

СИСТЕМА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИИ и
МОНИТОРИНГА

СДКМ



ИНТЕРФЕЙСНЫЙ
КОНТРОЛЬНЫЙ
ДОКУМЕНТ

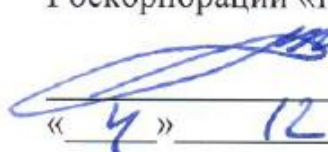
**Радиосигналы и состав цифровой информации
функционального дополнения системы ГЛОНАСС
Системы Дифференциальной Коррекции и Мониторинга**

Редакция 2.0

МОСКВА
2020 г.

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
Госкорпорации «Роскосмос»

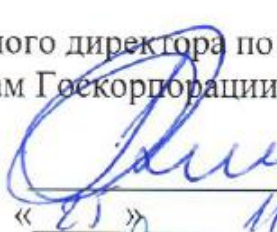

Д.О. Рогозин
« 4 » 12 2020 г.

**Интерфейсный контрольный документ
Радиосигналы и состав цифровой информации функционального
дополнения системы ГЛОНАСС
Системы Дифференциальной Коррекции и Мониторинга**

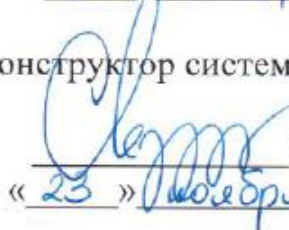
Редакция 2.0

СОГЛАСОВАНО

Заместитель генерального директора по космическим
комплексам и системам Госкорпорации «Роскосмос»


М.Н. Хайлов
« 21 » 11 2020 г.

Генеральный конструктор системы ГЛОНАСС


С.Н. Карутин
« 23 » 11 2020 г.

Генеральный директор
АО «Российские космические системы»


А.Е. Тюлин
« 19 » 11 2020 г.

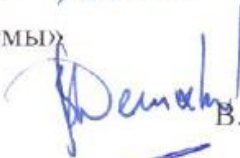


Лист согласования

От Госкорпорации «Роскосмос»


О.В. Кеч

 Ковалёв Д.Н.  Ревников С.С.

От АО «Российские космические системы»

 В.Г. Денежкин
 В.Г. Сернов
 В.В. Куршин

От АО «ЦНИИмаш»

согласовано (исх. письмо № 03000-17593 от 23.11.2020)

От ФГУП ГосНИИ ГА

согласовано (исх. письмо № 807-71-ф-32161 от 18.11.2020)

От ФГБУ НИЦ (г. Королёв) «ЦНИИ ВКС» Минобороны России

 А.Б. Жилекко

Содержание

1	Введение.....	6
1.1	Назначение СДКМ	6
1.2	Состав СДКМ.....	6
1.3	Определение интерфейса СДКМ.....	7
2	Общие положения	8
2.1	Определение ИКД СДКМ.....	8
2.2	Согласование и изменение ИКД.....	8
3	Орбитальная группировка СДКМ	9
4	Общая характеристика взаимодействия СДКМ и потребителя	10
5	Интерфейс радиосигналов СДКМ	12
5.1	Структура радиосигнала L1 СДКМ.....	12
5.2	Радиочастотные характеристики радиосигнала L1 СДКМ.....	12
5.3	ПСП радиосигнала L1 СДКМ	15
5.4	Сверточное кодирование передаваемой ЦИ	17
6	Структура ЦИ СДКМ.....	19
6.1	Общие сведения о структуре ЦИ.....	19
6.2	Внутренняя связь между сообщениями	23
6.3	Циклический код (250, 226)	23
7	Содержание информации СДКМ.....	26
7.1	Сообщение типа 0. Тестовое сообщение	26
7.2	Сообщение типа 1. Перечень спутников	26
7.3	Сообщение типа 9. Навигационное сообщение спутника СДКМ.....	29
7.4	Сообщение типа 17. Альманах спутников СДКМ.....	31
7.5	Сообщения типов 24 и 25. Долговременные и смешанные поправки для спутников	34
7.6	Сообщения типов 2–5. Быстрые поправки.....	41
7.7	Сообщение типа 6. Информация целостности	43
7.8	Сообщение типа 18. Параметры ионосферной сетки	46
7.9	Сообщение типа 26. Поправки к ионосферным задержкам	53
7.10	Сообщения типов 7 и 10. Параметры деградации	56

7.11 Сообщение типа 12. Параметры смещения сетевого времени СДКМ и UTC	61
7.12 Сообщение типа 27. Служебное сообщение	64
7.13 Сообщение типа 28. Ковариационная матрица часов и эфемерид спутника	68
7.14 Сообщения типов 62 и 63. Внутреннее и пустое сообщение	69
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Определения основных априорных и апостериорных параметров для оценки точности НАП с учетом информации СДКМ.....	70
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) Основные принципы обеспечения целостности	72
ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное) Таблицы форматов сообщений СДКМ	80
ПРИЛОЖЕНИЕ Г (обязательное) Рекомендации по применению информации СДКМ в навигационном алгоритме систем ГЛОНАСС, GPS и СДКМ	95
ПРИЛОЖЕНИЕ Д (обязательное) Рекомендуемая модель для вычисления тропосферной задержки.....	117
ПРИЛОЖЕНИЕ Е (обязательное) Последовательность передачи сообщений СДКМ.....	120
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж (обязательное) Последовательность передачи сообщений СДКМ при смене поля «PRN Mask»	123
ПРИЛОЖЕНИЕ И (обязательное) Определение протоколов применения информации СДКМ.....	125
ПРИЛОЖЕНИЕ К (обязательное) Дополнительные материалы и сведения....	148
Перечень принятых сокращений	153
Список использованных источников	156

1 Введение

1.1 Назначение СДКМ

1.1.1 СДКМ является широкозонным функциональным дополнением глобальной навигационной системы ГЛОНАСС и предназначена для повышения точности и обеспечения целостности определения местоположения морских, воздушных, сухопутных и космических потребителей навигационных радиосигналов открытого доступа ГЛОНАСС и GPS.

1.2 Состав СДКМ

1.2.1 Аппаратура из состава СДКМ может быть условно разделена на два сегмента:

- космический сегмент;
- наземный сегмент.

Космический сегмент СДКМ построен на базе трех КА МКСР «Луч», находящихся на ГСО, которые обеспечивают передачу информации СДКМ потребителям посредством излучения радиосигналов в структуре SBAS.

Наземный сегмент СДКМ состоит из ЦОД, сети ССИ, рассредоточенных по территории земного шара, средств передачи потребителям информации СДКМ по наземным каналам связи и нескольких КЗиК, обеспечивающих доставку потребителям информации СДКМ по спутниковым каналам.

Задачами наземного сегмента является:

- мониторинг радионавигационного поля открытого доступа, формируемого НКА ГЛОНАСС и GPS;
- непрерывное уточнение параметров орбит и часов НКА ГЛОНАСС и GPS;
- формирование потока КИ и ИЦ;

- передача КИ и ИЦ потребителям с помощью КА и наземных средств передачи информации.

В перспективе планируется модернизация космического сегмента СДКМ с использованием КА «Луч-5ВМ», «Луч-5М» и других КА, разрабатываемых в Единой государственной космической программе.

1.3 Определение интерфейса СДКМ

1.3.1 Общий интерфейс от КА до НАП показан на рисунке 1. Он образуется радиосигналами L1 СДКМ и навигационными радиосигналами открытого доступа ГЛОНАСС L1OF и GPS L1 C/A в диапазоне частот L1.

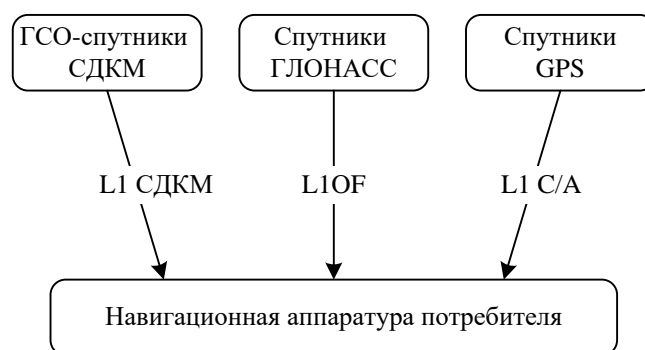


Рисунок 1 – Интерфейс СДКМ от КА до НАП

Интерфейс сигнала L1OF регламентируется документом «ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Навигационный радиосигнал в диапазонах L1, L2 с открытым доступом и частотным разделением» (<http://russianspacesystems.ru>).

Сигнал L1 СДКМ, излучаемый ГСО-спутниками, является информационным и передает дифференциальные поправки и информацию о целостности ГНСС потребителям навигационных радиосигналов.

2 Общие положения

2.1 Определение ИКД СДКМ

2.1.1 Настоящий ИКД основан на стандартах [1-5] и определяет параметры интерфейса радиосигналов, излучаемых КА СДКМ в диапазоне L1. Наиболее используемыми стандартами при разработке данного ИКД являются: «Международные стандарты и Рекомендуемая практика (SARPs) [1] и MOPS SBAS RTCA/DO-229E [5].

2.2 Согласование и изменение ИКД

2.2.1 Разработчиком ИКД является АО «Российские космические системы» – головная организация по созданию СДКМ.

АО «Российские космические системы» несет ответственность за подготовку, согласование, изменение, сохранение и официальное распространение ИКД СДКМ.

ИКД утверждается полномочными представителями Госкорпорации «Роскосмос» и вступает в силу после утверждения генеральным директором Госкорпорации «Роскосмос».

В процессе совершенствования СДКМ могут изменяться отдельные ее параметры. Разработчик ИКД несет ответственность за согласование предложенных изменений со всеми ответственными сторонами и за подготовку в случае необходимости новой редакции документа, содержащей изменения.

Изменения и новые редакции ИКД вступают в силу после утверждения генеральным директором Госкорпорации «Роскосмос».

3 Орбитальная группировка СДКМ

3.1 Радиосигнал L1 СДКМ излучается тремя КА на ГСО из состава МКСР «Луч» (таблица 1).

Таблица 1 – Номинальные параметры КА СДКМ

КА	Луч-5А	Луч-5Б	Луч-5В
Номер ПСП (см. 5.3.2)	141	125	140
Положение КА на ГСО	167° в.д.	16° з.д.	95° в.д.
Эксцентриситет	от 0 до 0,0006	от 0 до 0,0006	от 0 до 0,0006
Наклонение, °	от 0 до 5	от 0 до 5	от 0 до 5
Радиус ГСО, км	42164	42164	42164

4 Общая характеристика взаимодействия СДКМ и потребителя

4.1 Требования к задержке срабатывания сигнализации СДКМ приведены в приложении Г (соответственно для функций состояния спутников ГНСС, стандартных дифференциальных поправок и точных дифференциальных поправок). Данные о составных частях полной задержки срабатывания сигнализации как для наземного, так и для космического сегментов показаны на рисунке 2.

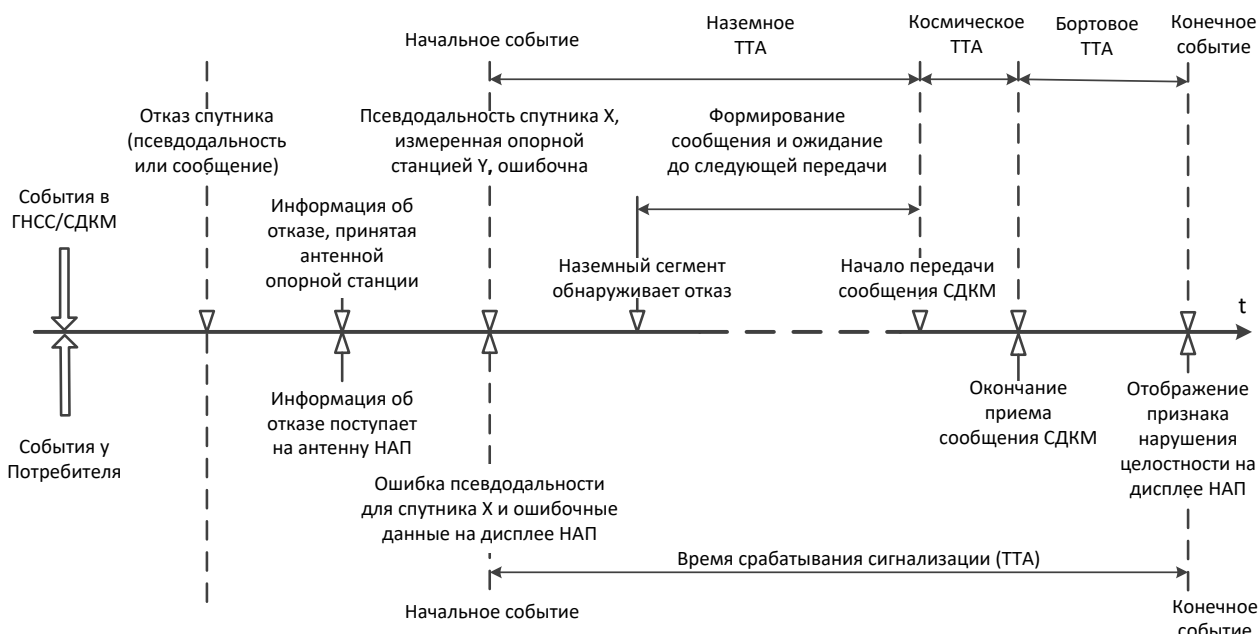


Рисунок 2 – Время срабатывания сигнализации СДКМ

Согласно рисунку 2, начальное событие в ГНСС/СДКМ и начальное событие у потребителя, означающие отказ спутника, считаются одновременными. Это не совсем так из-за различия характеристик приемников. Существует небольшое отличие из-за обработки в приемнике между временем искажения измеренной псевдодальности и временем отображения ошибочной информации. Из соображений упрощения восприятия на диаграмме это не отражено.

Учитывая, что тропосферная задержка является локальным явлением, все пользователи рассчитывают свои собственные задержки в тропосфере.

Рекомендуемая модель для точного определения тропосферной задержки приводится в приложении Д (на основе [5]), хотя не исключается использование и других моделей по усмотрению и под ответственность пользователя.

Вклад многолучевости в ошибку определения местоположения является существенным и затрагивает как наземные средства СДКМ, так и аппаратуру пользователя. В наземных средствах СДКМ борьба с многолучевым приемом основана на максимально возможном уменьшении или подавлении этого эффекта, чтобы минимизировать погрешности в сигналах. НАП также должна предусматривать применение средств подавления данного эффекта.

Система СДКМ использует специальный механизм для предотвращения любой неоднозначности при применении поправок. Этот механизм поясняется в Б.2.

Система GPS использует систему координат WGS-84, а система ГЛОНАСС – «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90).

Система СДКМ выдает поправки для спутников систем ГЛОНАСС и GPS следующим образом: для спутников ГЛОНАСС – в системе ПЗ-90 последней версии, для спутников GPS – в системе WGS-84 последней версии.

В сообщениях СДКМ информация для систем ГЛОНАСС и GPS передается в режиме, близком к реальному времени.

5 Интерфейс радиосигналов СДКМ

5.1 Структура радиосигнала L1 СДКМ

5.1.1 Радиосигнал L1 СДКМ излучается тремя ГСО-спутниками СДКМ, антенна отклонена на север на 7° от экватора.

5.2 Радиочастотные характеристики радиосигнала L1 СДКМ

5.2.1 Несущая частота

Используется шумоподобный радиосигнал на несущей частоте 1575,42 МГц с кодовым разделением.

5.2.2 Стабильность несущей частоты

Кратковременная нестабильность несущей частоты на выходе передающей антенны спутника не более $5 \cdot 10^{-11}$ при осреднении на интервалах времени от 1 до 10 с.

5.2.3 Фазовые шумы несущей

Для сигнала L1 СДКМ спектральная плотность фазовых шумов немодулированной несущей такова, что в приемнике среднеквадратическое значение погрешности слежения за фазой несущей в цепи слежения с односторонней шумовой полосой 10 Гц составляет 0,1 рад.

5.2.4 Паразитные излучения

Для сигнала L1 СДКМ паразитные составляющие внеполосного излучения любой частоты не менее чем на 40 дБ ниже уровня мощности немодулированной несущей.

5.2.5 Модуляция

Передаваемое сообщение 250 бит/с подвергается сверточному кодированию 500 симв/с и суммируется по модулю 2 с 1023-битовой ПСП, которая имеет тактовую частоту 1,023 Мбит/с и манипулирует фазу радиосигнала L1 СДКМ, образуя шумоподобный фазоманипулированный

радиосигнал (BPSK). Символы сообщения СДКМ (скорость передачи 500 симв/с) синхронизированы с периодом ПСП 1 мс.

5.2.6 Спектр радиосигнала

Основной лепесток спектра радиосигнала L1 СДКМ, излучаемого ГСО-спутником СДКМ, будет занимать полосу частот шириной 2,046 МГц.

5.2.7 Доплеровское смещение

Доплеровское смещение несущей частоты радиосигнала L1 СДКМ, принимаемого от ГСО-спутника СДКМ стационарным потребителем, обусловлено движением спутника, которое в худшем случае (в конце жизни спутника) составит не более 40 м/с относительно потребителя, и, соответственно, доплеровский сдвиг не более 210 Гц.

5.2.8 Поляризация

Излучаемый ГСО-спутником радиосигнал L1 СДКМ имеет правую круговую поляризацию. Эллиптичность излучения не более 2 дБ в направлениях, отклоненных от оси передающей антенны в пределах угла $\pm 9,1^\circ$.

5.2.9 Уровень мощности радиосигнала, принимаемого потребителем

Радиосигнал L1 СДКМ, принимаемый у поверхности Земли антенной с правой круговой поляризацией и диаграммой направленности, приведенной в таблице 2, будет иметь мощность не менее минус 164 дБВт при угле места КА СДКМ более 5° . Максимальный уровень принимаемого радиосигнала составит не более минус 152 дБВт при приеме изотропной (коэффициент усиления 0 дБ) антенной с правой круговой поляризацией.

Таблица 2 – Диаграмма направленности антенны

Угол места, °	Коэффициент усиления, дБ
0	-7
5	-5,5
10	-4
от 15 до 90	-2,5

В таблице 3 представлена зависимость уровня мощности радиосигнала L1 СДКМ на выходе антенны с правой круговой поляризацией и диаграммой направленности, приведенной в таблице 2, от угла места для приземных потребителей, находящихся на меридиане, над которым расположен КА СДКМ, при номинальной мощности излучения.

Таблица 3 – Зависимость уровня мощности радиосигнала L1 СДКМ, принимаемого у поверхности Земли, от угла места ГСО-спутника при нахождении потребителя на одном меридиане со спутником

Потребитель	Угол места, °	Уровень мощности сигнала, дБВт
Приземный потребитель в северных широтах	5	-162,1
	10	-160,3
	20	-158,4
	30	-158,1
	40	-157,9
	50	-157,8
	60	-157,8
	70	-157,9
	80	-158,1
	90	-158,5
Приземный потребитель в южных широтах	80	-159,1
	70	-159,8
	60	-160,7
	50	-161,5
	40	-162,4
	30	-163,2
	20	-164,0
	10	-166,2
	5	-168,1

Расчетные зоны обслуживания КА СДКМ радиосигналами L1 СДКМ представлены на рисунке 3. Границы зоны обслуживания определялись по уровню сигнала (не менее минус 164 дБВт) и углу места (не менее 5°) для самого худшего случая.

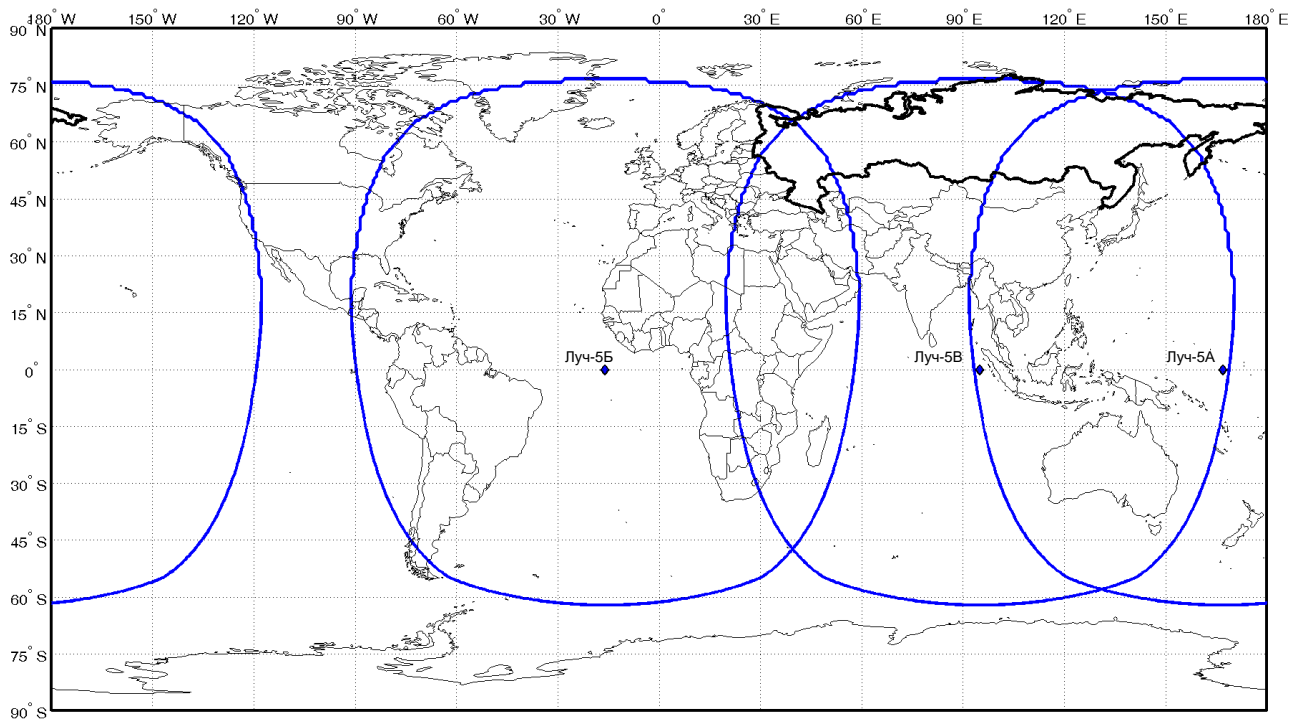


Рисунок 3 – Расчетные зоны обслуживания ГСО-спутников СДКМ

5.2.10 Корреляционные потери

Корреляционные потери радиосигнала L1 СДКМ, обусловленные неидеальностью модуляции и фильтрации радиосигнала на спутнике, не превышают 1 дБ.

5.3 ПСП радиосигнала L1 СДКМ

5.3.1 ПСП радиосигнала L1 СДКМ являются кодами Голда и формируются посредством суммирования по модулю 2 двух 1023-битовых псевдослучайных последовательностей G1 и G2, образуемых двумя

10-разрядным регистрами, у которых разные обратные связи: для G1 от разрядов 3 и 10; для G2 от разрядов 2, 3, 6, 8, 9, 10 (рисунки 4 и 5).

