.06.2022. Подписано в печать 22.07.2022. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 7,44. Уч.-изд. л. 6,70.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

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