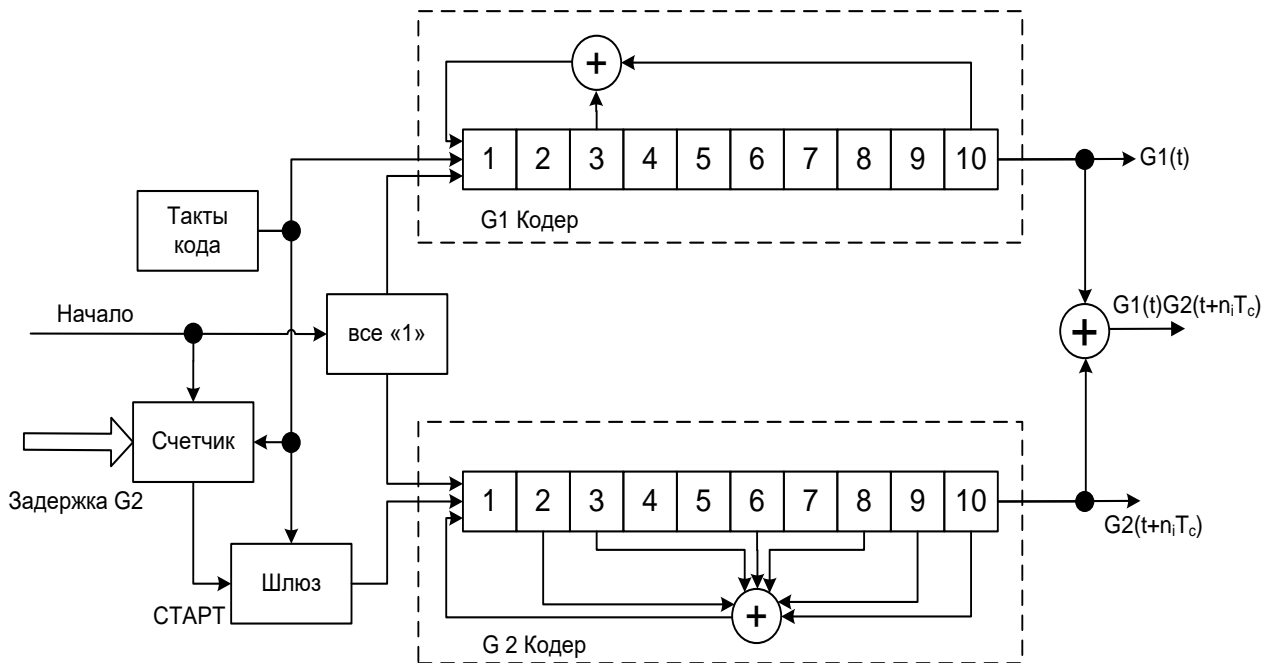


Рисунок 4 – Программируемая задержка G2

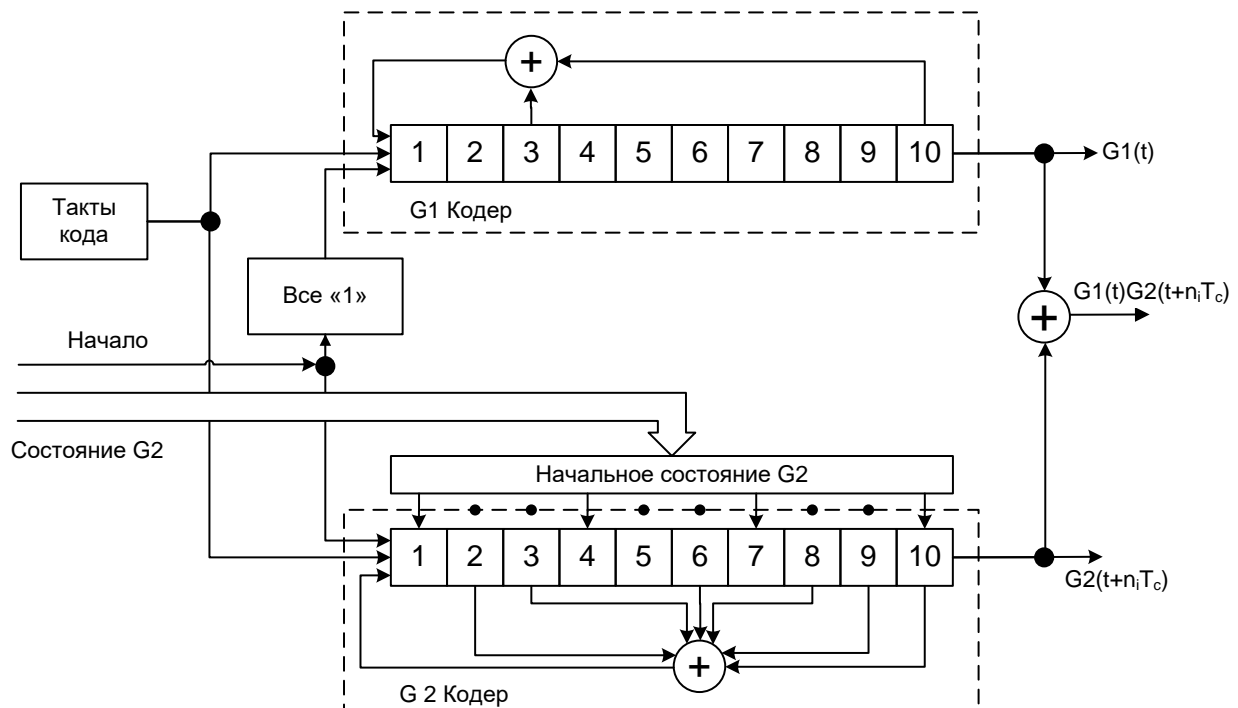


Рисунок 5 – Программируемое начальное состояние G2

ПСП можно обозначать тремя способами:

- номером ПСП (см. 5.3.2);
- задержкой G2, выраженной в чипах (рисунок 4);
- начальным состоянием регистра, формирующего G2 (рисунок 5).

5.3.2 Номер ПСП (PRN code number) – число, используемое в стандарте SBAS для однозначной идентификации каждого спутника и его принадлежности к определенной системе (подробнее в 7.2).

СДКМ использует номера ПСП 125, 140 и 141. В таблице 4 для этих ПСП приведены значения задержки G2. Начальное состояние G2 и первые 10 чипов G2 СДКМ записаны следующим образом: первая цифра слева представляет «0» или «1» для первого чипа, следующие три цифры в восьмеричной системе счета представляют остальные 9 чипов. Первые 10 чипов СДКМ инверсны начальному состоянию G2 и также приведены в восьмеричной системе счета.

Таблица 4 – Перечень ПСП СДКМ

Номер ПСП	Задержка G2, чипы	Начальное состояние G2	Первые 10 чипов ПСП
125	235	1076	0701
140	456	1653	0124
141	499	1411	0366

5.4 Сверточное кодирование передаваемой ЦИ

5.4.1 В радиосигнале L1, излучаемым ГСО-спутником, передаваемая ЦИ 250 бит/с непрерывно кодируется сверточным кодом с кодовой скоростью 500 символов в секунду (рисунок 6). В первой половине каждого бита выходной переключатель сверточного кодера занимает положение «1».

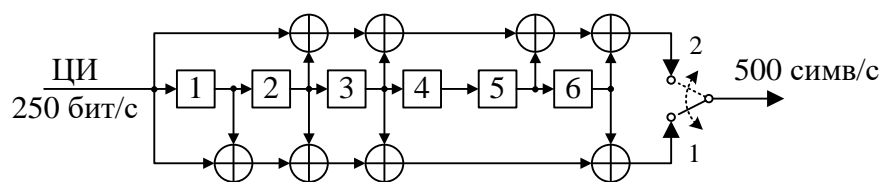


Рисунок 6 – Сверточный кодер

6 Структура ЦИ СДКМ

6.1 Общие сведения о структуре ЦИ

6.1.1 Ниже применяются следующие понятия, используемые для описания структуры ЦИ СДКМ:

- бит – двоичный символ ЦИ;
- блок ЦИ – 250-битовая последовательность, в виде которых структурируется ЦИ;
- поле – совокупность битов блока ЦИ, содержащая значение определенного параметра либо заполненная нулями;
- резервные поля – поля, смысловое содержание и значение которых не описано в настоящем ИКД, они обозначаются словом «Резерв». Потребитель должен игнорировать содержимое резервных полей.

Информация СДКМ передается в виде последовательности 1-секундных блоков ЦИ по 250 бит (рисунок 7). Блок ЦИ содержит следующие поля: «Преамбула» (8 бит), «Тип» (6 бит), «ЦИ» (212 бит), «ЦК» (24 бита).

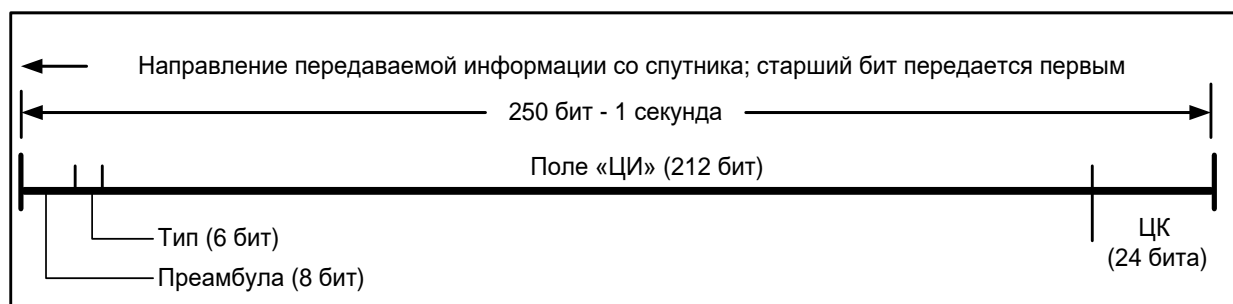


Рисунок 7 – Структура блока ЦИ

Все поля передаются старшими разрядами вперед. Передача блока ЦИ начинается с поля «Преамбула».

В полях, числовые значения которых могут принимать положительные и отрицательные значения, старший разряд является знаковым, символ «0» соответствует знаку «плюс», а символ «1» – знаку «минус».

Поле «Преамбула» передается в начале каждого блока ЦИ и состоит из восьми битов. В трех последовательных блоках ЦИ поочередно используются три преамбулы, согласно стандарту SBAS: 01010011, 10011010, 11000110.

Поле «Тип» содержит 6 битов и определяет 64 типа сообщения (0–63), согласно таблице 5. Поле «Тип» передается старшими разрядами вперед.

Поле «ЦИ» состоит из 212 битов и содержит сообщение СДКМ. Эти сообщения передаются с различной частотой, в зависимости от интервала действия информации либо от срочности сообщений. В таблице 6 приведены интервалы обновления информации и интервалы действия, в течение которых можно использовать ту или иную информацию. Содержимое поля «ЦИ» определяется типом передаваемого сообщения и описано в разделе 7.

Поле «ЦК» – проверочные биты циклического кода. Поле «ЦК» заполняется по схеме циклического кодирования, приведенной в 6.3.

Таблица 5 – Типы передаваемых сообщений

Тип	Содержание
0	Тестовое сообщение (см. 7.1)
1	Перечень спутников (см. 7.2)
2–5	Быстрые поправки (см. 7.6)
6	Информация целостности (см. 7.7)
7	Параметры деградации быстрых поправок (см. 7.10)
8	Резерв
9	Навигационное сообщение спутника СДКМ (см. 7.3)
10	Параметры деградации (быстрых и долговременных поправок, задержек в ионосфере) (см. 7.10)
11	Резерв
12	Параметры смещения сетевого времени СДКМ и UTC (см. 7.11)
13–16	Резерв
17	Альманах спутников СДКМ (см. 7.4)
18	Параметры ионосферной сетки (см. 7.8)
19–23	Резерв
24	Смешанные поправки для спутников (см. 7.5)
25	Долговременные поправки для спутников (см. 7.5)
26	Поправки к ионосферным задержкам (см. 7.9)
27	Служебное сообщение (см. 7.12)
28	Ковариационная матрица часов и эфемерид спутника (см. 7.13)
29–61	Резерв
62	Внутреннее сообщение (см. 7.14)
63	Пустое сообщение (см. 7.14)

Таблица 6 – Интервалы обновления и интервалы действия информации

Информация	Тип сообщения	Максимальный интервал обновления информации, с	Интервал действия для режимов полета по маршруту и неточного захода на посадку (NPA), с	Интервал действия для режима точного захода на посадку (PA), с
Тестовое сообщение	0	6	—	—
Перечень спутников	1	120	600	600
Быстрые поправки	2-5, 24	60	18 *	12 *
Долговременные поправки	24, 25	120	360	240
Навигационное сообщение спутника СДКМ	9	120	360	240
Параметры деградации	7, 10	120	360	240
Параметры ионосферной сетки	18	300	1200	1200
Поправки к ионосферным задержкам	26	300	600	600
Параметры смещения сетевого времени СДКМ и UTC	12	300	86400	86400
Альманах спутников СДКМ	17	300	—	—
* Для быстрых поправок интервал действия приведен с учетом дополнительной передачи соответствующей информации в сообщении типа 7.				

6.2 Внутренняя связь между сообщениями

6.2.1 Связь между сообщениями осуществляется на основе соответствия идентификаторов ЦИ (IOD – Issue Of Data), как описано в Б.2. Идентификаторы IOD (включая GPS IODC, IODE и аналогичные данные ГЛОНАСС) соответствуют в отдельности каждому спутнику. Передаваемые данные СДКМ также соответствуют текущему перечню спутников, ионосферной сетке и данным служебного сообщения.

6.3 Циклический код (250, 226)

6.3.1 ЦК (250, 226) используется для заполнения поля «ЦК» в блоках ЦИ. Место ЦК в структуре блока ЦИ приведено в таблице 7. Блок ЦИ содержит 250 бит. На проверочные биты ЦК отведено 24 бита, на поле «Преамбула» – 8 бит, на поле «Тип» – 6 бит, на поле «ЦИ» – 212 бит. Передача блока ЦИ начинается с поля «Преамбула».

Таблица 7 – ЦК (250,226) в структуре блока ЦИ

Преамбула	Тип	Поле «ЦИ»	ЦК
8 бит	6 бит	212 бит	24 бита
Информационные биты ЦК			Проверочные биты

Генераторный (порождающий) полином ЦК (250, 226) имеет вид:

$$g(X) = 1 + X + X^3 + X^4 + X^5 + X^6 + X^7 + X^{10} + X^{11} + X^{14} + X^{17} + X^{18} + X^{23} + X^{24}.$$

Поле «ЦК» заполняется с помощью схемы циклического кодирования, приведенной на рисунке 8. На вход кодера подается 226-битный информационный блок (начиная с 1-го бита поля «Преамбула» и заканчивая

последним 212-м битом поля «ЦИ»). На выходе кодера формируется 250-битный кодовый блок, путем добавления 24 проверочных бит.

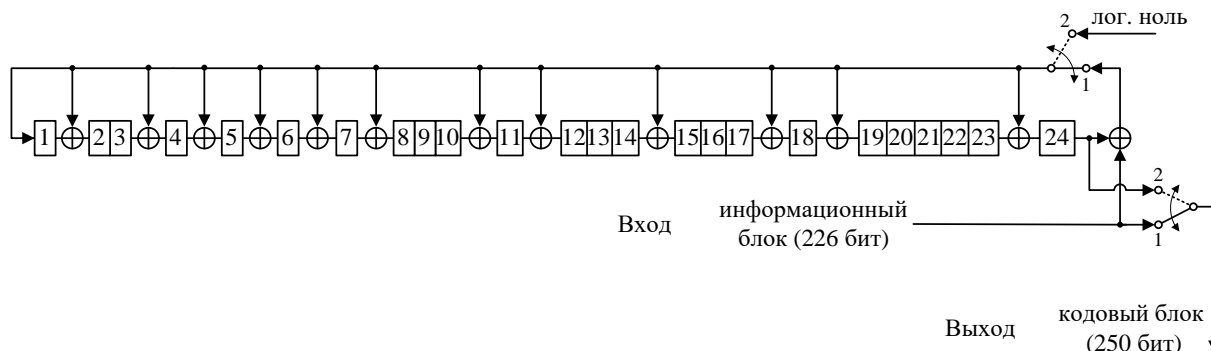


Рисунок 8 – Схема циклического кодирования (250, 226)

Процедура кодирования с помощью устройства, изображенного на рисунке 8, состоит из следующих шагов:

- в исходном состоянии 24-разрядный регистр сдвига заполнен нулями;
- при первых 226 сдвигах оба ключа находятся в положении «1».

Информационный блок без изменений передается на выход кодера. Обратная связь регистра замкнута и происходит обновление его содержимого;

- после передачи последнего 226-го информационного бита, оба ключа переключаются в положение «2». Обратная связь регистра размыкается и при последующих 24 сдвигах происходит очищение (заполнение нулями) регистра сдвига, проверочные биты передаются на выход кодера.

Обнаружение ошибок в блоке ЦИ осуществляется путем анализа синдрома, который последовательно вычисляется для каждого блока ЦИ по схеме, представленной на рисунке 9.

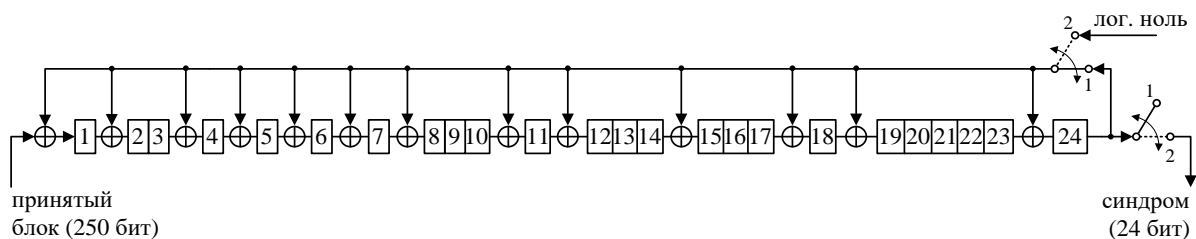


Рисунок 9 – Схема вычисления синдрома для кода (250, 226)

Процедура обнаружения ошибок в принятом блоке ЦИ (начиная с 1-го бита поля «Преамбула» и заканчивая последним 24-м битом поля «ЦИ») с помощью устройства, изображенного на рисунке 9, состоит из следующих шагов:

- в исходном состоянии 24-разрядный регистр сдвига заполнен некоторым образом (нулями и единицами);
- на первых 24 сдвигах, ключи находятся в положении «2», принятый блок (первые 24 бит) подается в регистр;
- после передачи 24-го бита принятого блока, ключи переводятся в положение «1», принятый блок (оставшиеся 226 бит) продолжает подаваться в регистр. Содержимое регистра в момент, когда в триггер 1 занесен последний 250-й бит принятого блока, называется синдромом;
- после передачи 250-го бита принятого блока в регистр, на следующих 24 сдвигах ключи переводятся в положение «2», для того чтобы синдром можно было извлечь из регистра (и одновременно загрузить в регистр первые 24 бита следующего блока ЦИ). Если все 24 разряда синдрома нулевые, то принимается решение об отсутствии ошибок. В противном случае принимается решение об ошибках в принятом блоке ЦИ.

7 Содержание информации СДКМ

7.1 Сообщение типа 0. Тестовое сообщение

7.1.1 Этот тип сообщения передается в следующих случаях:

- при тестировании системы СДКМ;
- при тестировании нового ГСО-спутника СДКМ;
- при обнаружении недостоверности сообщений какого-либо

ГСО-спутника СДКМ.

Сообщение типа 0 передается не реже одного раза в минуту и информирует потребителя о том, что потребитель сам определяет целесообразность применения информации из-за возможного ухудшения характеристик точности и целостности. При передаче сообщения 0 не допускается использование информации СДКМ в операциях, связанных с безопасным навигационным обслуживанием.

Во время тестирования некоторые типы сообщений могут не передаваться, а сообщение типа 0 может использоваться для дополнительной передачи быстрых поправок, посредством помещения поля «ЦИ» сообщения типа 2 в поле «ЦИ» сообщения типа 0.

7.2 Сообщение типа 1. Перечень спутников

7.2.1 Сообщение типа 1 содержит перечень спутников, для которых передается информация. В таблице 8 приведено соответствие номеров ПСП (см. 5.3.2) и спутников.

Структура и параметры полей сообщения типа 1 приведены на рисунке 10 и в таблице 9.

Таблица 8 – Закрепление номеров ПСП за системами

Номер ПСП	Система
1 – 37	GPS
38 – 61	ГЛОНАСС (номер спутника ГЛОНАСС плюс 37)
62 – 119	Другие ГНСС
120 – 158, в том числе 125, 140, 141 для СДКМ *	SBAS-системы, в том числе СДКМ
159 – 210	Будущие ГНСС, ГСО-спутники, SBAS-системы, псевдоспутники
Существует возможность расширения числа ПСП для системы СДКМ, которое может понадобиться для включения в состав космического сегмента более трёх КА.	



Рисунок 10 – Структура сообщения типа 1. Перечень спутников

Таблица 9 – Содержимое сообщения типа 1. Перечень спутников

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
PRN Mask	210	—	—	безразмерная
IODP	2	1	0–3	безразмерная

Поля «Преамбула», «Тип» и «ЦК» определены в разделе 6.

Поле «PRN Mask» – перечень спутников, для которых передается информация. Это поле состоит из 210 пронумерованных позиций, которые заполняются нулями и единицами следующим образом. Единицы записываются во все позиции, номера которых равны номерам ПСП (см. таблицу 8) спутников, для которых СДКМ передает информацию. Во все остальные позиции записываются нули.

Первый передаваемый бит поля «PRN Mask» соответствует номеру ПСП 1. Например, если бит с номером 5 равен «1», то для спутника с номером ПСП 5 передается информация, а если этот бит равен «0», то для этого спутника информация не передается (однако СДКМ может передавать эту информацию с другого ГСО-спутника).

Из-за ограничений по допустимому времени обновления информации в канале SBAS, в каждом потоке ЦИ возможно передать информацию максимум по 51 спутнику (из 210 спутников, указанных в таблице 8). Т.е. в поле «PRN Mask» может быть записано не более 51 единицы.

На рисунке 11 показан принцип формирования списка номеров ПСП и определения порядка следования блоков ЦИ с использованием поля «PRN Mask». Не учитываемые номера ПСП обозначены словом «empty».

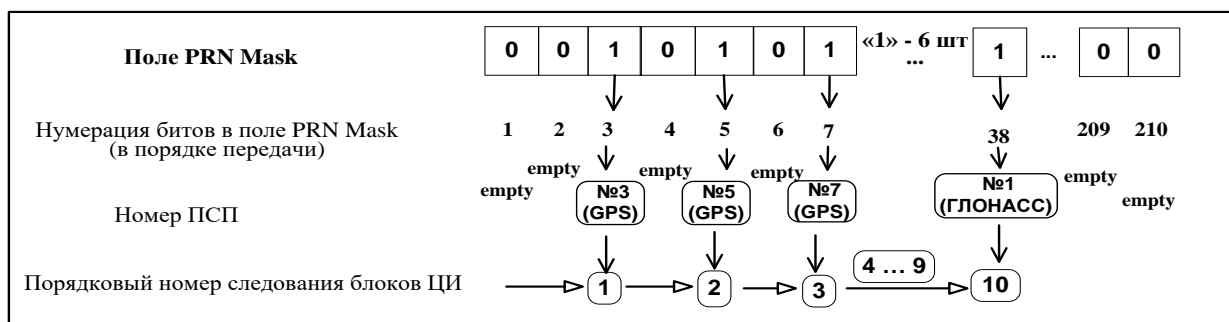


Рисунок 11 – Принцип формирования списка ПСП используемых спутников

Поле «PRN Mask Number» – порядковый номер спутника в перечне спутников (порядковый номер единичного бита в поле «PRN Mask»). Этот номер передается в сообщениях типа 25 и 28, чтобы указать к какому спутнику

относится передаваемая в этих сообщениях информация. Если рассмотреть пример на рисунке 11, то если поле «PRN Mask Number» = 3, то «Номер ПСП» = 7, и информация относится к спутнику GPS с номером 7.

Поле IODP – идентификатор текущего перечня спутников, указывает на текущее поле «PRN Mask».

Указанные поля передаются в следующих сообщениях:

- «PRN Mask» (перечень спутников) передается в сообщении типа 1;
- «PRN Mask Number» (порядковый номер спутника в перечне спутников) передается в сообщениях типа 25 и 28;
- «Номер ПСП» передается в сообщении типа 17;
- IODP (идентификатор текущего перечня спутников) передается в сообщениях типа 1, 2, 3, 4, 5, 7, 24, 25 и 28.

7.3 Сообщение типа 9. Навигационное сообщение спутника СДКМ

7.3.1 Сообщение типа 9 содержит информацию об эфемеридах и частотно-временной информации спутника СДКМ. Данное сообщение передается системой СДКМ для обеспечения совместимости с ранее выпущенным навигационным оборудованием для системы WAAS, служит только для поиска сигнала спутника и не предназначено для навигационных измерений.

Структура и параметры полей сообщения типа 9 приведены на рисунке 12 и в таблице 10.

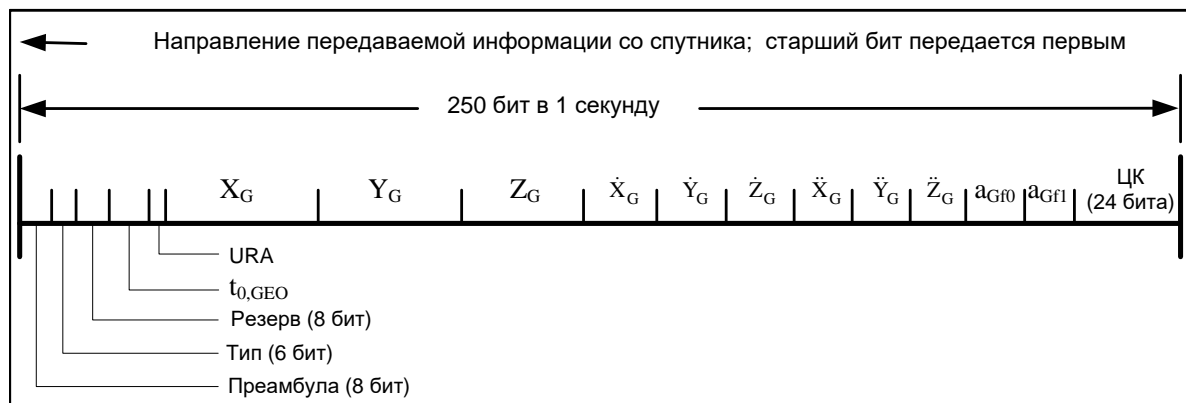


Рисунок 12 – Структура сообщения типа 9. Навигационное сообщение спутника СДКМ

Таблица 10 – Содержимое сообщения типа 9. Навигационное сообщение спутника СДКМ

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
Резерв	8	—	—	—
$t_{0,GEO}$	13	16	0–86 384	с
URA	4	1	15	безразмерная
X_G	30	0,08	$\pm 42\,949\,673$	м
Y_G	30	0,08	$\pm 42\,949\,673$	м
Z_G	25	0,4	$\pm 6\,710\,886,4$	м
\dot{X}_G	17	0,000625	$\pm 40,96$	м/с
\dot{Y}_G	17	0,000625	$\pm 40,96$	м/с
\dot{Z}_G	18	0,004	$\pm 524,288$	м/с
\ddot{X}_G	10	0,0000125	$\pm 0,0064$	м/с ²
\ddot{Y}_G	10	0,0000125	$\pm 0,0064$	м/с ²
\ddot{Z}_G	10	0,0000625	$\pm 0,032$	м/с ²
a_{Gf0}	12	2^{-31}	$\pm 0,9537 \times 10^{-6}$	с
a_{Gf1}	8	2^{-40}	$\pm 1,1642 \times 10^{-10}$	с/с

Поля «Преамбула», «Тип» и «ЦК» определены в разделе 6.

Поле $t_{0,GEO}$ – опорный момент информации о дальномерной функции ГСО-спутника, выраженный как время от полуночи текущих суток.

Поля X_G , Y_G , Z_G – координаты ГСО-спутника на момент $t_{0,GEO}$.

Поля \dot{X}_G , \dot{Y}_G , \dot{Z}_G – скорость ГСО-спутника на момент $t_{0,GEO}$.

Поля \ddot{X}_G , \ddot{Y}_G , \ddot{Z}_G – ускорение ГСО-спутника на момент $t_{0,GEO}$.

Поле a_{Gf0} – сдвиг бортовой шкалы времени ГСО-спутника относительно сетевого времени СДКМ (SNT), определенный на момент $t_{0,GEO}$.

Поле a_{Gf1} – скорость дрейфа бортовой шкалы времени ГСО-спутника относительно SNT.

Поле URA – точность измерения псевдодальности потребителем, показатель среднеквадратической погрешности измерения псевдодальности потребителем без учета влияния атмосферы. Согласно стандарту SBAS, если URA равно 15, то это означает, что измерительный сигнал спутника использовать нельзя. Система СДКМ не предоставляет измерений псевдодальности до ГСО-спутника СДКМ, поэтому, для совместимости с ранее выпущенной аппаратурой, значение URA является константой, равной 15.

7.4 Сообщение типа 17. Альманах спутников СДКМ

7.4.1 Сообщение типа 17 содержит альманах трех ГСО-спутников СДКМ. Для несуществующих ГСО-спутников СДКМ разряды в поле «PRN Mask» равны нулю, и информация в соответствующих полях сообщения типа 17 игнорируется. Альманах содержит информацию о состоянии спутника, а также идентификатор системы функционального дополнения, обеспечивающей закладку информации на борт ГСО-спутника.

Структура сообщения типа 17 приведена на рисунках 13 и 14. Сообщение типа 17 позволяет передавать информацию одновременно для трех спутников СДКМ. Идентификация спутника производится с помощью поля «Номер ПСП».



Рисунок 13 – Структура сообщения типа 17. Альманах спутников СДКМ

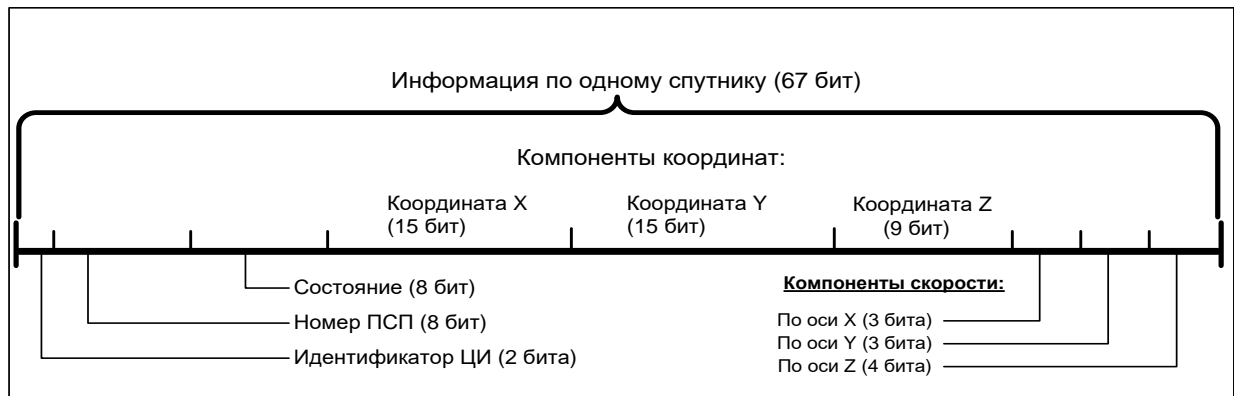


Рисунок 14 – Структура сообщения типа 17. Структура информации для одного спутника СДКМ

В таблице 11 приведены параметры полей сообщения типа 17.

Таблица 11 – Содержимое сообщения типа 17. Альманах спутников СДКМ

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
Для трех спутников	–	–	–	–
Идентификатор ЦИ	2	1	0–3	безразмерная
Номер ПСП	8	1	1–210	безразмерная
Состояние	8	–	–	безразмерная
X_G	15	2600	$\pm 42\,595\,800$	м
Y_G	15	2600	$\pm 42\,595\,800$	м
Z_G	9	26 000	$\pm 6\,630\,000$	м
\dot{X}_G	3	10	± 40	м/с
\dot{Y}_G	3	10	± 40	м/с
\dot{Z}_G	4	60	± 480	м/с
t_0	11	64	0–86 336	с

Поля «Преамбула», «Тип» и «ЦК» определены в разделе 6.

Поле «Идентификатор ЦИ» в сообщении типа 17 всегда равно «00₂».

Поле «Номер ПСП» определено в 5.3.

Поле «Состояние» содержит информацию по ГСО-спутнику СДКМ и заполняется согласно таблице 12. Идентификаторы сервис-провайдеров приведены в таблице 13.

Таблица 12 – Содержание поля «Состояние» в сообщении типа 17

Номер разряда	Информация, передаваемая разрядом
0 (младший)	Псевдодальность измеряется (0) или нет (1) *
1	Точные поправки передается (0) или нет (1)
2	Информация целостности передается (0) или нет (1)
3	Резерв
4 – 7	Идентификатор системы функционального дополнения
<p>* СДКМ не предоставляет измерений псевдодальности до ГСО-спутников СДКМ, поэтому разряд 0 (младший) всегда равен «1».</p>	

Таблица 13 – Идентификаторы сервис-провайдеров в кодировке SBAS

Идентификатор	Сервис-провайдер
0	WAAS
1	EGNOS
2	MSAS
3	GAGAN
4	СДКМ
5–13	Не занято
14–15	Резерв

Поля X_G , Y_G , Z_G , \dot{X}_G , \dot{Y}_G , \dot{Z}_G – компоненты координат и скорости спутника на момент t_0 (время от полуночи текущих суток). Эти поля передаются в сообщении типа 17 для обеспечения совместимости с ранее выпущенной навигационной аппаратурой.

7.5 Сообщения типов 24 и 25. Долговременные и смешанные поправки для спутников

7.5.1 Сообщения типов 24 и 25 передают информацию для компенсации медленно изменяющихся ошибок эфемерид спутника и его часов. Эти

сообщения не передаются для ГСО-спутников, поскольку сообщение типа 9 позволяет компенсировать медленно меняющиеся ошибки эфемерид и бортовых часов ГСО-спутника.

Сообщение типа 24 содержит также быстрые поправки (см. 7.6).

Долговременные поправки – дифференциальные поправки к ЭВИ навигационного спутника, интервал обновления которых не превышает 120 с.

Смешанные поправки – сообщение, которое одновременно содержит как долговременные, так и быстрые поправки (см. 7.6).

Структура сообщения типа 25 имеет два варианта, приведенные на рисунках 15 и 16. На этих рисунках приведена структура только для первой части поля «ЦИ» сообщения. Вторая часть поля «ЦИ» имеет аналогичную структуру. В начале каждой из двух частей поля «ЦИ» передается 1-битовое поле «Код скорости», которое принимает значение «1», если поля $\delta\dot{x}$, $\delta\dot{y}$, $\delta\dot{z}$, δa_{f1} (скорости изменения поправок) передаются, и принимает значение «0», если указанные поля не передаются.

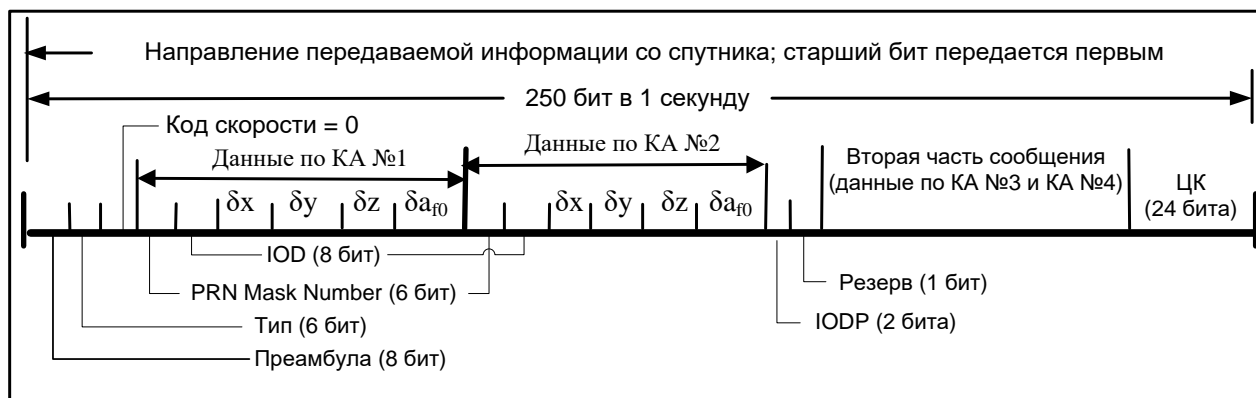


Рисунок 15 – Структура сообщения типа 25 для «Код скорости» = 0.
Долговременные поправки для спутников

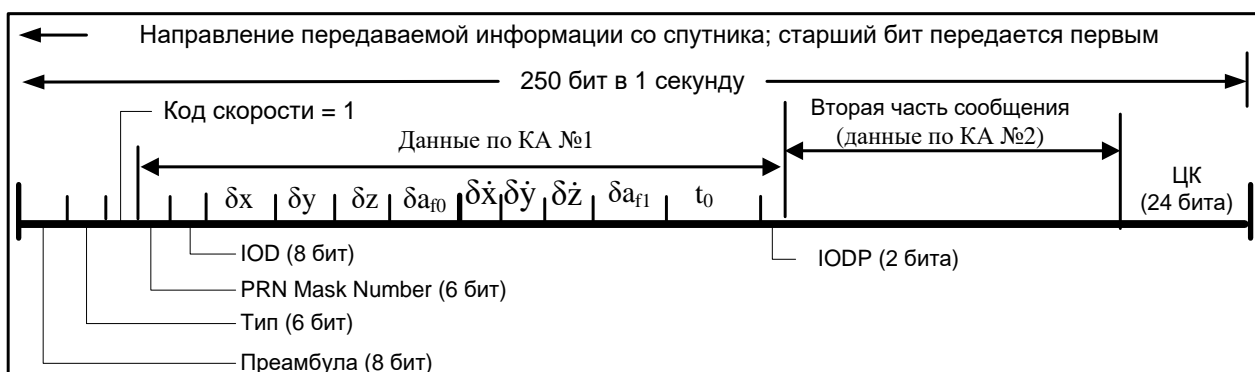


Рисунок 16 – Структура сообщения типа 25 для «Код скорости» = 1 (с передачей скоростей изменения поправок).
Долговременные поправки для спутников

Параметры полей сообщения типа 25 приведены в таблицах 14 и 15.

Таблица 14 – Содержимое половины сообщения типа 25 для «Код скорости» = 0. Долговременные поправки для спутников

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
Код скорости	1	1	0	безразмерная
Для двух спутников	—	—	—	—
PRN Mask Number	6	1	0–51	безразмерная
IOD	8	1	0–255	безразмерная
δx	9	0,125	± 32	м
δy	9	0,125	± 32	м
δz	9	0,125	± 32	м
δa_{f0}	10	2^{-31}	$\pm 2^{-22}$	с
IODP	2	1	0–3	безразмерная
Резерв	1	—	—	—
Примечания 1 Поле IODP описано в 7.2 и Б.2. 2 Поле «PRN Mask Number» описано в 7.2.				

Таблица 15 – Содержимое половины сообщения типа 25 для
«Код скорости» = 1. Долговременные поправки для спутников

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
Код скорости	1	1	1	безразмерная
PRN Mask Number	6	1	0–51	безразмерная
IOD	8	1	0–255	безразмерная
δx	11	0,125	± 128	м
δy	11	0,125	± 128	м
δz	11	0,125	± 128	м
δa_{f0}	11	2^{-31}	$\pm 2^{-21}$	с
$\delta \dot{x}$	8	2^{-11}	$\pm 0,0625$	м/с
$\delta \dot{y}$	8	2^{-11}	$\pm 0,0625$	м/с
$\delta \dot{z}$	8	2^{-11}	$\pm 0,0625$	м/с
δa_{f1}	8	2^{-39}	$\pm 2^{-32}$	с/с
t_0	13	16	0–86 384	с
IODP	2	1	0–3	безразмерная
Примечания 1 Поле IODP описано в 7.2 и Б.2. 2 Поле «PRN Mask Number» описано в 7.2.				

Поля «Преамбула», «Тип» и «ЦК» определены в разделе 6.

Поле IOD – идентификатор ЦИ, описан в 7.5.2.

Поля δx , δy , δz – поправки к эфемеридам спутника (определенного полем «PRN Mask Number»), по осям x , y , z .

Поле δa_{f0} – поправка к часам спутника.

Поля $\delta \dot{x}$, $\delta \dot{y}$, $\delta \dot{z}$ – скорости изменения поправок δx , δy , δz .

Поле δa_{f1} – скорость изменения поправки δa_{f0} .

Поле t_0 – момент применимости долговременных поправок, время от начала текущих суток, на которое заданы параметры $\delta x, \delta y, \delta z, \delta a_{f0}, \delta \dot{x}, \delta \dot{y}, \delta \dot{z}, \delta a_{f1}$. Протокол применения этих параметров приведен в приложении И.

Структура и параметры полей сообщения типа 24, содержащего смешанные поправки для спутников, приведены на рисунке 17 и в таблице 16.

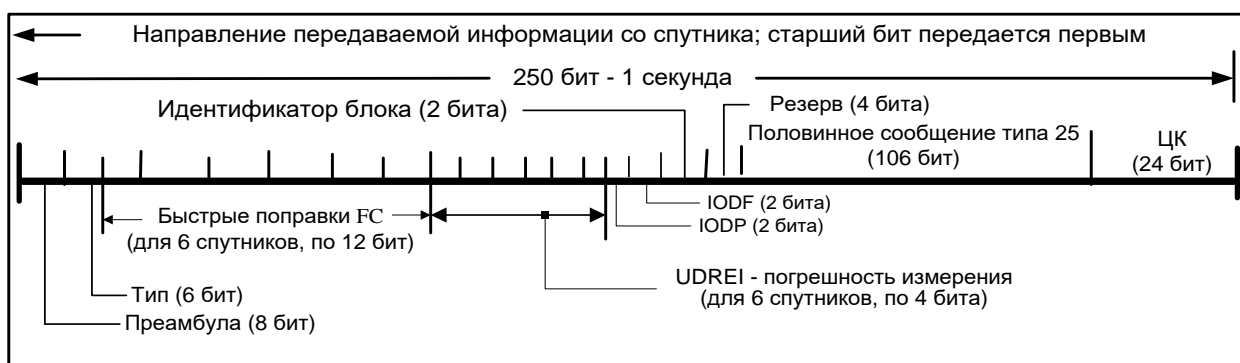


Рисунок 17 – Структура сообщения типа 24. Смешанные поправки для спутников

Поле Идентификатор блока – принимает значения 0, 1, 2, 3 и сообщает, что сообщение типа 24 содержит быстрые поправки, связанные с сообщением типа 2, 3, 4, 5, соответственно.

Таблица 16 – Содержимое сообщения типа 24. Смешанные поправки для спутников

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
Для шести спутников	—	—	—	—
FC	12	0,125	$\pm 256,000$	м
Для шести спутников	—	—	—	—
UDREI	4	См. таблицу 20		
IODP	2	1	0–3	безразмерная
IODF	2	1	0–3	безразмерная
Идентификатор блока	2	1	0–3	безразмерная
Резерв	4	—	—	—
Половина сообщения типа 25	106	—	—	—
Примечания 1 Поле FC описано в 7.6. 2 Поле UDREI описано в 7.7. 3 Поле IODP описано в 7.2 и Б.2. 4 Поле IODF описано в 7.6 и Б.2.				

Основные положения стандарта SBAS в части передачи быстрых и долговременных поправок следующие:

- долговременные поправки к эфемеридам для спутников систем ГЛОНАСС и GPS передаются так: для спутников ГЛОНАСС – в системе ПЗ-90, для спутников GPS – в системе WGS-84;

- для долговременных поправок устанавливаются следующие правила применения.

7.5.2 Поле IOD – показатель, связывающий долговременные поправки для спутника с эфемеридами, передаваемыми данным спутником. Принцип его использования для ГЛОНАСС и GPS разный.

Для ГЛОНАСС поле IOD задает интервал времени, в течение которого должна использоваться информация ГЛОНАСС с информацией СДКМ:

- 5 младших битов поля IOD содержат признак V – время действия, т.е. интервал времени, в течение которого используется информация об эфемеридах ГЛОНАСС;

- 3 старших бита поля IOD содержат признак L – время запаздывания, т.е. интервал времени от момента последнего обновления эфемерид ГЛОНАСС до прогнозируемого времени получения потребителем долговременной поправки.

Описание признаков V и L приведено в таблице 17.

Таблица 17 – Содержимое поля IOD для ГЛОНАСС

Признак	Число разрядов	Цена младшего разряда, с	Диапазон значений, с
Время действия (V)	5	30	30 – 960
Время запаздывания (L)	3	30	0 – 120

Для спутников ГЛОНАСС потребитель может использовать долговременные поправки только, если время t_r получения им последних эфемерид ГЛОНАСС и время t_{LT} получения потребителем долговременной поправки удовлетворяют соотношению

$$t_{LT} - L - V \leq t_r \leq t_{LT} - L. \quad (1)$$

Для спутников GPS долговременные поправки применяются только при условии, что поле IOD в принятых поправках СДКМ совпадает с полем IODE в принятых эфемеридах GPS и с восьмью младшими разрядами поля IODC.

7.6 Сообщения типов 2–5. Быстрые поправки

7.6.1 Быстрые поправки содержат информацию о коррекции измеренных дальностей до навигационных спутников.

Быстрая поправка позволяет компенсировать быстроизменяющиеся ошибки в определении псевдодальности до спутника из-за неточности прогнозирования ухода бортовых часов спутников.

Помимо быстрых поправок сообщения типа 2–5 содержат информацию о точности измерения псевдодальности до спутников, в форме полей UDREI, описанных в 7.7. Это позволяет потребителю определить точность навигации.

Для передачи быстрых поправок для 51 спутника используются четыре типа сообщений:

- сообщение типа 2 передает быстрые поправки для спутников с номерами ПСП с 1 по 13 (13 КА);
- сообщение типа 3 – для ПСП с 14 по 26 (13 КА);
- сообщение типа 4 – для ПСП с 27 по 39 (13 КА);
- сообщение типа 5 – для ПСП с 40 по 51 (12 КА).

Сообщения типа 2-5 имеют одинаковую структуру, которая приведена на рисунке 18. Параметры полей сообщения типа 2-5 приведены в таблице 18.

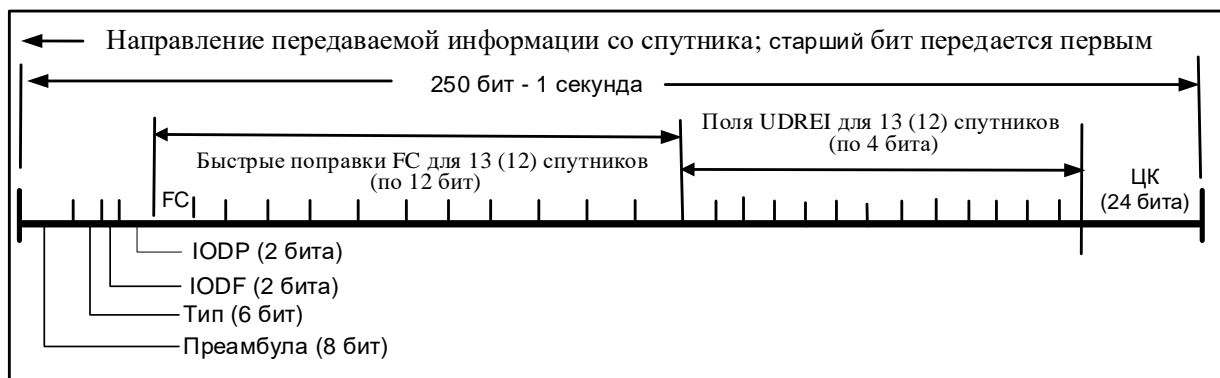


Рисунок 18 – Структура сообщений типа 2–5. Быстрые поправки

Таблица 18 – Содержимое сообщений типа 2–5. Быстрые поправки

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
IODF	2	1	0–3	безразмерная
IODP	2	1	0–3	безразмерная
Для 13 (12) спутников	—	—	—	—
FC	12	0,125	±256,000	м
Для 13 (12) спутников	—	—	—	—
UDREI	4	См. таблицу 20		
Примечания				
1 Поле IODP описано в 7.2 и Б.2.				
2 Поле UDREI описано в 7.7.				

Поля «Преамбула», «Тип» и «ЦК» определены в разделе 6.

Поле FC – быстрая поправка. Это поправка для быстро меняющихся погрешностей часов спутника, прибавляется к измеренной псевдодальности для этого спутника.

Быстрая поправка применяется по формуле:

$$PR_{corrected}(t) = PR_{measured}(t) + FC + RRC(t_{of}) \times (t - t_{of}) + IC + TC, \quad (2)$$

где $PR_{measured}$ – измеренная дальность до спутника;

t – текущее время;

$$RRC(t_{of}) = \begin{cases} \frac{FC - FC_{previous}}{t_{of} - t_{of_previous}}, & \text{если } a_i \neq 0 \\ 0, & \text{если } a_i = 0 \end{cases}$$

FC – текущая (последняя) быстрая поправка, взятая из сообщения типа 2–5;

$FC_{previous}$ – предыдущая быстрая поправка;

t_{of} – опорный момент для FC;

$t_{of_previous}$ – опорный момент для $FC_{previous}$;

a_i – индикатор фактора деградации быстрых поправок (см. таблицу 26);

IC – ионосферная коррекция;

TC – тропосферная коррекция.

Опорное время t_{of} определяется как время передачи ГСО-спутником СДКМ первого бита сообщения с быстрыми поправками. Алгоритм вычисления ионосферной коррекции приведен в приложении И, а тропосферной коррекции – в приложении Д.

Поле IODF – идентификатор типа быстрой поправки. В сообщениях типа 2, 3, 4 и 5 этот идентификатор называется, соответственно, IODF₂, IODF₃, IODF₄ и IODF₅. 2-битовый код каждого идентификатора последовательно принимает значения 0₁₀, 1₁₀, 2₁₀ и 3₁₀. При отсутствии сигналов тревоги, последовательная смена кодов в идентификаторах IODF₂, IODF₃, IODF₄ и IODF₅ (каждый код последовательно принимает значения: 0₁₀, 1₁₀ и 2₁₀) обеспечивает связь информации из сообщений типа 2-5 с информацией из сообщения типа 6 (способ синхронизации описан в приложении Б). Однако если возникает ухудшение в точности дифференциальных поправок для одного или нескольких спутников (ЦИ для них передается в сообщениях типа 2-5, 24), то передается также и сообщение типа 6, в котором соответствующее значение поля IODF равно 3. Код IODF_j = 3₁₀ означает, что для одного или нескольких спутников из сообщения типа j резко увеличилась погрешность измерения псевдодальности до спутников σ^2_{UDRE} (см. 7.7). Соответствие IODF₂, IODF₃, IODF₄ и IODF₅ и номеров спутников указано в 7.7.

7.7 Сообщение типа 6. Информация целостности

7.7.1 Сообщение типа 6 содержит информацию о точности измерения псевдодальности до спутников (поля UDREI), а также информацию, позволяющую определить целостность всей информации. Если становится доступным новый спутник, то это отражается в сообщении типа 6.

Структура и параметры полей сообщения типа 6 приведены на рисунке 19 и в таблице 19.

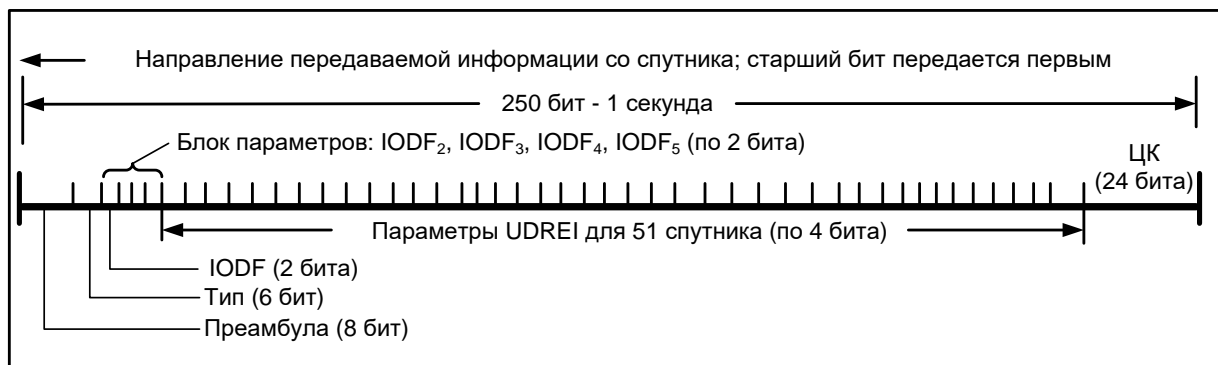


Рисунок 19 – Структура сообщения типа 6. Информация целостности

Таблица 19 – Содержимое сообщения типа 6. Информация целостности

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
IODF ₂	2	1	0–3	безразмерная
IODF ₃	2	1	0–3	безразмерная
IODF ₄	2	1	0–3	безразмерная
IODF ₅	2	1	0–3	безразмерная
Для 51 спутника	—	—	—	—
UDREI	4	См. таблицу 20		

Поля «Преамбула», «Тип» и «ЦК» определены в разделе 6.

Поля IODF – определены в 7.6 и Б.2. Кроме стандартных функций синхронизации при смене информации в канале (см. приложение Б), поля IODF могут также использоваться для быстрого предупреждения потребителя о нарушении целостности спутников, входящих в соответствующую группу. Для этого используется значение поля IODF, равное 3. Принято следующее соответствие:

- IODF₂ = 3 – нарушение целостности спутников из группы 1–13;

- $IODF_3 = 3$ – нарушение целостности спутников из группы 14–26;
- $IODF_4 = 3$ – нарушение целостности спутников из группы 27–39;
- $IODF_5 = 3$ – нарушение целостности спутников из группы 40–51.

В каком конкретно спутнике нарушена целостность – определяется после приема и анализа полей UDREI в полном объеме из сообщения типа 6.

Поля UDREI – индикаторы точности быстрых и долговременных поправок для каждого спутника, определенного полем «PRN Mask» (см. 7.2). Точность быстрых и долговременных поправок в формате среднеквадратической остаточной погрешности σ_{UDRE} , соответствующая значениям UDREI, определяется согласно таблице 20.

Таблица 20 – Определение значений поля UDREI

UDREI	σ_{UDRE}^2
0	0,0520 м ²
1	0,0924 м ²
2	0,1444 м ²
3	0,2830 м ²
4	0,4678 м ²
5	0,8315 м ²
6	1,2992 м ²
7	1,8709 м ²
8	2,5465 м ²
9	3,3260 м ²
10	5,1968 м ²
11	20,7870 м ²
12	230,9661 м ²
13	2 078,695 м ²
14	«Нет мониторинга»
15	«Не использовать»

Дисперсия (σ^2_{UDRE}) массива остаточных погрешностей спутника (часов и эфемерид спутника) определяется погрешностями определения псевдодальности после применения потребителем быстрых и долговременных поправок (без учета коррекции ионосферной погрешности). Остаточная погрешность применяется потребителем при оценке параметров целостности, в частности, в расчетах горизонтального уровня защиты и уровня защиты по вертикали.

Своевременность доставки параметров целостности UDREI обеспечивает потребителям достоверность навигационных определений. Поэтому эти параметры передаются также с быстрыми поправками (в сообщениях типа 2–5 и 24).

7.8 Сообщение типа 18. Параметры ионосферной сетки

7.8.1 Сообщение типа 18 совместно с сообщением типа 26 (см. 7.9) позволяет вычислить ионосферную задержку распространения навигационного сигнала в диапазоне L1 и точность этой задержки.

Алгоритм вычисления ионосферной задержки приведен в приложении И.

Структура и параметры полей сообщения типа 18 приведены на рисунке 20 и в таблице 21.

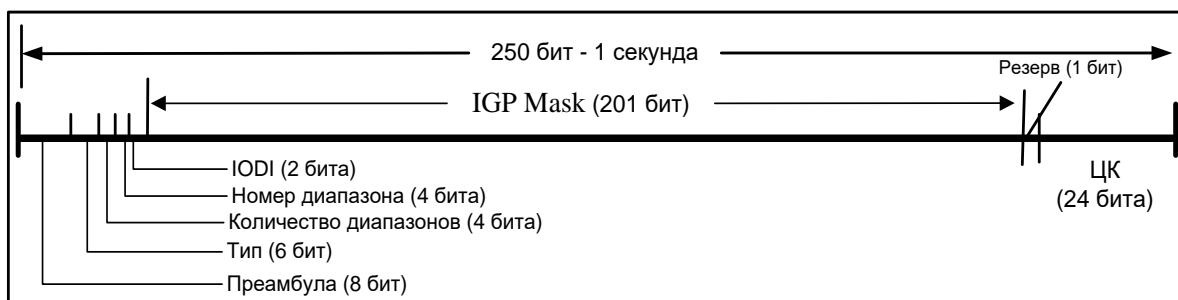


Рисунок 20 – Структура сообщения типа 18. Параметры ионосферной сетки

Таблица 21 – Содержимое сообщения типа 18. Параметры ионосферной сетки

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
Количество диапазонов	4	1	0–11	безразмерная
Номер диапазона	4	1	0–10	безразмерная
IODI	2	1	0–3	безразмерная
IGP Mask	201	–	–	безразмерная
Резерв	1	–	–	–

Поля «Преамбула», «Тип» и «ЦК» определены в разделе 6.

Ионосферной сеткой называется совокупность точек на поверхности Земли, для которых вычисляются вертикальные ионосферные задержки.

Ионосферные поправки к псевдодальностям НАП (поправки, компенсирующие задержки навигационного сигнала в ионосфере), согласно стандарту SBAS передаются в виде двух параметров (см. 7.9):

- величина вертикальной ионосферной задержки;
- параметр GIVEI – условный цифровой код, однозначно связанный с дисперсией оценки вертикальной ионосферной задержки.

Эти параметры определяются в точках ионосферной сетки (ionospheric grid points, IGP) и дают оценку вертикальной ионосферной задержки сигнала L1 (1575,42 МГц) для случая вертикального прохождения сигнала через данную точку ионосферной сетки. Используя эти параметры, потребитель должен по методике, описанной в приложении И, интерполировать полученную в сообщениях типа вертикальную ионосферную задержку из ближайших точек ионосферной сетки в наклонную ионосферную задержку для линии визирования рабочего спутника.

Параметры ионосферной сетки определяются следующим образом. Поверхность Земли делится на 11 полей, т.н. диапазонов положения точек ионосферной сетки, образуемых:

- девятью зонами по вертикали – диапазоны 0–8, охватывающие экватор и средние широты;

- двумя зонами по горизонтали – диапазоны 9–10, охватывающие высокие южные и северные полярные широты.

Координаты точек указаны в таблице 22. Расположение 1808 точек для всех 11 диапазонов ионосферной сетки показано на рисунке 21.

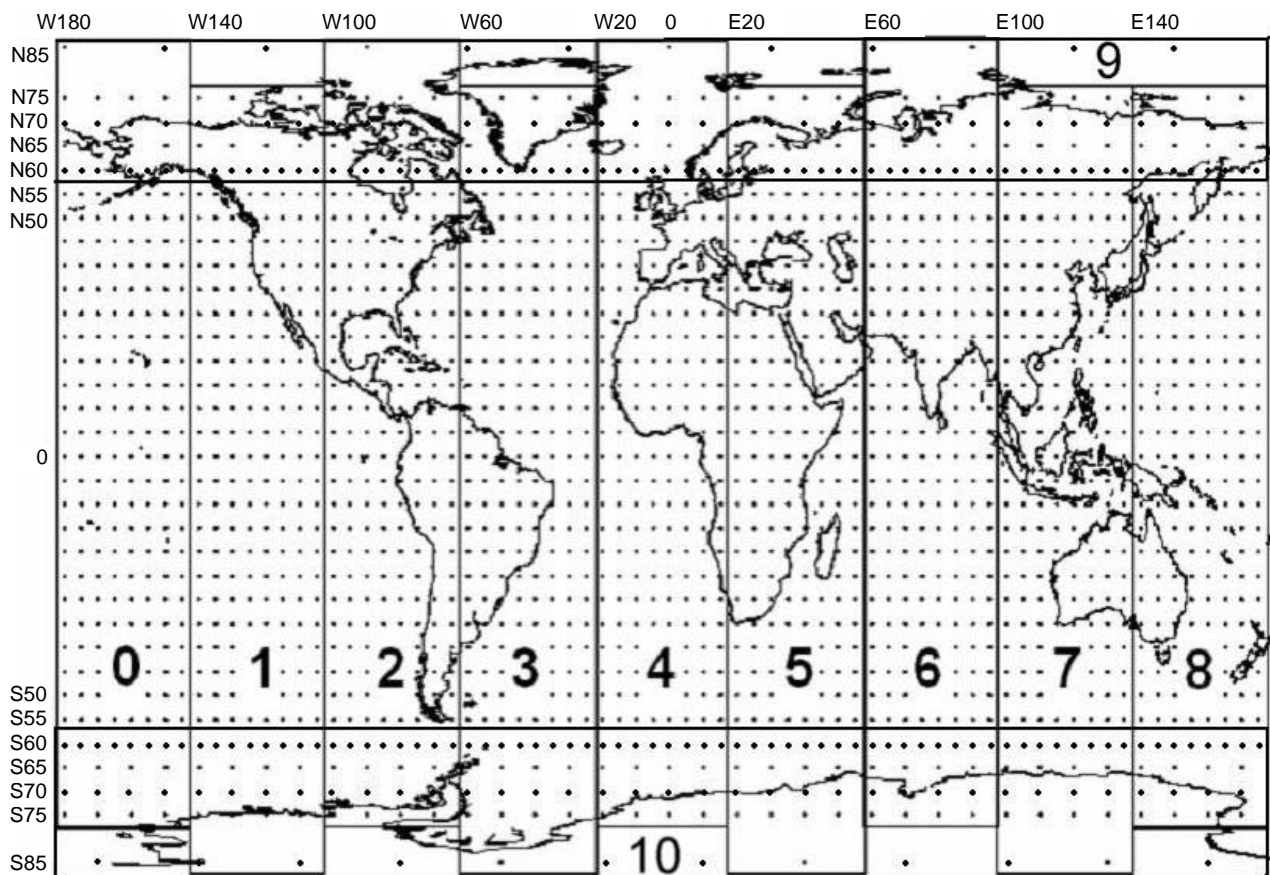


Рисунок 21 – Положение точек ионосферной сетки

Таблица 22 – Координаты точек ионосферной сетки и номера полей, N – Север, S – Юг, W – Запад, E – Восток

Координаты точек ионосферной сетки		Разряды в поле IGP Mask
Долгота	Широты для всех точек диапазона:	
Диапазон 0		
180 W	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N, 85N	1–28
175 W	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	29–51
170 W	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	52–78
165 W	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	79–101
160 W	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	102–128
155 W	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	129–151
150 W	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	152–178
145 W	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	179–201
Диапазон 1		
140 W	85S, 75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	1–28
135 W	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	29–51
130 W	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	52–78
125 W	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	79–101
120 W	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	102–128
115 W	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	129–151
110 W	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	152–178
105 W	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	179–201
Диапазон 2		
100 W	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	1–27
95 W	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	28–50
90 W	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N, 85N	51–78
85 W	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	79–101
80 W	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	102–128
75 W	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	129–151
70 W	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	152–178

Продолжение таблицы 22

Координаты точек ионосферной сетки		Разряды в поле IGP Mask
Долгота	Широты для всех точек диапазона:	
65 W	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	179–201
Диапазон 3		
60 W	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	1–27
55 W	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	28–50
50 W	85S, 75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	51–78
45 W	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	79–101
40 W	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	102–128
35 W	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	129–151
30 W	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	152–178
25 W	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	179–201
Диапазон 4		
20 W	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	1–27
15 W	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	28–50
10 W	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	51–77
5 W	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	78–100
0	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N, 85N	101–128
5 E	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	129–151
10 E	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	152–178
15 E	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	179–201
Диапазон 5		
20 E	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	1–27
25 E	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	28–50
30 E	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	51–77
35 E	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	78–100
40 E	85S, 75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	101–128
45 E	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	129–151
50 E	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	152–178

Продолжение таблицы 22

Координаты точек ионосферной сетки		Разряды в поле IGP Mask
Долгота	Широты для всех точек диапазона:	
55 E	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	179–201
Диапазон 6		
60 E	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	1–27
65 E	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	28–50
70 E	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	51–77
75 E	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	78–100
80 E	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	101–127
85 E	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	128–150
90 E	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N, 85N	151–178
95 E	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	179–201
Диапазон 7		
100 E	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	1–27
105 E	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	28–50
110 E	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	51–77
115 E	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	78–100
120 E	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	101–127
125 E	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	128–150
130 E	85S, 75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	151–178
135 E	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	179–201
Диапазон 8		
140 E	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	1–27
145 E	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	28–50
150 E	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	51–77
155 E	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	78–100
160 E	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	101–127
165 E	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	128–150
170 E	75S, 65S, 55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N, 65N, 75N	151–177

Продолжение таблицы 22

Координаты точек ионосферной сетки		Разряды в поле IGP Mask
Долгота	Широты для всех точек диапазона:	
175 E	55S, 50S, 45S, ..., 45N, 50N, 55N	178–200
Диапазон 9		
60 N	180W, 175W, 170W, ..., 165E, 170E, 175E	1–72
65 N	180W, 170W, 160W, ..., 150E, 160E, 170E	73–108
70 N	180W, 170W, 160W, ..., 150E, 160E, 170E	109–144
75 N	180W, 170W, 160W, ..., 150E, 160E, 170E	145–180
85 N	180W, 150W, 120W, ... , 90E, 120E, 150E	181–192
Диапазон 10		
60 S	180W, 175W, 170W, ..., 165E, 170E, 175E	1–72
65 S	180W, 170W, 160W, ..., 150E, 160E, 170E	73–108
70 S	180W, 170W, 160W, ..., 150E, 160E, 170E	109–144
75 S	180W, 170W, 160W, ..., 150E, 160E, 170E	145–180
85 S	170W, 140W, 110W, ..., 100E, 130E, 160E	181–192

Поле IGP Mask – перечень точек ионосферной сетки, для которых передается информация. Это поле состоит из 201 пронумерованной позиции, которые заполняются нулями и единицами следующим образом. Единицы записываются в те позиции, которым соответствуют координаты точек ионосферной сетки (см. таблицу 22), для которых в сообщениях типа 26 передается информация по ионосферной задержке. Во все остальные позиции записываются нули.

Поле Количество диапазонов – сообщает количество диапазонов, для которых передается информация по ионосферной задержке.

Поле Номер диапазона – сообщает диапазон от 0 до 10, для которого передается в сообщении типа 26 передается информация по ионосферной задержке. Распределение точек ионосферной сетки по диапазонам определено в таблице 22.

Поле IODI – идентификатор информации об ионосфере, указывает на текущее поле IGP Mask (см. также Б.2).

7.9 Сообщение типа 26. Поправки к ионосферным задержкам

7.9.1 Сообщение типа 26 совместно с сообщением типа 18 (см. 7.8) позволяет вычислить ионосферную задержку распространения навигационного сигнала в диапазоне L1 и точность этой задержки.

Структура сообщения типа 26 приведена на рисунке 22. Параметры полей сообщения типа 26 представлена в таблице 23.

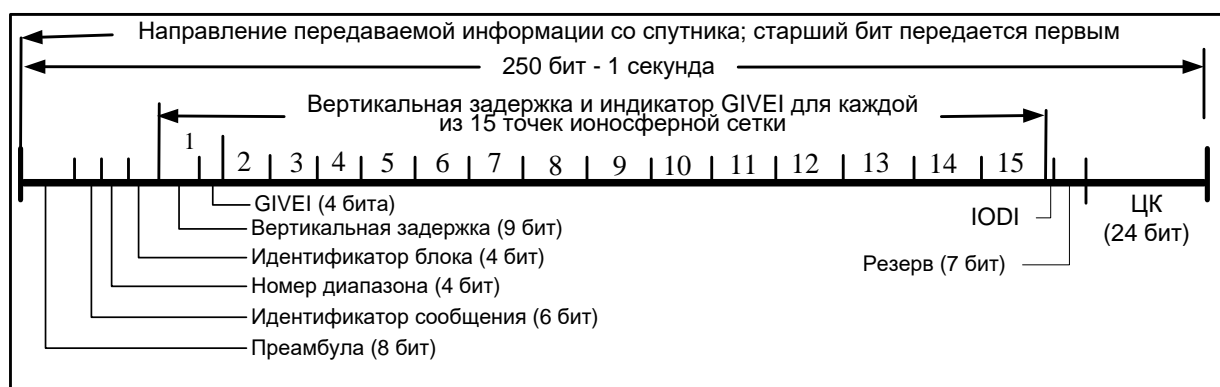


Рисунок 22 – Структура сообщения типа 26. Поправки к ионосферным задержкам

Таблица 23 – Содержимое сообщения типа 26. Поправки к ионосферным задержкам

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
Номер диапазона	4	1	0–10	безразмерная
Идентификатор блока	4	1	0–13	безразмерная
Для 15 точек ионосферной сетки	–	–	–	–
Вертикальная задержка τ_{vk}	9	0,125	0 – 63,875	м
GIVEI	4	См. таблицу 24		
IODI	2	1	0–3	безразмерная
Резерв	7	–	–	–
Примечание – Поле IODI описано в 7.8 и Б.2.				

Поля «Преамбула», «Тип» и «ЦК» определены в разделе 6.

В сообщениях типа 26 адресация информации (привязка передаваемых задержек к точкам ионосферной сетки) выполняется путем передачи в сообщении:

- поля Номер диапазона, которое определяется также как для сообщения типа 18 (см. 7.8);

- поля Идентификатор блока, которое идентифицирует группу из 15 точек внутри диапазона, для которых передается информация по ионосферной задержке. Вся исходная последовательность из 201 точки ионосферной сетки в заданном диапазоне разбивается на группы по 15 следующих последовательно точек, которые называются блоком;

- передачей задержек для точек внутри блока строго в той последовательности, в которой следуют соответствующие им «1» в поле IGP Mask (см. 7.8). Данный механизм идентификации идентичен механизму идентификации информации, указанному в 7.2.

Для каждой точки ионосферной сетки ионосферные поправки передаются потребителю в сообщениях типа 26 в виде двух параметров:

- поле «Вертикальная задержка» – вертикальная задержка в диапазоне L1, которую дает ионосфера, в метрах;
- поле GIVEI – оценка дисперсии погрешности σ_{GIVE}^2 , которую привнесет в псевдодальность применение этой вертикальной задержки. Значение 4-битового поля GIVEI однозначно связано с величиной дисперсии, согласно таблице 24.

Таблица 24 – Соответствие значений поля GIVEI и оценки дисперсии погрешности σ_{GIVE}^2

GIVEI	$\sigma_{\text{GIVE}}^2, \text{ м}^2$
0	0,0084
1	0,0333
2	0,0749
3	0,1331
4	0,2079
5	0,2994
6	0,4075
7	0,5322
8	0,6735
9	0,8315
10	1,1974
11	1,8709
12	3,3260
13	20,787
14	187,0826
15	«Нет мониторинга»

7.10 Сообщения типов 7 и 10. Параметры деградации

7.10.1 Сообщение типа 7 содержит информацию об интервале действия быстрых поправок и скорости изменения величины быстрых и долговременных поправок.

Сообщение типа 10 передает ряд вспомогательных параметров, используемых для определения точности навигации.

Параметры деградации необходимы для определения срока действия передаваемой информации СДКМ. Параметры деградации передаются при помощи двух сообщений:

- параметры деградации быстрых поправок передаются в сообщении типа 7;
- параметры деградации долговременных поправок и ионосферных задержек передаются в сообщении типа 10.

Структура и параметры полей сообщения типа 7 приведены на рисунке 23 и в таблице 25.

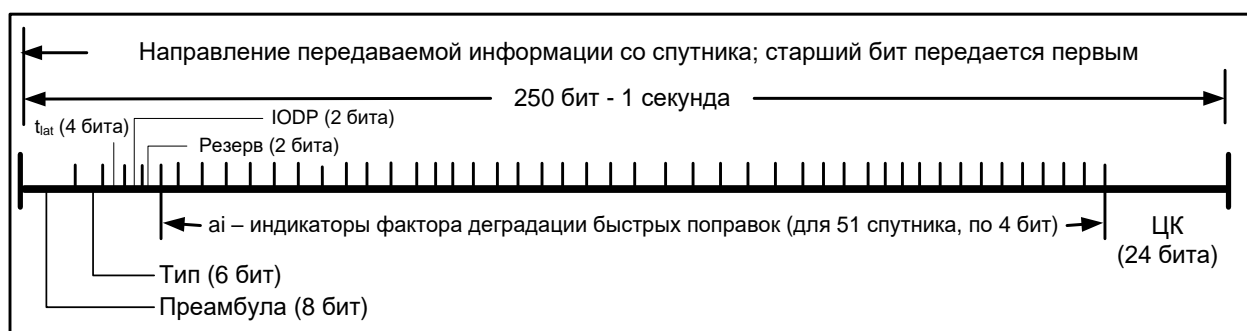


Рисунок 23 – Структура сообщения типа 7. Параметры деградации быстрых поправок

Таблица 25 – Содержимое сообщения типа 7. Параметры деградации быстрых поправок

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
t _{lat}	4	1	0–15	с
IODP	2	1	0–3	безразмерная
Резерв	2	—	—	—
Для 51 спутника	—	—	—	—
a _i	4	См. таблицу 26		
Примечание – Поле IODP описано в 7.2 и Б.2.				

Поля «Преамбула», «Тип» и «ЦК» определены в разделе 6.

Поле t_{lat} – системное время запаздывания, временной интервал между началом деградации поправки (момента, для которого поправка рассчитана) и моментом закладки информации в канал СДКМ (задержка непосредственно ретрансляции полагается равной нулю).

Поле a_i – индикатор фактора деградации быстрых поправок. Эти индикаторы передаются для спутников, обозначенных в поле «PRN Mask». Значения поля a_i определяются скоростью изменения поправок (фактором деградации) и определены в таблице 26.

Таблица 26 – Соответствие индикатора и фактора деградации быстрых поправок

Индикатор фактора деградации быстрых поправок (ai)	Фактор деградации быстрых поправок, м/с ²
0	0,00000
1	0,00005
2	0,00009
3	0,00012
4	0,00015
5	0,00020
6	0,00030
7	0,00045
8	0,00060
9	0,00090
10	0,00150
11	0,00210
12	0,00270
13	0,00330
14	0,00460
15	0,00580
Примечание – Интервал действия быстрых поправок приведен в таблице Г.3.	

Структура и параметры полей сообщения типа 10, содержащего информацию о параметрах деградации долговременных поправок и ионосферных задержек, приведены на рисунке 24 и в таблице 27.

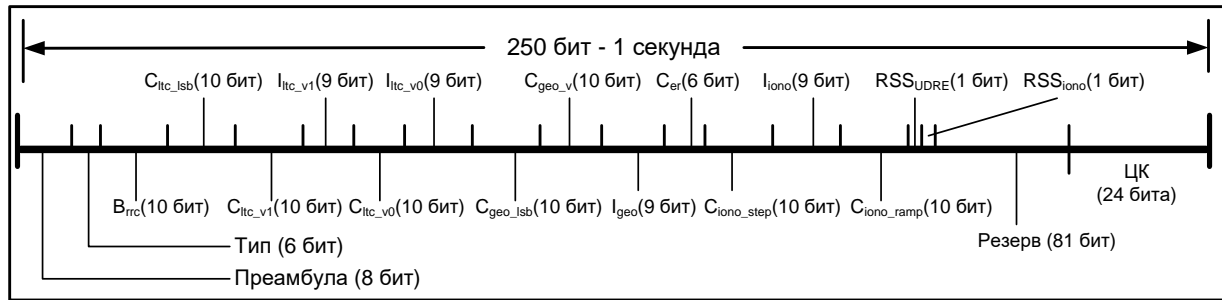


Рисунок 24 – Структура сообщения типа 10. Параметры деградации

Таблица 27 – Содержимое сообщения типа 10. Параметры деградации

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
B_{rrc}	10	0,002	0–2,046	м
C_{ltc_lsb}	10	0,002	0–2,046	м
C_{ltc_v1}	10	0,00005	0–0,05115	м/с
I_{ltc_v1}	9	1	0–511	с
C_{ltc_v0}	10	0,002	0–2,046	м
I_{ltc_v0}	9	1	0–511	с
C_{geo_lsb}	10	0,0005	0–0,5115	м
C_{geo_v}	10	0,00005	0–0,05115	м/с
I_{geo}	9	1	0–511	с
C_{er}	6	0,5	0–31,5	м
C_{iono_step}	10	0,001	0–1,023	м
I_{iono}	9	1	0–511	с
$C_{iono\ ramp}$	10	0,000005	0–0,005115	м/с
RSS_{UDRE}	1	1	0, 1	безразмерная
RSS_{iono}	1	1	0, 1	безразмерная
$C_{covariance}$	7	0,1	0–12,7	безразмерная
Резерв	81	—	—	—

Поля «Преамбула», «Тип» и «ЦК» определены в разделе 6.

Поле B_{rrc} – параметр, определяющий границы шума и погрешности округления при вычислении деградации поправки к скорости изменения псевдодальности.

Поле C_{ltc_lsb} – максимальная ошибка округления, определяемая разрешающей способностью передаваемой информации об орбите и времени.

Поле C_{ltc_vl} – диапазон скоростных ошибок при максимальном расхождении по скорости пропущенных сообщений из-за различия в скорости изменения параметров орбиты и времени.

Поле I_{ltc_v1} – минимальный интервал обновления долговременных поправок, если «Код скорости» = 1.

Поле C_{ltc_v0} – параметр, определяющий границы расхождения между двумя последовательными долговременными поправками для спутников с «Код скорости» = 0.

Поле I_{ltc_v0} – минимальный интервал обновления долговременных поправок, если «Код скорости» = 0.

Поле C_{geo_lsb} – не используется в СДКМ.

Поле C_{geo_v} – не используется в СДКМ.

Поле I_{geo} – не используется в СДКМ.

Поле C_{er} – диапазон остаточной погрешности, связанный с использованием информации, срок действия которой истек.

Поле C_{iono_step} – диапазон разностей между последовательными значениями задержек в ионосферной сетке.

Поле I_{iono} – минимальный интервал обновления поправок к ионосферным задержкам.

Поле C_{iono_ramp} – скорость изменения ионосферных поправок.

Поле RSS_{UDRE} – признак квадратичного суммирования для разностей быстрых и долговременных поправок:

- $RSS_{UDRE} = 0$ – разности поправок суммируются линейно;
- $RSS_{UDRE} = 1$ – квадраты разностей поправок складываются под

квадратным корнем.

RSS_{iono} – признак квадратичного суммирования для разностей ионосферных поправок:

- $RSS_{iono} = 0$ – разности поправок суммируются линейно;
- $RSS_{iono} = 1$ – квадраты разностей поправок складываются под

квадратным корнем.

$C_{covariance}$ – параметр, который используется для компенсации дискретизации при применении сообщения типа 28.

Примечания

1 Параметры a_i и t_{lat} , необходимые для применения параметра, должны выбираться из сообщения типа 7.

2 Если сообщение типа 28 не передается, то параметр $C_{covariance}$ не применяется.

7.11 Сообщение типа 12. Параметры смещения сетевого времени СДКМ и UTC

7.11.1 Сообщение типа 12 содержит информацию о смещении между сетевым временем СДКМ и UTC. Также в сообщении 12 передается информация о смещении между шкалами времени систем ГЛОНАСС и GPS.

Сетевое время СДКМ – это временная шкала системы СДКМ, используемая при обработке данных измерений, формировании и закладке информации на космические аппараты системы.

Структура и параметры полей сообщения типа 12 приведены на рисунке 25 и в таблице 28.

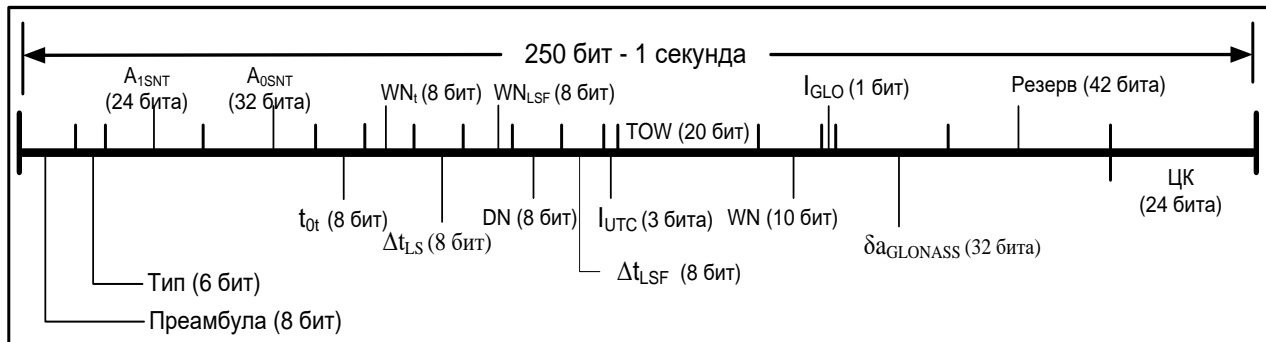


Рисунок 25 – Структура сообщения типа 12. Параметры смещения сетевого времени СДКМ и UTC

Таблица 28 – Содержимое сообщения типа 12. Параметры смещения сетевого времени СДКМ и UTC

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
A_{1SNT}	24	2^{-50}	$\pm 7,45 \times 10^{-9}$	с/с
A_{0SNT}	32	2^{-30}	± 1	с
t_{0t}	8	4 096	0–602 112	с
WN_t	8	1	0–255	неделя
Δt_{LS}	8	1	± 128	с
WN_{LSF}	8	1	0–255	неделя
DN	8	1	1–7	сут
Δt_{LSF}	8	1	± 128	с
I_{UTC}	3	1	BIPM, NIST, USNO	безразмерная
TOW	20	1	0–604 799	с
WN	10	1	0–1 023	неделя
I_{GLO}	1	1	0, 1	безразмерная
$\delta a_{GLONASS}$	24	$2,0 \times 10^{-31}$	$\pm 2,0 \times 10^{-8}$	с
Резерв	50	—	—	—

Поля «Преамбула», «Тип» и «ЦК» определены в разделе 6.

Поля A_{ISNT} , A_{OSNT} , t_{0t} , WN_t , Δt_{LS} , WN_{LSF} , DN и Δt_{LSF} – параметры, определяемые в соответствии со стандартом UTC.

Поле I_{UTC} – идентификатор стандарта UTC, указывает на опорный источник UTC, согласно таблице 29.

Таблица 29 – Идентификатор стандарта UTC

I_{UTC}	Стандарт UTC
0	Время UTC, находящееся в ведении Исследовательской лаборатории связи (Токио, Япония)
1	Время UTC, находящееся в ведении Национального института стандартов и технологий США
2	Время UTC, находящееся в ведении Военно-морской обсерватории США
3	Время UTC, находящееся в ведении Международного бюро мер и весов
4	Зарезервировано для времени UTC, находящегося в ведении Европейской лаборатории
5-6	Не занято *
7	UTC не передается
* Возможно использование для времени UTC, находящегося в ведении РФ – UTC(SU)	

Поле TOW – отсчет времени в GPS-неделе, количество секунд, истекших с момента перехода от предыдущей GPS-недели к текущей.

Поле WN – номер недели GPS.

Поле I_{GLO} – индикатор ГЛОНАСС, признак, показывающий, передаются ли параметры времени ГЛОНАСС:

- $I_{GLO} = 0$ – параметры времени ГЛОНАСС не передаются;
- $I_{GLO} = 1$ – параметры времени ГЛОНАСС передаются.

Поле $\delta a_{GLONASS}$ – поправка к параметру τ_{GPS} , который передается в навигационном сообщении ГЛОНАСС (параметр τ_{GPS} содержит смещение шкалы времени GPS относительно шкалы времени ГЛОНАСС).

7.12 Сообщение типа 27. Служебное сообщение

7.12.1 Сообщение типа 27 содержит информацию о значении параметра UDRE для определенного региона. Это дает возможность потребителю более точно определять качество навигационного обслуживания, то есть степень достоверности нахождения вектора положения. Это сообщение может содержать информацию об интегральном качестве всей системы СДКМ.

Структура и параметры полей сообщения типа 27 приведены на рисунке 26 и в таблице 30.

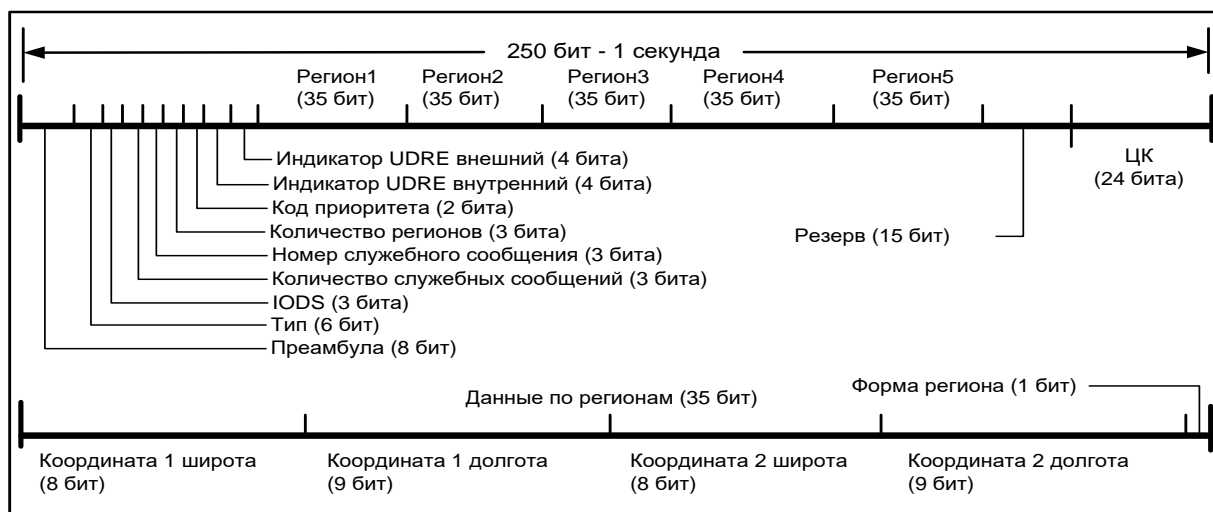


Рисунок 26 – Структура сообщения типа 27. Служебное сообщение

Таблица 30 – Содержимое сообщения типа 27. Служебное сообщение

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
IODS	3	1	0–7	безразмерная
Количество служебных сообщений	3	1	1–8	безразмерная
Номер служебного сообщения	3	1	1–8	безразмерная
Количество регионов	3	1	0–5	безразмерная
Код приоритета	2	1	0–3	безразмерная
Индикатор $\delta UDRE$ внутренний	4	1	0–15	безразмерная
Индикатор $\delta UDRE$ внешний	4	1	0–15	безразмерная
Для пяти регионов	–	–	–	–
Координата 1 широта	8	1	± 90	1°
Координата 1 долгота	9	1	± 180	1°
Координата 2 широта	8	1	± 90	1°
Координата 2 долгота	9	1	± 180	1°
Форма региона	1	1	0, 1	безразмерная
Резерв	15	–	–	–

Поля «Преамбула», «Тип» и «ЦК» определены в разделе 6.

Поле IODS – идентификатор информации обслуживания, предназначенный для идентификации информации обслуживания из разных сообщений типа 27 (см. также Б.2).

Поле «Количество служебных сообщений» – количество уже переданных сообщений типа 27 за вычетом единицы. Если уже передано одно сообщение, то «Количество служебных сообщений» = 0.

Поле «Номер служебного сообщения» – порядковый номер данного сообщения в передаваемой последовательности сообщения типа 27. Нумерация начинается с нуля.

Поле «Количество регионов» – число регионов обслуживания, для которых передаются координаты в данном сообщении.

Поле «Код приоритета» – код для определения приоритета сообщений в точках расположения, относящихся к двум перекрывающимся регионам. Сообщение с большим кодом имеет больший приоритет. Если коды приоритетов равны, то приоритетным считается сообщение с меньшим значением $\delta UDRE$.

Поле «Индикатор $\delta UDRE$ внутренний» – условный код, определяющий согласно таблице 31 коэффициент деградации ($\delta UDRE$) регионального параметра UDRE. Данный условный код применим при позиционировании только на территории регионов, координаты которых определены в данном сообщении типа 27.

Поле «Индикатор $\delta UDRE$ внешний» – условный код, определяющий согласно таблице 31 коэффициент деградации ($\delta UDRE$) регионального параметра UDRE. Данный условный код применим при позиционировании вне территории регионов, определенных во всех текущих сообщениях типа 27.

Поля «Координата 1 широта», «Координата 1 долгота» – широта и долгота угловой точки 1 территории региона (количество регионов может быть от одного до пяти).

Поля «Координата 2 широта», «Координата 2 долгота» – широта и долгота угловой точки 2 территории региона.

Поле «Форма региона» – бит, определяющий форму региона:

- «Форма региона» = 0 – треугольный регион;
- «Форма региона» = 1 – четырехугольный регион.

Таблица 31 – Индикатор оценки $\delta UDRE$

Индикатор $\delta UDRE$	$\delta UDRE$
0	1
1	1,1
2	1,25
3	1,5
4	2
5	3
6	4
7	5
8	6
9	8
10	10
11	20
12	30
13	40
14	50
15	100

Границы региона устанавливаются согласно следующим правилам:

- координата 3 всегда имеет широту координаты 1 и долготу координаты 2;
- для определения четырехугольной территории региона требуется координата 4, которая всегда имеет широту координаты 2 и долготу координаты 1;
- граница региона формируется посредством соединения координат в последовательности 1-2-3-1 (треугольник) или 1-2-3-4-1 (четырёхугольник). Сегменты границы имеют или постоянную широту, или постоянную долготу, либо постоянный наклон в градусах широты на градус долготы. Изменение долготы или широты вдоль любого сегмента границы между двумя координатами составляет менее $\pm 180^\circ$.

7.13 Сообщение типа 28. Ковариационная матрица часов и эфемерид спутника

7.13.1 Сообщение типа 28 содержит ковариационную матрицу ошибок ЭВИ. Использование информации сообщения типа 28 позволяет повысить доступность в зоне обслуживания и целостность вне зоны обслуживания системы СДКМ.

Элементы ковариационной матрицы используются с учетом местоположения потребителя, для определения коэффициента деградации ($\delta UDRE$), который необходим для расчета погрешности дифференциальной псевдодальности пользователя ($UDRE$).

С целью сжатия передаваемой информации, в формате SBAS ковариационная матрица (C) погрешностей времени и эфемерид передается в виде набора матриц ее разложения: коэффициента SF масштаба экспоненты ($SF_{i,j}$), $i, j = 1 \dots 4$ и треугольной матрицы ($E_{4 \times 4}$) элементов факторизации Холецкого: $C = (E \cdot SF)^T \cdot E \cdot SF$.

Элементы факторизации Холецкого (E_{ij}) – это элементы верхней треугольной матрицы (4×4), которая совместно с матрицей масштабных коэффициентов $SF_{4 \times 4}$ минимизирует объем передаваемой ЦИ.

Структура и параметры полей сообщения типа 28 приведены на рисунке 27 и в таблице 32.

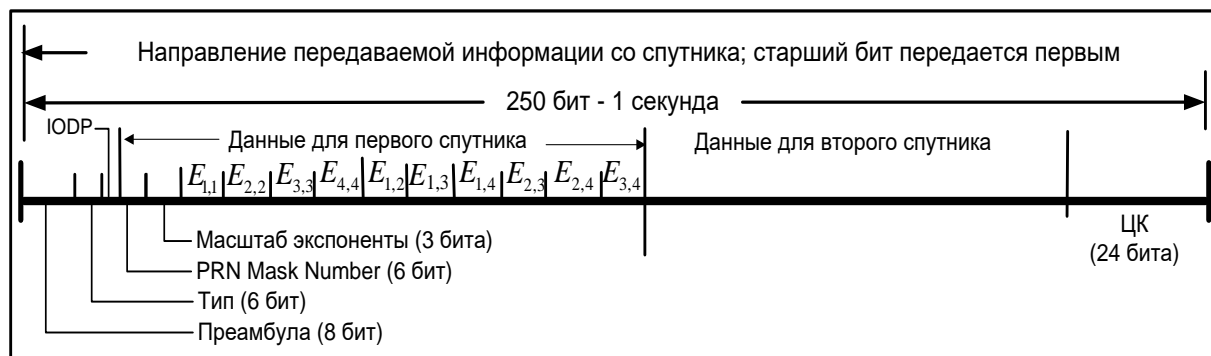


Рисунок 27 – Структура сообщения типа 28. Ковариационная матрица часов и эфемерид спутника

Таблица 32 – Содержимое сообщения типа 28. Ковариационная матрица часов и эфемерид спутника

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
IODP	2	1	0–3	безразмерная
Для двух спутников	–	–	–	–
PRN Mask Number	6	1	0–51	безразмерная
Масштаб экспоненты	3	1	0–7	безразмерная
$E_{1,1}$	9	1	0–511	безразмерная
$E_{2,2}$	9	1	0–511	безразмерная
$E_{3,3}$	9	1	0–511	безразмерная
$E_{4,4}$	9	1	0–511	безразмерная
$E_{1,2}$	10	1	± 512	безразмерная
$E_{1,3}$	10	1	± 512	безразмерная
$E_{1,4}$	10	1	± 512	безразмерная
$E_{2,3}$	10	1	± 512	безразмерная
$E_{2,4}$	10	1	± 512	безразмерная
$E_{3,4}$	10	1	± 512	безразмерная
Примечания 1 Поле IODP описано в 7.2 и Б.2. 2 Поле «PRN Mask Number» описано в 7.2.				

7.14 Сообщения типов 62 и 63. Внутреннее и пустое сообщение

7.14.1 Сообщение типа 62 является внутренним сообщением и используется для тестирования некоторых компонент системы СДКМ и пользователь его не обрабатывает. Сообщение типа 63 является пустым сообщением и передается в том случае, если нет других сообщений; пользователь его также игнорирует.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Определения основных априорных и апостериорных параметров для оценки точности НАП с учетом информации СДКМ

А.1 Для оценки точности определения положения потребителя априорно задаются следующие параметры:

- HAL (Horizontal Alert Limit) – радиус горизонтального круга с центром в точке истинного положения потребителя, обеспечивающий выполнение условия целостности: все отсчеты позиционирования в плоскости лежат в этом круге с вероятностью $1-10^{-7}$ за час ¹⁾;
- VAL (Vertical Alert Limit) – половина длины вертикального отрезка в точке истинного положения потребителя, для которого выполняется условие целостности: все отсчеты позиционирования по высоте лежат на отрезке $\{-VAL, +VAL\}$ с вероятностью $1-10^{-7}$ за час ¹⁾.

Для оценки точности НАП с учетом информации СДКМ по результатам позиционирования оцениваются следующие апостериорные параметры, именуемые уровнями защиты:

- $HPL_{СДКМ}$ (Horizontal Protection Level) – горизонтальный уровень защиты. Равен среднеквадратическому отклонению модели распределения погрешности позиционирования по горизонтали с учетом применения информации СДКМ, при доверительном интервале «6 σ » (вероятность попадания в интервал составляет более $1-10^{-7}$);
- $VPL_{СДКМ}$ (Vertical Protection Level) – вертикальный уровень защиты. Равен среднеквадратическому отклонению модели распределения погрешности позиционирования по вертикали с учетом применения информации СДКМ, при

¹⁾ Данная вероятность определяется требованиями по целостности. При этом вероятность отказа в системах GPS, ГЛОНАСС и СДКМ априорно полагается менее 10^{-4} за час.

доверительном интервале «6σ» (вероятность попадания в интервал составляет более $1-10^{-7}$).

Точность НАП с применением информации СДКМ соответствует требованиям целостности (не менее $1-10^{-7}$), если выполняются условия:

$$\begin{aligned} \text{HAL} &\geq \text{HPL}_{\text{СДКМ}}, \\ \text{VAL} &\geq \text{VPL}_{\text{СДКМ}}. \end{aligned} \tag{A.1}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Основные принципы обеспечения целостности

Б.1 Целостность навигационного поля систем ГЛОНАСС, GPS и СДКМ

Б.1.1 Мониторинг и обеспечение целостности навигационного поля ГЛОНАСС и мониторинг целостности навигационного поля GPS являются важнейшими факторами, определяющими качество позиционирования потребителя. Целостность радионавигационного поля ГНСС есть конечный продукт сложного взаимодействия большого числа разнородных факторов, которые можно свести к трем группам:

- погрешности мониторинга сигналов НКА наземной инфраструктурой ГНСС и формирования информации для закладки на борт НКА полностью определяются точностью работы инфраструктуры;
- погрешности при формировании собственно радионавигационного сигнала на борту НКА ГЛОНАСС и GPS;
- остаточной погрешности учета влияния атмосферных эффектов вдоль трассы распространения навигационного сигнала.

Для пользователей ГНСС погрешности первых двух групп неразличимы и проявляются в виде общей погрешности псевдодальномерного сигнала. Для случая с использованием информации от СДКМ, общая погрешность псевдодальномерного сигнала есть неопределенность (остаточная погрешность) псевдодальности, формируемой после применения долговременных и быстрых поправок, а также после снятия погрешности за счет атмосферных эффектов. Данная остаточная погрешность определяется как вариация центрированного нормального распределения разности измеренной псевдодальности с учетом корректирующих поправок СДКМ (нормально распределенная величина) и расчетной (геометрической) псевдодальности по каждому источнику сигнала и

обозначается как «UDRE». Для пользователей «UDRE» определяет верхнюю границу погрешности оценки псевдодальности и поэтому является критерием оценки целостности поля ГНСС.

Б.1.2 Одночастотному приемнику НАП кроме параметра UDRE для точной оценки целостности поля ГНСС дополнительно требуется параметр UIRE. UIRE есть остаточная погрешность учета пользователем влияния ионосферы по информации из карты ионосферных задержек, представленных в сигнале СДКМ. Эта карта представляет собой набор вертикальных ионосферных задержек в точках ионосферной сетки и, дополнительно, параметров GIVEI, однозначно связанных с дисперсией оценки этих задержек. На основании параметра GIVEI и своего местоположения, пользователь определяет параметр UIRE – аналог параметра GIVE, но для точки расположения потребителя, например, между точками сетки карты задержек (см. И.4.7).

Б.1.3 Существует вероятность того, что приемник СДКМ не примет очередное сообщение. Для продолжения навигации в этом случае СДКМ передает параметры деградации сообщения. Эти параметры используются в ряде математических моделей, которые описывают дополнительную остаточную погрешность от долговременных и быстрых поправок, возникающую при использовании старой, но действующей информации СДКМ. Эти модели используются для модификации вариаций UDRE и UIRE в случае необходимости.

Б.1.4 Вышеописанные параметры UDRE и UIRE используются приемником для оценки ошибки решения навигационной задачи. Ошибка решения навигационной задачи вычисляется посредством проецирования ошибок псевдодальности на область координат потребителя. Уровень защиты по горизонтали (HPL) определяет границу горизонтальной ошибки определения местоположения данного потребителя с вероятностью, полученной из требований к целостности. Подобным образом, VPL определяет границу защиты по вертикали. Если расчетное значение HPL или VPL превышает порог

срабатывания сигнализации HAL или VAL, то целостность СДКМ не достаточна для поддержания данного навигационного определения.

Б.1.5 Остаточные погрешности часов и эфемерид (σ_{UDRE}).

Остаточная погрешность часов описывается нулевым средним и нормальным распределением. Остаточная погрешность эфемерид зависит от расположения пользователя. При точной дифференциальной коррекции остаточная погрешность для любого пользователя в пределах области обслуживания отражена в σ_{UDRE} . Остаточная эфемеридная погрешность может быть определена как пренебрежимо малая.

Б.1.6 Вертикальная ионосферная ошибка (σ_{GIVE}).

Остаточная ионосферная погрешность представляется нормальным распределением с нулевым средним. Остаточная ионосферная погрешность являются функцией шума измерений, погрешностей карты ионосферы.

Б.1.7 Погрешности НАП.

Данная ошибка может быть разделена на многолучевость и вклад приемника, при этом может быть использована стандартная модель многолучевости. В частности для НАП справедливо $\sigma_{air}^2 = \sigma_{receiver}^2 + \sigma_{multipath}^2$, где $\sigma_{receiver}$ определяется, в метрах, по формуле

$$\sigma_{receiver} = \begin{cases} 0,36 \text{ для спутника GPS,} \\ 0,72 \text{ для спутника ГЛОНАСС.} \end{cases} \quad (\text{Б.1})$$

а $\sigma_{multipath}$ определяется, в метрах, как:

$$\sigma_{multipath} = 0,13 + 0,53e^{(-El / 10)}, \quad (\text{Б.2})$$

где El – угол места, °.

Б.1.8 Погрешность модели тропосферы.

Приемник использует модель для коррекции влияния тропосферы. Пользователь оценивает остаточную погрешность модели ($\sigma_{\text{тропо}}$) по формуле (Д.7), приведенной в приложении Д.

Б.2 Целостность информации СДКМ

Б.2.1 Синхронизация ЦИ в структуре сообщений, передаваемых ГСО-спутниками СДКМ

Б.2.1.1 Корректное использование в навигационной аппаратуре потребителя принятой ЦИ СДКМ заключается в выборке из принимаемого потока ЦИ полного набора сообщений для каждого рабочего КА и в надлежащем применении выбранных сообщений, которые должны относиться к одному и тому же интервалу действия информации.

Доставка сообщений СДКМ должна учитывать асинхронность передачи и приема информации. Так же последовательность передаваемой ЦИ в канале СДКМ не является постоянной и может изменяться при необходимости для того, чтобы оперативно скорректировать текущие погрешности навигационных КА. Основная задача канала СДКМ – обеспечить передачу ЦИ не реже установленных стандартом SBAS интервалов ее обновления. Потребитель же должен быть обеспечен всей необходимой информацией для идентификации и привязки принятой ЦИ, т.е. для связи принятой ЦИ с номером навигационного КА, для которого она выработана, и с моментом времени, к которому данная ЦИ относится.

Заложенные в СДКМ способы идентификации и синхронизации ЦИ также учитывают ограничения, накладываемые каналом передачи информации. Описанная здесь структура ЦИ в СДКМ обеспечивает пользователю идентификацию и синхронизацию ЦИ при следующих ограничениях канала:

- конечная пропускная способность передачи информации в стандарте SBAS. Стандарт SBAS допускает передачу информационного потока со скоростью 250 бит/с для не более чем 51 КА;

- в СДКМ допускаются расширения стандарта SBAS с сохранением преемственности для действующей НАП. Для обслуживания перспективной орбитальной группировки навигационных КА расширенного состава в условиях ограниченной пропускной способности канала потребуются «уплотнение» потока информации, для чего неактуальная ЦИ (для спутников-антиподов) из передаваемых сообщений исключается. ЦИ передается только для тех навигационных КА, которые находятся в зоне видимости для потребителей ЦИ данного спутника СДКМ – именно такие сообщения СДКМ в стандарте SBAS и необходимы потребителю. Алгоритм декодирования и применения ЦИ при этом не изменяется, что гарантирует обратную преемственность (применимость) данной версии стандарта для действующего парка НАП. Расширение стандарта SBAS заключается в необходимости перехода на динамическую модель маски, которая теперь определяет не просто перечень КА из всех навигационных систем, но именно тех КА, для которых через данный спутник СДКМ передается ЦИ (общим числом не более чем для 51 КА);

- несинхронность обновления ЦИ в канале. Прием ЦИ в канале не синхронизирован с передачей, сообщения в канале могут содержать как новую (обновленную) ЦИ, так и ЦИ из предыдущего цикла обновления. Напомним, что для потребителя ЦИ будет взаимно совместимой и корректной, только если она относится к одному циклу обновления.

Обоснованность учета этих ограничений вытекает из анализа параметров стандарта SBAS, анализа общего числа КА в системах GPS, ГЛОНАСС, Galileo, WAAS, EGNOS и СДКМ. С учетом заявленного резервирования, их будет 100 (что существенно превысит возможности канала СДКМ на основе стандарта SBAS – в канале допускается передача ЦИ всего для 51 КА), при этом общее число тех же КА в зоне радиовидимости будет не более 43. Кроме того, возможна обратная совместимость: положения настоящего документа полностью

применимы для широко распространенной существующей НАП, работающей по системам GPS и WAAS на основе предыдущей версии стандарта SBAS.

С учетом указанных ограничений канала, в СДКМ использованы следующие принципы синхронизации ЦИ (в порядке убывания приоритета, который потребители должны соблюдать при декодировании ЦИ):

- начало каждого сообщения определяет поле «Преамбула» (см. 6.1);
- состав и правила декодирования содержащегося в сообщении поля «ЦИ» определяет поле «Тип» (см. 6.1);
- контроль достоверности принятой ЦИ выполняется с использованием поля «ЦК» (см. 6.3);
- синхронизация ЦИ по различным КА выполняется одним из двух способов:

1) путем прямого указания в сообщении номера ПСП (см. 5.3) того КА, для которого предназначается данная ЦИ;

2) если отсутствует информация по вышеуказанному номеру ПСП, то определение принадлежности ЦИ к конкретному КА выполняется посредством поля «PRN Mask» (см. 7.2). Используется следующее правило: блоки ЦИ в декодируемом сообщении следуют строго в той же последовательности, в которой следуют номера единичных разрядов поля «PRN Mask». Номер разряда в поле «PRN Mask» численно равен номеру ПСП. Те КА, которые соответствуют нулевым разрядам в поле «PRN Mask», в передаваемой ЦИ не представлены, и в последовательности блоков ЦИ не учитываются. Например, 210-битовое поле «PRN Mask», равное 1001 1000 1100 0010 0000...0000, определяет в декодируемом сообщении присутствие ЦИ для КА с номерами ПСП, равными 1, 4, 5, 9, 10 и 15 и устанавливает порядок передачи сообщений в порядке возрастания номера ПСП;

- синхронизация ЦИ по времени выполняется путем выборки из массива принятой ЦИ той ЦИ, которая имеет одинаковое значение поля «Идентификатор ЦИ» (см. Б.2.2). Взаимносовместимая ЦИ имеет одинаковые значения поля

«Идентификатор ЦИ». Длина поля «Идентификатор ЦИ» (не менее двух бит) обеспечивает разделение информации по признаку «новая – старая» не менее чем для двух, следующих подряд, обновлений ЦИ.

Б.2.2 Выделение совместимой ЦИ из разных сообщений

Б.2.2.1 Стандарт SBAS не предъявляет к потребителям требований по синхронному с передачей приему информации. Поэтому за время приема потребителем сообщений в канале SBAS может произойти обновление ЦИ, принятые сообщения будут относиться к разному времени и станут несовместимыми. Для корректного применения, вся ЦИ должна быть предварительно проверена пользователем на совместимость информации. Совместимая информация имеет одно и то же значение поля «Идентификатор ЦИ». В СДКМ используются следующие идентификаторы ЦИ:

- $IODC_k$ (GPS IOD Clock) – идентификатор информации о часах спутников GPS, где k – номер спутника;
- $IODE_k$ (GPS IOD Ephemeris) – идентификатор эфемерид спутников GPS, где k – номер спутника;
- $IODG_k$ (GLONASS Data) – идентификатор информации ГЛОНАСС, указывает на часы и эфемериды спутников ГЛОНАСС, где k – номер спутника;
- $IODP$ (IOD PRN Mask) – идентификатор текущего перечня спутников, указывает на текущее поле «PRN Mask»;
- $IODF_j$ (IOD Fast Corrections_j) – идентификатор быстрых поправок, где j – тип сообщения 2–5;
- $IODI$ (IOD Ionospheric Grid Point Mask) – идентификатор информации об ионосфере, указывает на текущее поле IGP Mask;
- $IODS$ (IOD Service Message) – идентификатор информации обслуживания, указывает на текущее служебное сообщение типа 27.

Блок-схема логических связей для проверки пользователем принятых сообщений СДКМ на их совместимость приведена на рисунке Б.1.

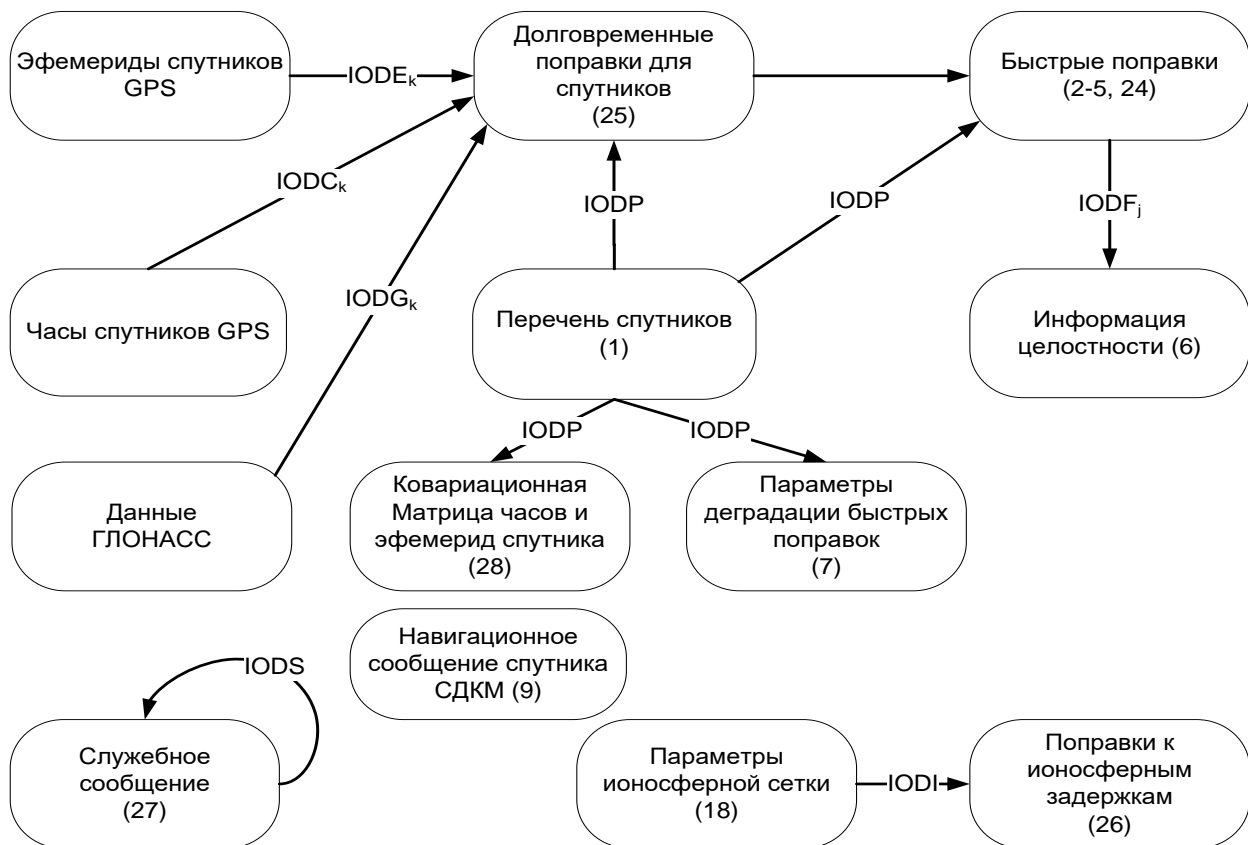


Рисунок Б.1 – Блок-схема взаимосвязи сообщений

Перед применением ЦИ, указанные на рисунке Б.1 типы сообщений должны быть проверены пользователем на совместимость с использованием указанных на рисунке идентификаторов ЦИ.

ПРИЛОЖЕНИЕ В**(обязательное)****Таблицы форматов сообщений СДКМ**

В.1 Каждое сообщение кодируется в соответствии с установленным форматом сообщений, определенным в таблицах В.1–В.19. В полях, числовые значения которых могут принимать положительные и отрицательные значения, старший разряд является знаковым, символ «0» соответствует знаку «плюс», а символ «1» – знаку «минус».

В данном приложении приведены все сообщения системы СДКМ и их формат.

Таблица В.1 – Содержимое сообщения типа 0. Тестовое сообщение

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
Резерв	212	–	–	–

Таблица В.2 – Содержимое сообщения типа 1. Перечень спутников

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
PRN Mask	210	–	–	безразмерная
IODP	2	1	0–3	безразмерная
Примечание – Все поля описаны в 7.2.				

Таблица В.3 – Содержимое сообщений типов 2–5. Быстрые поправки

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
IODF	2	1	0–3	безразмерная
IODP	2	1	0–3	безразмерная
Для 13 (12) спутников	—	—	—	—
FC	12	0,125	±256,000	м
Для 13 (12) спутников	—	—	—	—
UDREI	4	См. таблицу 20		
Примечания				
1 Поля IODF и FC описаны в 7.6.				
2 Поле IODP описано в 7.2 и Б.2.				
3 Поле UDREI описано в 7.7.				

Таблица В.4 – Содержимое сообщения типа 6. Информация целостности

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
IODF ₂	2	1	0–3	безразмерная
IODF ₃	2	1	0–3	безразмерная
IODF ₄	2	1	0–3	безразмерная
IODF ₅	2	1	0–3	безразмерная
Для 51 спутника	—	—	—	—
UDREI	4	См. таблицу 20		
Примечания				
1 Поля IODF ₂ , IODF ₃ , IODF ₄ , IODF ₅ описаны в 7.6.				
2 Поле UDREI описано в 7.7.				

Таблица В.5 – Содержимое сообщения типа 7. Параметры деградации быстрых поправок

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
t _{lat}	4	1	0–15	с
IODP	2	1	0–3	безразмерная
Резерв	2	—	—	—
Для 51 спутника	—	—	—	—
ai	4	См. таблицу В.6		
Примечания				
1 Поле IODP описано в 7.2 и Б.2.				
2 Поля t _{lat} и ai описаны в 7.10.				

Таблица В.6 – Соответствие индикатора и фактора деградации быстрых поправок

Индикатор фактора деградации быстрых поправок (ai)	Фактор деградации быстрых поправок, м/с ²
0	0,00000
1	0,00005
2	0,00009
3	0,00012
4	0,00015
5	0,00020
6	0,00030
7	0,00045
8	0,00060
9	0,00090
10	0,00150
11	0,00210
12	0,00270
13	0,00330
14	0,00460
15	0,00580

Таблица В.7 – Содержимое сообщения типа 9. Навигационное сообщение спутника СДКМ

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
Резерв	8	—	—	—
$t_{0,GEO}$	13	16	0–86 384	с
URA	4	См. таблицу В.8		
X_G	30	0,08	$\pm 42\,949\,673$	м
Y_G	30	0,08	$\pm 42\,949\,673$	м
Z_G	25	0,4	$\pm 6\,710\,886,4$	м
\dot{X}_G	17	0,000625	$\pm 40,96$	м/с
\dot{Y}_G	17	0,000625	$\pm 40,96$	м/с
\dot{Z}_G	18	0,004	$\pm 524,288$	м/с
\ddot{X}_G	10	0,0000125	$\pm 0,0064$	м/с ²
\ddot{Y}_G	10	0,0000125	$\pm 0,0064$	м/с ²
\ddot{Z}_G	10	0,0000625	$\pm 0,032$	м/с ²
a_{GF0}	12	2^{-31}	$\pm 0,9537 \times 10^{-6}$	с
a_{GF1}	8	2^{-40}	$\pm 1,1642 \times 10^{-10}$	с/с
Примечание – Все поля определены в 7.3.				

Таблица В.8 – Точность измерения псевдодальности потребителем

URA	Точность (с.к.о.), м
0	2
1	2,8
2	4
3	5,7
4	8
5	11,3
6	16
7	32
8	64
9	128
10	256
11	512
12	1 024
13	2 048
14	4 096
15	«Не использовать»

Таблица В.9 – Содержимое сообщения типа 10. Параметры деградации

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
B _{rrc}	10	0,002	0–2,046	м
C _{ltc_lsb}	10	0,002	0–2,046	м
C _{ltc_vl}	10	0,00005	0–0,05115	м/с
I _{ltc_vl}	9	1	0–511	с
C _{ltc_v0}	10	0,002	0–2,046	м
I _{ltc_v0}	9	1	0–511	с
C _{geo_lsb}	10	0,0005	0–0,5115	м
C _{geo_v}	10	0,00005	0–0,05115	м/с
I _{geo}	9	1	0–511	с
C _{er}	6	0,5	0–31,5	м
C _{iono_step}	10	0,001	0–1,023	м
I _{iono}	9	1	0–511	с
C _{iono ramp}	10	0,000005	0–0,005115	м/с
RSS _{UDRE}	1	1	0, 1	безразмерная
RSS _{iono}	1	1	0, 1	безразмерная
C _{covariance}	7	0,1	0–12,7	безразмерная
Резерв	81	—	—	—
Примечание – Все поля определены в 7.10.				

Таблица В.10 – Содержимое сообщения типа 12. Параметры смещения сетевого времени СДКМ и UTC

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
A _{1SNT}	24	2 ⁻⁵⁰	$\pm 7,45 \times 10^{-9}$	с/с
A _{0SNT}	32	2 ⁻³⁰	± 1	с
t _{0t}	8	4 096	0–602 112	с
WN _t	8	1	0–255	неделя
Δt_{LS}	8	1	± 128	с
WN _{LSF}	8	1	0–255	неделя
DN	8	1	1–7	сут
Δt_{LSF}	8	1	± 128	с
I _{UTC}	3	1	BIPM, NIST, USNO	безразмерная
TOW	20	1	0–604 799	с
WN	10	1	0–1 023	неделя
I _{GLO}	1	1	0, 1	безразмерная
$\delta a_{GLONASS}$	24	2 ⁻³¹	$\pm 2,0 \times 10^{-8}$	с
Резерв	50	—	—	—
Примечание – Все поля определены в 7.11.				

Таблица В.11 – Содержимое сообщения типа 17. Альманах спутников СДКМ

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
Для трех спутников	–	–	–	–
Резерв	2	–	–	–
Номер ПСП	8	1	0–210	безразмерная
Состояние	8	–	–	безразмерная
Резерв	49	–	–	–
Резерв	11	–	–	–
Примечание – Все параметры определены в 7.4.				

Таблица В.12 – Сообщение типа 18. Параметры ионосферной сетки

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
Количество диапазонов	4	1	0–11	безразмерная
Номер диапазона	4	1	0–10	безразмерная
IODI	2	1	0–3	безразмерная
IGP Mask	201	–	–	безразмерная
Резерв	1	–	–	–
Примечание – Все поля определены в 7.8.				

Таблица В.13 – Содержимое сообщения типа 24. Смешанные поправки для спутников

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
Для шести спутников	—	—	—	—
FC	12	0,125	±256,000	м
Для шести спутников	—	—	—	—
UDREI	4	См. таблицу 20		
IODP	2	1	0–3	безразмерная
IODF	2	1	0–3	безразмерная
Идентификатор блока	2	1	0–3	безразмерная
Резерв	4	—	—	—
Половина сообщения типа 25	106	—	—	—
Примечания 1 Поле FC описано в 7.6. 2 Поле UDREI описано в 7.7. 3 Поле IODP описано в 7.2 и Б.2. 4 Поле IODF описано в 7.6 и Б.2.				

Таблица В.14 – Содержимое половины сообщения типа 25 для
«Код скорости» = 0. Долговременные поправки для спутников

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
Код скорости	1	1	0	безразмерная
Для двух спутников	—	—	—	—
PRN Mask Number	6	1	0–51	безразмерная
IOD	8	1	0–255	безразмерная
δx	9	0,125	± 32	м
δy	9	0,125	± 32	м
δz	9	0,125	± 32	м
δa_{f0}	10	2^{-31}	$\pm 2^{-22}$	с
IODP	2	1	0–3	безразмерная
Резерв	1	—	—	—
Примечания 1 Поле IODP описано в 7.2 и Б.2. 2 Поле «PRN Mask Number» описано в 7.2. 3 Все прочие поля описаны в 7.5.				

Таблица В.15 – Содержимое половины сообщения типа 25 для
Код скорости = 1. Долговременные поправки для спутников

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
Код скорости	1	1	1	безразмерная
PRN Mask Number	6	1	0–51	безразмерная
IOD	8	1	0–255	безразмерная
δx	11	0,125	± 128	м
δy	11	0,125	± 128	м
δz	11	0,125	± 128	м
δa_{f0}	11	2^{-31}	$\pm 2^{-21}$	с
$\delta \dot{x}$	8	2^{-11}	$\pm 0,0625$	м/с
$\delta \dot{y}$	8	2^{-11}	$\pm 0,0625$	м/с
$\delta \dot{z}$	8	2^{-11}	$\pm 0,0625$	м/с
δa_{f1}	8	2^{-39}	$\pm 2^{-32}$	с/с
t_0	13	16	0–86 384	с
IODP	2	1	0–3	безразмерная
Примечания 1 Поля «PRN Mask» и IODP описаны в 7.2 и Б.2. 2 Поле «PRN Mask Number» описано в 7.2. 3 Все прочие поля описаны в 7.5.				

Таблица В.16 – Содержимое сообщения типа 26. Поправки к ионосферным задержкам

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
Номер диапазона	4	1	0–10	–
Идентификатор блока	4	1	0–13	–
Для 15 точек ионосферной сетки	–	–	–	–
Вертикальная задержка	9	0,125	0–63,875	м
GIVEI	4	См. таблицу 24		
IODI	2	1	0–3	безразмерная
Резерв	7	–	–	–
Примечания 1 Поле IODI описано в 7.8 и Б.2. 2 Все прочие поля описаны в 7.9.				

Таблица В.17 – Содержимое сообщения типа 27. Служебное сообщение

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
IODS	3	1	0–7	безразмерная
Количество служебных сообщений	3	1	1–8	безразмерная
Номер служебного сообщения	3	1	1–8	безразмерная
Количество регионов	3	1	0–5	безразмерная
Код приоритета	2	1	0–3	безразмерная
Индикатор $\delta UDRE$ внутренний	4	1	0–15	безразмерная
Индикатор $\delta UDRE$ внешний	4	1	0–15	безразмерная
Для пяти регионов	–	–	–	–
Координата 1 широта	8	1	± 90	1°
Координата 1 долгота	9	1	± 180	1°
Координата 2 широта	8	1	± 90	1°
Координата 2 долгота	9	1	± 180	1°
Форма региона	1	1	0, 1	безразмерная
Резерв	15	–	–	–
Примечание – Все параметры описаны в 7.12.				

Таблица В.18 – Содержимое сообщения типа 63. Пустое сообщение

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
Резерв	212	–	–	–

Таблица В.19 – Содержимое сообщения типа 28. Ковариационная матрица часов и эфемерид спутника

Поле	Число разрядов	Цена младшего разряда	Диапазон значений	Единица измерения
IODP	2	1	0–3	безразмерная
Для двух спутников	–	–	–	–
PRN Mask Number	6	1	0–51	безразмерная
Масштаб экспоненты	3	1	0–7	безразмерная
$E_{1,1}$	9	1	0–511	безразмерная
$E_{2,2}$	9	1	0–511	безразмерная
$E_{3,3}$	9	1	0–511	безразмерная
$E_{4,4}$	9	1	0–511	безразмерная
$E_{1,2}$	10	1	± 512	безразмерная
$E_{1,3}$	10	1	± 512	безразмерная
$E_{1,4}$	10	1	± 512	безразмерная
$E_{2,3}$	10	1	± 512	безразмерная
$E_{2,4}$	10	1	± 512	безразмерная
$E_{3,4}$	10	1	± 512	безразмерная
Примечания 1 Поле IODP описано в 7.2 и Б.2. 2 Поле «PRN Mask Number» описано в 7.2. 3 Все другие поля описаны в 7.13.				

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(обязательное)

Рекомендации по применению информации СДКМ в навигационном алгоритме систем ГЛОНАСС, GPS и СДКМ

Г.1 Общие положения

Г.1.1 Требуемая информация и интервалы передачи.

СДКМ передает информацию, необходимую для поддерживаемых ею функций, как показано в таблице Г.1. Максимальные интервалы передачи информации посредством сообщений каждого типа определяются в таблице Г.1.

Таблица Г.1 – Интервалы передачи информации и обеспечиваемые функции

Информация	Максимальный интервал передачи, с	Состояние ГСО-спутников СДКМ	Состояние спутников ГНСС	Стандартные дифференциальные поправки	Точные дифференциальные поправки	Соответствующие типы сообщений
Ковариационная матрица часов и эфемерид спутника	120	—	—	—	—	28
Тестовое сообщение	6	—	—	—	—	0
PRN Mask	120	—	R	R	R	1
UDREI	6	—	R*	R	R	2–6, 24
Быстрые поправки	60	—	R*	R	R	2–5, 24
Долговременные поправки	120	—	R*	R	R	24, 25
Навигационное сообщение спутника СДКМ	120	R	—	—	—	9

Продолжение таблицы Г.1

Информация	Максимальный интервал передачи, с	Состояние ГСО-спутников СДКМ	Состояние спутников ГНСС	Стандартные дифференциальные поправки	Точные дифференциальные поправки	Соответствующие типы сообщений
Параметры деградации быстрых поправок	120	—	R*	R	R	7
Параметры деградации	120	—	—	—	R	10
Параметры ионосферной сетки	300	—	—	—	R	18
Поправки к ионосферным задержкам	300	—	—	—	R	26
Параметры смещения сетевого времени СДКМ и UTC	300	—	R	R	R	12
Альманах спутников СДКМ	300	—	R	R	R	17
Служебное сообщение	300	—	—	—	—	27
<p>Примечания</p> <p>1 «R» обозначает, что данная информация передается для обеспечения данной функции.</p> <p>2 «R*» обозначает кодирование согласно Г.2.4.</p> <p>3 Сообщения типа 12 требуются только в том случае, если информация СДКМ предоставляется и для спутников ГЛОНАСС, помимо спутников GPS.</p>						

Г.1.2 Тестовое сообщение.

СДКМ передает тестовое сообщение (тип 0) при необходимости информировать потребителей о том, что не следует использовать передаваемую СДКМ информацию.

Г.1.3 Альманах.

СДКМ передает альманах спутников СДКМ (см. 7.4), в котором координаты спутников даны с погрешностью менее 150 км. В неиспользуемых ячейках альманаха в сообщении типа 17 указывается поле «Номер ПСП» = 0. Поле «Состояние» (см. таблицу 12) указывает состояние спутника системы функционального дополнения.

Г.2 Состояние спутников ГНСС

Г.2.1 СДКМ предоставляет информацию о состоянии спутника в соответствии с требованиями, содержащимися в данном разделе.

Г.2.2 Характеристики функций состояния спутников.

При любом достоверном сочетании действующей информации вероятность горизонтальной погрешности, превышающей значение границы защиты по горизонтали $HPL_{\text{СДКМ}}$ (как определено в приложении И) в течение более 8 с, не превышает 10^{-7} за любой час, в предположении, что потребитель имеет нулевое запаздывание. Подобным образом, $VPL_{\text{СДКМ}}$ определяет границу защиты по вертикали.

Примечание – Под действующей информацией понимается информация, срок действия которой не истек в соответствии с таблицей Г.1.

Г.2.3 Поля «PRN Mask» и IODP.

СДКМ передает поля «PRN Mask» и IODP (сообщение типа 1). Значения поля «PRN Mask» указывают, предоставляется или нет информация по каждому из спутников ГНСС. Поле IODP меняется при изменении поля «PRN Mask». Изменение поля IODP в сообщении типа 1 происходит до изменений IODP в любом другом сообщении. Поле IODP в сообщениях типа 2-5, 7, 24 и 25 устанавливается таким же, как поле IODP, передаваемое в сообщении типа 1 для поля «PRN Mask», используемом для указания спутников, по которым в данном сообщении предоставляется информация.

При изменении поля «PRN Mask» СДКМ повторяет сообщение типа 1 несколько раз, перед тем как передать в другие сообщения, с тем, чтобы гарантировать, что потребители получили новое поле «PRN Mask».

Г.2.4 Информация целостности.

Если СДКМ не обеспечивает необходимую точность дифференциальной коррекции по отдельному НКА и при этом ошибка псевдодалности по нему превышает 150 м, то СДКМ устанавливает для данного спутника признак «Не использовать» (URDEI = 15).

Если СДКМ не обеспечивает необходимую точность дифференциальной коррекции по отдельному НКА и при этом ошибка псевдодалности по нему не может быть определена, то СДКМ устанавливает для данного спутника признак «Нет мониторинга» (URDEI = 14).

Если СДКМ не обеспечивает необходимую точность дифференциальной коррекции по отдельному НКА и этому спутнику не присвоены признаки «Не использовать» или «Нет мониторинга», то СДКМ передает для данного спутника URDEI = 13.

Если целостность для спутника нарушена, то соответствующее ему поле IODF в сообщениях типа 2–5, 6 или 24 устанавливается равным 3 (см. 7.7).

Г.3 Дифференциальная коррекция

Г.3.1 СДКМ обеспечивает стандартную и точную дифференциальную коррекцию, согласно требованиям, содержащимся в данном подразделе.

Г.3.2 Характеристики стандартной дифференциальной коррекции.

При появлении погрешностей в ГНСС и любом достоверном сочетании информации СДКМ, в предположении, что потребитель имеет нулевое запаздывание, применение информации СДКМ обеспечивает вероятность превышения допустимых пороговых значений погрешности местоопределения менее 10^{-7} за любой час после срабатывания сигнализации СДКМ (менее 8 с). Превышение допустимого порога определяется как превышение горизонтальной

погрешностью величины $HPL_{\text{СДКМ}}$ (как определено в приложении И). При обнаружении выхода за допустимый порог трижды повторяется итоговое сообщение сигнализации (передается в сообщении типа 6). Итого, уведомление о срабатывании сигнализации СДКМ повторяется общим числом четыре раза в течение 4 с.

Примечания

1 Действующей считается информация, срок действия которой не истек в соответствии с таблицей Г.1. Это требование включает отказы систем ГЛОНАСС, GPS и СДКМ.

2 Последовательные сообщения могут передаваться с обычной частотой обновления.

Г.3.3 Характеристики точной дифференциальной коррекции.

При любом достоверном сочетании действующей информации и в предположении, что потребитель имеет нулевое запаздывание, вероятность превышения допустимых пороговых значений в течение промежутка времени большего, чем соответствующий интервал времени до срабатывания сигнализации, при любой операции захода на посадку составляет менее $2 \cdot 10^{-7}$. Интервал времени до срабатывания сигнализации составляет 5,2 с в случае СДКМ, которая обеспечивает точные заходы на посадку или операции APV-II, и 8 с в случае СДКМ, которая обеспечивает операции APV-I. Превышение допустимого порога определяется как превышение горизонтальной погрешностью величины $HPL_{\text{СДКМ}}$ или вертикальной погрешностью – величины $VPL_{\text{СДКМ}}$ (как определено в приложении И). При обнаружении выхода за допустимый порог трижды повторяется итоговое сообщение сигнализации (передается в сообщениях типа 2–5 и 6, 24, 26 или 27) после начального уведомления о пороге срабатывания сигнализации общим числом четыре раза в течение 4 с.

Г.3.4 Долговременные поправки.

СДКМ определяет и передает долговременные поправки для каждого видимого спутника ГНСС ¹⁾, указанного в поле «PRN Mask», за исключением ГСО-спутников СДКМ. Для каждого спутника ГЛОНАСС система СДКМ до определения долговременных поправок преобразует координаты спутников в систему WGS-84, как указано в И.2.4. Для каждого спутника GPS передаваемое системой СДКМ поле IOD совпадает одновременно с полем GPS IODE и восьмью младшими разрядами поля IODC, которые соответствуют информации об эфемеридах и времени, используемой для расчета поправок (см. 7.5). При передаче спутником GPS новых эфемерид, СДКМ продолжает использовать старые эфемериды для определения долговременных и быстрых поправок в течение, по крайней мере, 2 мин, но не более 4 мин. Для каждого спутника ГЛОНАСС система СДКМ рассчитывает и передает поле IOD, которое включают в себя время запаздывания и действия, как указано в 7.5.2.

Г.3.5 Быстрые поправки.

СДКМ определяет быстрые поправки для каждого видимого спутника ГНСС, обозначенного в поле «PRN Mask». Если IODF $\neq 3$, то каждый раз, при изменении любых быстрых поправок в сообщениях типа 2-5, поле IODF меняется в последовательности: «0, 1, 2, 0, ...».

Примечание – В случае аномального функционирования поле IODF может быть равным 3 (см. 7.6).

Г.3.6 Информация о времени.

Если передаются параметры времени UTC, то они определяются, как показано в таблице 28 (сообщение типа 12).

Если информация предоставляется для ГЛОНАСС, то система СДКМ передает параметры смещения сетевого времени СДКМ и UTC (сообщение типа 12), включая смещение шкалы времени ГЛОНАСС, как описано в 7.11.

¹⁾ Видимость спутников определяется на основе координат опорных станций и маски углов закрытия (5°).

Г.3.7 Информация целостности.

Для каждого спутника, по которому обеспечиваются поправки, система СДКМ передает информацию о целостности (поля UDREI и, дополнительно, параметры сообщений типа 27 или 28 для расчета $\delta UDRE$) таким образом, чтобы выполнялись требования по целостности, содержащиеся в приложении Б. Если быстрые или долговременные поправки выходят за пределы своих диапазонов кодирования, то СДКМ устанавливает для данного спутника признак «Не использовать» ($UDREI = 15$). Если параметр σ^2_{UDRE} не определяется, то СДКМ устанавливает для данного спутника признак «Нет мониторинга» ($UDREI = 14$).

Если для передачи параметра σ^2_{UDRE} используется сообщение типа 6, то поле $IODF_j$ совпадает с полем $IODF_j$ для быстрых поправок, принятых в сообщении типа j , для которых применяется σ^2_{UDRE} ; или поле $IODF_j$ равно 3, если σ^2_{UDRE} применяется ко всем достоверным быстрым поправкам, принятым в сообщении типа j , срок действия которых не истек.

Г.3.8 Маска ионосферной сетки.

СДКМ передает поля IGP Mask и IODI (до 11 сообщений типа 18, соответствующих 11 диапазонам ионосферной сетки). Значения IGP Mask показывают, предоставляется ли информация по каждой точке ионосферной сетки. Если используется 9-й диапазон ионосферной сетки, то значения IGP Mask для точек ионосферной сетки севернее $55^\circ N$ в диапазонах 0–8 устанавливаются в «0». Если используется 10-й диапазон ионосферной сетки, то значения IGP Mask для точек ионосферной сетки южнее $55^\circ S$ в диапазонах 0–8 устанавливаются в «0». Признак IODI изменяется при изменении значений IGP Mask в k -ом диапазоне. Новое значение IGP Mask передается в сообщении типа 18 до того, как на нее появится ссылка в соответствующем сообщении типа 26. Признак IODI в сообщении типа 26 равняется признаку IODI, передаваемому в сообщении для IGP Mask (сообщение типа 18), которое используется для обозначения точек ионосферной сетки, по которым в данном сообщении передается информация.

Г.3.9 Ионосферные поправки.

СДКМ передает ионосферные поправки для точек ионосферной сетки, задаваемых полем IGP Mask.

Г.3.10 Целостность информации об ионосфере.

Для каждой точки ионосферной сетки, которая обеспечивается ионосферными поправками, СДКМ передает поля GIVEI таким образом, чтобы удовлетворялись требования по целостности, приведенные в приложении Б. Если ионосферная поправка или параметр σ^2_{GIVE} превышают диапазон кодирования, то система СДКМ указывает, что для данной точки ионосферной сетки информация недостоверна. Если параметр σ^2_{GIVE} не может быть определен, то СДКМ для данной точки ионосферной сетки устанавливает признак «Нет мониторинга» (GIVEI = 15).

Г.3.11 Параметры деградации.

Система СДКМ передает параметры деградации (сообщения типа 7 и 10) таким образом, чтобы удовлетворялись требования по целостности, приведенные в приложении Б.

Г.4 Дополнительные функции

Г.4.1 Индикация обслуживания.

В случае передачи информации об обслуживании они определяются, как показано в таблице 30 (сообщение типа 27), а сообщения типа 28 не передаются. Значение поля IODS во всех сообщениях типа 27 увеличивается на единицу после изменения любого вида информации в сообщении типа 27.

Г.4.2 Ковариационная матрица ошибок ЭВИ.

В случае передачи ковариационной матрицы ошибок ЭВИ, она передается для каждого контролируемого спутника, как определено в таблице 32 (сообщение типа 28), а сообщения типа 27 не передаются.

Г.5 Мониторинг

Г.5.1 Мониторинг информации.

Г.5.1.1 Система СДКМ осуществляет мониторинг спутникового сигнала для обнаружения условий, которые могут привести к неправильному функционированию дифференциальной обработки в НАП, используя характеристики слежения.

Г.5.1.2 Система СДКМ осуществляет мониторинг всей действующей информации ГНСС, которая может быть использована любым потребителем в зоне обслуживания.

Г.5.1.3 Система СДКМ выдает предупреждение не позднее 6 с путем передачи сообщения типа 6, если любое сочетание действующей информации и сигналов в пространстве, излучаемых ГНСС, вышло за пределы установленных допусков.

Примечание – Мониторинг охватывает все случаи отказов, включая отказы орбитальных систем ГЛОНАСС и GPS или спутников СДКМ.

Г.5.2 Устойчивость к отказам основной орбитальной системы (систем). При возникновении аномалий на спутнике основной орбитальной системы (систем) система СДКМ продолжает нормальную работу, используя доступные отслеживаемые сигналы исправных спутников.

Г.6 Рекомендуемые характеристики приемника

Г.6.1 Предварительные замечания

Г.6.1.1 Требования данного раздела являются необязательными для оборудования, включающего дополнительные навигационные датчики (например, для приемника, комплексированного с инерциальными датчиками).

Г.6.1.2 ГНСС приемник, способный работать по сигналам СДКМ.

Если не определено специально, то приемник ГНСС, способный принимать сигналы СДКМ, совместно обрабатывает сигналы СДКМ, а также

сигналы ГЛОНАСС и GPS. Измерения псевдодалности по каждому спутнику сглаживаются с использованием измерений по несущей и сглаживающего фильтра, имеющего отклонения после инициализации менее чем 0,1 м за 200 с относительно устойчивого состояния отклика фильтра при наличии дрейфа между фазой кода и интегрированной фазой несущей до 0,01 м/с.

Г.6.2 Условия использования информации

Г.6.2.1 Прием с ГСО-спутника СДКМ сообщения типа 0 приводит к прекращению использования информации этого спутника в критически важных приложениях в течение по крайней мере 1 мин. Для спутников GPS приемник применяет долговременные поправки только в тех случаях, если поле IOD совпадает с полем IODE и 8 младшими разрядами поля IODC. Для спутников ГЛОНАСС потребитель может использовать долговременные поправки только, если время t_r получения им последних эфемерид ГЛОНАСС и время t_{LT} получения потребителем долговременной поправки удовлетворяют соотношению

$$t_{LT} - L - V \leq t_r \leq t_{LT} - L. \quad (\text{Г.1})$$

Описание параметров V и L приведено в таблице 17.

Примечание – Данное требование не подразумевает, что приемник прекращает отслеживание спутника СДКМ.

Г.6.2.2 Приемник использует ИЦ или КИ, только если поле IODP для этой информации совпадает с полем IODP, связанным с текущим полем «PRN Mask».

Г.6.2.3 Приемник использует информацию об ионосфере, предоставляемые СДКМ (вертикальную задержку и GIVEI), только если признак IODI, связанный с этой информацией в сообщении типа 26, совпадает с признаком IODI, связанным с соответствующим значением поля IGP Mask, передаваемым в сообщении типа 18.

Г.6.2.4 Приемник использует самую последнюю принятую информацию о целостности, для которой поле IODF равно 3 или совпадает с полем IODF, связанным с применяемыми быстрыми поправками (если таковые передаются).

Г.6.2.5 Приемник применяет любую региональную деградацию к параметрам σ^2_{UDRE} , как определено служебным сообщением типа 27. Если сообщение типа 27 с новым полем IODS показывает более высокий индикатор $\delta UDRE$ для местоположения пользователя, то этот более высокий $\delta UDRE$ должен быть применен незамедлительно. Более низкий $\delta UDRE$ в новом сообщении типа 27 не используется до тех пор, пока не будет принят полный набор сообщения с новым полем IODS.

Г.6.2.6 Приемник применяет спутниковую деградацию к параметрам σ^2_{UDRE} , как определено сообщением типа 28 о ковариационной матрице времени и эфемерид. Параметр $\delta UDRE$, полученный из сообщения типа 28, применяется незамедлительно.

Г.6.2.7 Для спутников GPS приемник применяет долговременные поправки, только если поле IOD совпадает с полем IODE и 8 младшими разрядами поля IODC.

Г.6.2.8 Приемник не использует передаваемый параметр, если его срок действия истек. Интервалы действия информации приведены в таблице Г.2.

Таблица Г.2 – Интервалы действия информации

Информация	Соответствующие типы сообщений	Интервал действия, с
Ковариационная матрица часов и эфемерид спутника	28	360
Тестовое сообщение	0	—
PRN Mask	1	600
UDREI	2–6, 24	18
Быстрые поправки	2–5, 24	См. таблицу Г.3
Долговременные поправки	24, 25	360
Параметры деградации быстрых поправок	7	360
Параметры деградации	10	360
IGP Mask	18	1 200
Ионосферные поправки, GIVEI	26	600
Время	12	86 400
Сдвиг времени ГЛОНАСС	12	600
Альманах спутников СДКМ	17	—
Уровень обслуживания	27	86 400
Примечание – Интервалы действия отсчитываются от момента окончания приема сообщения.		

Г.6.2.9 Приемник не использует быструю поправку, если $\Delta t = t_{0f} - t_{0f_previous}$ для соответствующей поправки к скорости изменения псевдодальности (RRC) превышает интервал действия для быстрых поправок I_{fc} , приведенный в таблице Г.3, или если возраст RRC превышает $8\Delta t$.

Г.6.2.10 Если для данного спутника был принят признак «Не использовать» ($UDREI = 15$) или «Нет мониторинга» ($UDREI = 14$), и затем принимается действующая поправка, то вычисление RRC должно возобновиться. Вычисление RRC необходимо даже в случае одинаковых $IODEf_j$.

Г.6.2.11 Приемник использует только спутники, угол места которых не менее 5° .

Г.6.2.12 Приемник использует сигналы данного спутника, если принятое значение поля UDREI менее 12.

Примечание – Хотя спутники со значением UDREI больше либо равным 12 не считаются неисправными, их нельзя использовать для режимов захода на посадку LNAV/VNAV, LP and LPV.

Таблица Г.3 – Определение интервала действия быстрых поправок

Индикатор фактора деградации быстрых поправок (a_i)	Интервал действия быстрых поправок I_{fc} для режима неточного захода на посадку (NPA), с	Интервал действия быстрых поправок I_{fc} для режима точного захода на посадку (PA), с
0	180	120
1	180	120
2	153	102
3	135	90
4	135	90
5	117	78
6	99	66
7	81	54
8	63	42
9	45	30
10	45	30
11	27	18
12	27	18
13	27	18
14	18	12
15	18	12

Г.6.2.13 Состояние спутников СДКМ.

Г.6.2.13.1 Определение состояния ГСО-спутника. Приемник декодирует сообщение типа 17 и определяет состояние ГСО-спутника СДКМ.

Г.6.2.13.2 Идентификация спутников СДКМ. Приемник опознает спутники СДКМ.

Г.6.2.13.3 Состояние спутников ГНСС. Приемник исключает спутники из решения навигационной задачи, если они помечены СДКМ признаком «Не использовать» ($UDREI = 15$). Если используется предоставляемая СДКМ информация о целостности, то приемнику не требуется исключать спутники GPS на основании предоставляемого системой GPS признака неисправности или спутники ГЛОНАСС на основании предоставляемого системой ГЛОНАСС признака неисправности.

Примечания

1 В случае если спутник помечен как неисправный признаком неисправности системы ГЛОНАСС или GPS, система СДКМ может формировать поправки к времени и эфемеридам, которые позволят потребителю использовать этот спутник.

2 Если спутник, помеченный СДКМ признаком «Нет мониторинга» ($UDREI = 14$), используется в решении навигационной задачи, то СДКМ не предоставляет информацию о целостности.

Г.6.2.14 Реализуемые в приемнике дифференциальные функции.

Г.6.2.14.1 Точность измерения псевдодальности основной орбитальной системы (систем). Среднеквадратическое значение (1σ) полного вклада бортовой погрешности в погрешность скорректированной псевдодальности для спутника GPS при минимальной мощности принимаемого сигнала и при наихудшей помеховой обстановке не превышает 0,4 м, без учета эффектов многолучевости, тропосферных и ионосферных остаточных погрешностей. Среднеквадратическое значение (1σ) полного вклада бортовых погрешностей в погрешность скорректированной псевдодальности для спутника ГЛОНАСС при минимальной мощности принимаемого сигнала и при наихудшей помеховой

обстановке, не превышает 0,8 м, без учета эффектов многолучевости, тропосферных и ионосферных остаточных погрешностей.

Г.6.2.14.2 Приемник рассчитывает и применяет долговременные поправки, быстрые поправки, поправки к скорости изменения псевдодальности и применяет передаваемые ионосферные поправки. Для спутников ГЛОНАСС ионосферные погрешности, полученные от СДКМ, умножаются на квадрат отношения частот ГЛОНАСС и GPS ($f_{\text{ГЛОНАСС}}/f_{\text{GPS}}$)².

Г.6.2.14.3 Приемник применяет для решения навигационной задачи метод наименьших квадратов.

Г.6.2.14.4 Приемник применяет тропосферную модель, остаточная погрешность которой имеет среднее значение (μ) менее 0,15 м и среднеквадратическое отклонение (1σ) менее 0,07 м. Рекомендации по вычислению тропосферной задержки приведены в приложении Д.

Г.6.2.14.5 Приемник рассчитывает и применяет уровни защиты по горизонтали и по вертикали, как определено в И.4. При данном вычислении параметр $\sigma_{\text{тропо}}$, в метрах, определяется по формуле

$$\sigma_{\text{тропо}} = \frac{1,001}{\sqrt{0,002001 + \sin^2(\theta_i)}} \cdot 0,12, \quad (\text{Г.2})$$

где θ_i – угол места i -го спутника.

Кроме того, параметр σ_{air} удовлетворяет условию нормального распределения с нулевым средним, а среднеквадратическое отклонение, равное σ_{air} , ограничивает ошибку распределения для остаточных погрешностей псевдодальности в НАП следующим образом:

$$\int_y^\infty f_n(x) dx \leq Q\left(\frac{y}{\sigma}\right) \text{ для всех } \frac{y}{\sigma} \geq 0, \quad (\text{Г.3})$$

$$\int_{-\infty}^{-y} f_n(x) dx \leq Q\left(\frac{y}{\sigma}\right) \text{ для всех } \frac{y}{\sigma} \geq 0, \quad (\Gamma.4)$$

где $f_n(x)$ – функция плотности вероятности остаточной погрешности псевдодальности;

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

Примечание – Стандартное затухание многолучевости для НАП может быть использовано для ограничения ошибки от многолучевости.

Г.6.2.15 Помеха в виде гармонического колебания (CW)

Г.6.2.15.1 Приемники диапазона L1 GPS

Приемники радиосигналов диапазона L1 GPS соответствуют требуемым характеристикам в присутствии мешающих сигналов в виде гармонического колебания, уровень мощности которых на антенном входе равен пороговым значениям помехи, указанным в таблице Г.4 и представленным на рисунке Г.1, а уровень полезного сигнала на антенном входе равен минус 164,5 дБВт.

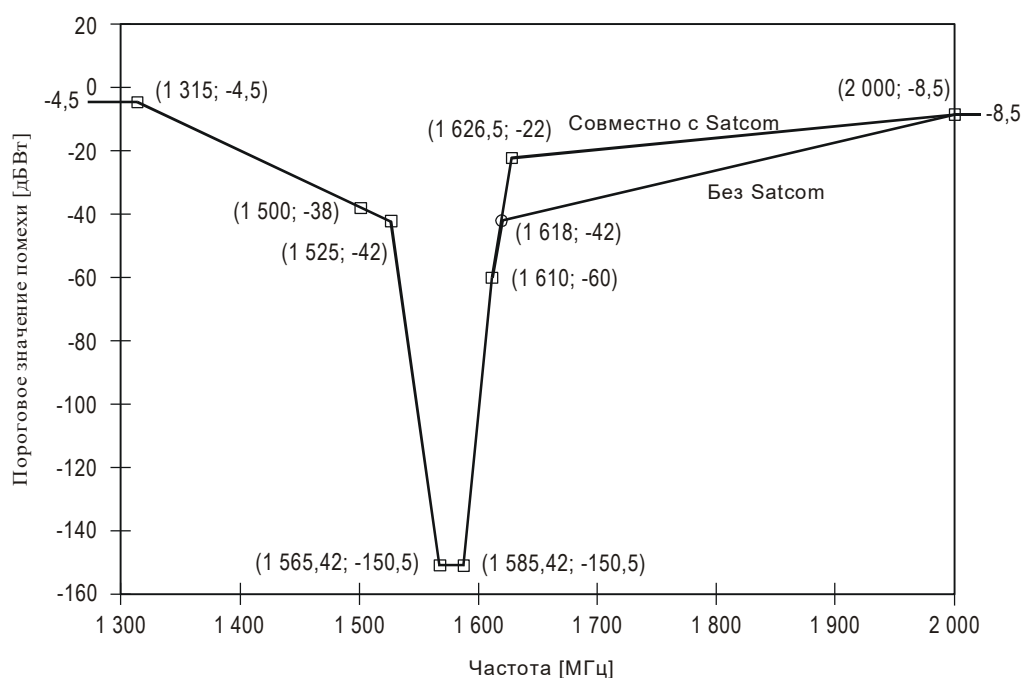


Рисунок Г.1 – Пороговые значения помехи в виде гармонического колебания (CW) для приемников диапазона L1 GPS

Г.6.2.15.2 Приемники диапазона L1 ГЛОНАСС

Приемники радиосигналов диапазона L1 ГЛОНАСС соответствуют требуемым характеристикам в присутствии мешающих сигналов в виде гармонического колебания, уровень мощности которых на антенном входе равен пороговым значениям помехи, указанным в таблице Г.5 и представленным на рисунке Г.2, а уровень полезного сигнала на антенном входе равен минус 165,5 дБВт.

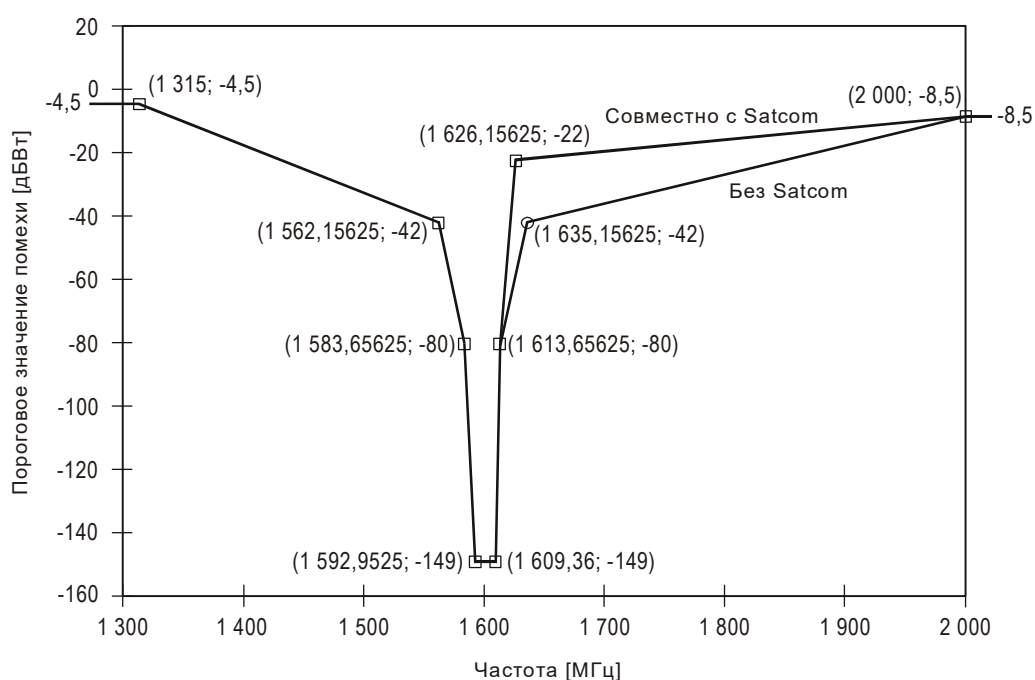


Рисунок Г.2 – Пороговые значения помехи в виде гармонического колебания (CW) для приемников диапазона L1 ГЛОНАСС

Таблица Г.4 – Пороговые значения помехи в виде гармонического колебания (CW) для приемников диапазона L1 GPS

Значения частот мешающего сигнала f_i , МГц	Пороговые значения помехи для приемников, дБВт
$f_i \leq 1315$	–4,5
$1315 < f_i \leq 1525$	Линейно уменьшается от –4,5 до –42
$1525 < f_i \leq 1565,42$	Линейно уменьшается от –42 до –150,5
$1565,42 < f_i \leq 1585,42$	–150,5
$1585,42 < f_i \leq 1610$	Линейно увеличивается от –150,5 до –60
$1610 < f_i \leq 1618$	Линейно увеличивается от –60 до –42
$1618 < f_i \leq 2000$	Линейно увеличивается от –42 до –8,5
$1610 < f_i \leq 1626,5$	Линейно увеличивается от –60 до –22
$1626,5 < f_i \leq 2000$	Линейно увеличивается от –22 до –8,5
$f_i > 2000$	–8,5

Таблица Г.5 – Пороговые значения помехи для приемников диапазона L1 ГЛОНАСС

Значения частот мешающего сигнала f_i , МГц)	Пороговые значения помехи для приемников, дБВт
$f_i \leq 1315$	–4,5
$1315 < f_i \leq 1562,15625$	Линейно уменьшается от –4,5 до –42
$1562,15625 < f_i \leq 1583,6525$	Линейно уменьшается от –42 до –80
$1583,6525 < f_i \leq 1592,9525$	Линейно уменьшается от –80 до –149
$1592,9525 < f_i \leq 1609,36$	–149
$1609,36 < f_i \leq 1613,65625$	Линейно увеличивается от –149 до –80
$1613,65625 < f_i \leq 1635,15625$	Линейно увеличивается от –80 до –42
$1613,65625 < f_i \leq 1626,15625$	Линейно увеличивается от –80 до –22
$1635,15625 < f_i \leq 2000$	Линейно увеличивается от –42 до –8,5
$1626,15625 < f_i \leq 2000$	Линейно увеличивается от –22 до –8,5
$f_i > 2000$	–8,5

Г.6.2.16 Шумоподобная помеха с ограниченным спектром

Г.6.2.16.1 Приемники диапазона L1 GPS

После перехода в режим навигационных определений, приемники радиосигналов диапазона L1 GPS соответствуют требуемым характеристикам в присутствии шумоподобных мешающих сигналов в полосе частот $(1575,42 \pm Bw_i/2)$ МГц с уровнями мощности на антенном входе, равными пороговым значениям, указанным в таблице Г.6 и представленным на рисунке Г.3, и при уровне полезного сигнала на антенном входе, равном минус 164,5 дБВт. Bw_i – эквивалентная ширина полосы частот шумоподобного мешающего сигнала.

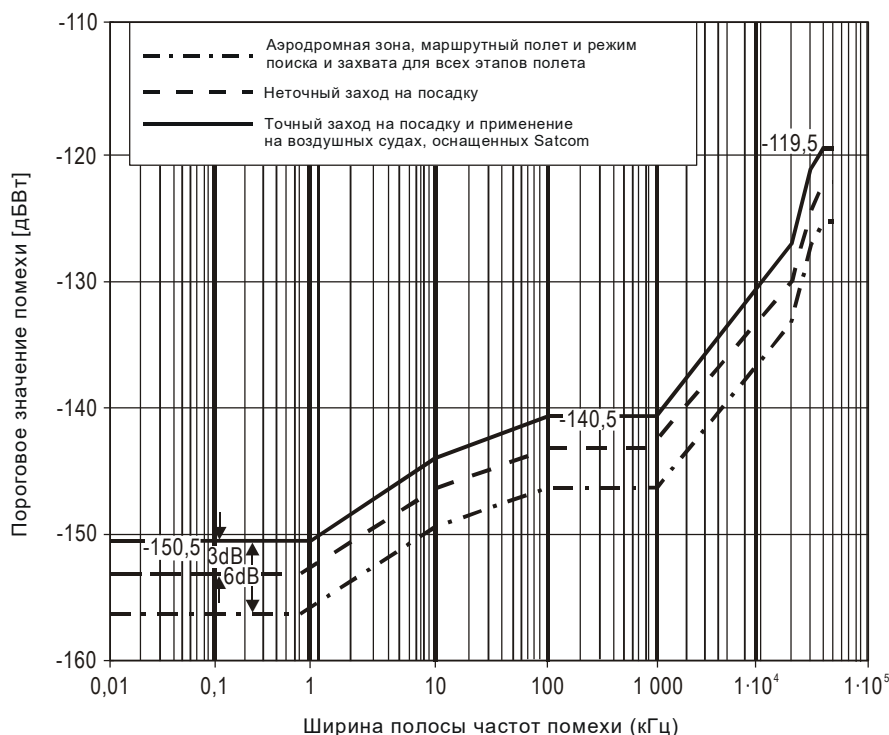


Рисунок Г.3 – Зависимость порогового значения помехи от ширины полосы частот для приемников диапазона L1 GPS

Таблица Г.6 – Пороговые значения шумоподобной помехи для приемников диапазона L1 GPS

Ширина полосы частот помехи	Пороговое значение помехи, дБВт
$0 \text{ Гц} < Bw_i \leq 700 \text{ Гц}$	-150,5
$700 \text{ Гц} < Bw_i \leq 10 \text{ кГц}$	$-150,5 + 6 \log_{10}(BW/700)$
$10 \text{ кГц} < Bw_i \leq 100 \text{ кГц}$	$-143,5 + 3 \log_{10}(BW/10000)$
$100 \text{ кГц} < Bw_i \leq 1 \text{ МГц}$	-140,5
$1 \text{ МГц} < Bw_i \leq 20 \text{ МГц}$	Линейно увеличивается от -140,5 до -127,5*
$20 \text{ МГц} < Bw_i \leq 30 \text{ МГц}$	Линейно увеличивается от -127,5 до -121,1*
$30 \text{ МГц} < Bw_i \leq 40 \text{ МГц}$	Линейно увеличивается от -121,1 до -119,5*
$40 \text{ МГц} < Bw_i$	-119,5 *
* Пороговое значение помехи не превосходит минус 140,5 дБВт/МГц в полосе частот $(1575,42 \pm 10) \text{ МГц}$.	

Г.6.2.16.2 Приемник диапазона L1 ГЛОНАСС

После перехода в режим навигационных определений приемники радиосигналов диапазона L1 ГЛОНАСС соответствуют требуемым характеристикам в присутствии шумоподобных мешающих сигналов в полосе частот $(f_k \pm Bw_i/2)$ с уровнями мощности на антенном входе, равными пороговым значениям, указанным в таблице Г.7, и при уровне полезного сигнала на антенном входе, равном минус 165,5 дБВт. f_k – центральная частота канала ГЛОНАСС, равная $f_k = (1602 + k \times 0,6525) \text{ МГц}$, где k может принимать значения от минус 7 до плюс 6, а Bw_i – эквивалентная ширина полосы частот шумоподобного мешающего сигнала.

Импульсная помеха. После перехода в режим навигационных определений приемник соответствует требуемым характеристикам при воздействии импульсного мешающего сигнала, имеющего параметры согласно таблице Г.8, в которой указаны пороговые значения помехи на антенном входе.

Таблица Г.7 – Пороговые значения шумоподобной помехи для приемников диапазона L1 ГЛОНАСС

Ширина полосы частот помехи	Пороговое значение помехи, дБВт
$0 \text{ Гц} < Bw_i \leq 1 \text{ кГц}$	–149
$1 \text{ кГц} < Bw_i \leq 10 \text{ кГц}$	Линейно увеличивается от –149 до –143
$10 \text{ кГц} < Bw_i \leq 0,5 \text{ МГц}$	–143
$0,5 \text{ МГц} < Bw_i \leq 10 \text{ МГц}$	Линейно увеличивается от –143 до –130
$10 \text{ МГц} < Bw_i$	–130

Таблица Г.8 – Пороговые значения для импульсной помехи

Система	GPS и СДКМ	ГЛОНАСС
Диапазон частот	$1575,42 \pm 20 \text{ МГц}$	1592,9525– 1609,36 МГц
Пороговое значение помехи (пиковая мощность импульса)	–20 дБВт	–20 дБВт
Длительность импульса	$\leq 125 \text{ мкс}$	$\leq 250 \text{ мкс}$
Скважность	$\leq 1 \%$	$\leq 1 \%$

Г.7 Антенна НАП ГНСС для приема спутниковых сигналов систем ГЛОНАСС, GPS и СДКМ

Г.7.1 Зона видимости антенны

Г.7.1.1 Антенна НАП ГНСС имеет требуемые характеристики, если обеспечивается прием сигналов спутников ГНСС от 0 до 360° по азимуту и от 0 до 90° по углу места относительно горизонтальной плоскости потребителя.

Г.7.2 Коэффициент усиления антенны

Г.7.2.1 Минимальное значение коэффициента усиления антенны для указанных углов места над горизонтом составляет не менее приведенного в

таблице Г.9. Максимальное значение коэффициента усиления антенны не превышает +7 дБ при углах места более 5°.

Таблица Г.9 – Минимальное значение коэффициента усиления антенны ГЛОНАСС, GPS и СДКМ

Угол места, °	Минимальное значение коэффициента усиления, дБ
0	–7
5	–5,5
10	–4
15–90	–2,5

Г.7.3 Поляризация антенны

Г.7.3.1 Поляризация антенны НАП ГНСС является правосторонней круговой (по часовой стрелке в направлении распространения).

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(обязательное)

Рекомендуемая модель для вычисления тропосферной задержки

Д.1 Тропосферная задержка распространения навигационного радиосигнала, согласно стандарту SBAS, может быть вычислена по формуле

$$\Delta t_{tropo} = -(d_{hyd} + d_{wet}) \cdot m(El), \quad (Д.1)$$

где d_{hyd}, d_{wet} определяются по формулам:

$$d_{hyd} = \left(1 - \frac{\beta H}{T}\right)^{\frac{g}{R_d \beta}} \cdot z_{hyd}, \quad (Д.2)$$

$$d_{wet} = \left(1 - \frac{\beta H}{T}\right)^{\frac{(\lambda+1)g}{R_d \beta} - 1} \cdot z_{wet}; \quad (Д.3)$$

β – метрологический параметр, зависимость температуры от высоты, К/м;

T – метрологический параметр, температура, К;

λ – метрологический параметр, градиент изменения испарения воды;

H – высота приемника над уровнем моря, м;

$g = 9,80665 \text{ м/с}^2$;

$R_d = 287,054 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$;

$$z_{hyd} = \frac{10^{-6} k_1 R_d P}{g_m};$$

$$z_{wet} = \frac{10^{-6} k_2 R_d}{g_m (\lambda + 1) - \beta R_d} \cdot \frac{e}{T};$$

$k_1 = 77,604 \text{ К/мбар}$;

$k_2 = 382000 \text{ К}^2/\text{мбар}$;

$g_m = 9,784 \text{ м/с}^2$;

P – метрологический параметр, давление, мбар;

e – метрологический параметр, давление насыщенных водяных паров, мбар;

$m(El)$ – функция тропосферной коррекции, определяемая по формуле

$$m(El) = \frac{1,001}{\sqrt{0,002001 + \sin^2(El)}}, \quad El \geq 5; \quad (Д.4)$$

El – угол места, °.

Формула (Д.4) справедлива для углов места El не менее 5° .

Каждый из пяти метрологических параметров P , T , e , β , λ зависит от географической широты приемника ϕ и текущего дня в году D , начиная с 1 января:

$$\xi(\phi, D) = \xi_0(\phi) - \Delta\xi(\phi) \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot (D - D_{\min})}{365,25}\right), \quad (Д.5)$$

где ξ_0 , $\Delta\xi$ – среднее и сезонное изменение метрологического параметра;

$$D_{\min} = \begin{cases} 28, & \text{для северных широт,} \\ 211, & \text{для южных широт.} \end{cases}$$

Текущий день в году D можно определить исходя из номера суток в текущем четырехлетии N_T по формуле

$$D = \begin{cases} N_T, & \text{если } N_T < 366, \\ N_T - 365, & \text{если } 366 \leq N_T < 731, \\ N_T - 730, & \text{если } 731 \leq N_T < 1096, \\ N_T - 1095, & \text{если } N_T \geq 1096. \end{cases} \quad (Д.6)$$

Для определения значения каждого из пяти метеорологических параметров P , T , e , β , λ для заданной широты приемника используется интерполяция

информации, представленной в таблице Д.1. Значения метеорологических параметров для северного и южного полушарий одинаковы.

Таблица Д.1 – Метеорологические параметры для вычисления тропосферной задержки

Широта, °	Среднее значение параметра				
	P_0 , мбар	T_0 , К	e_0 , мбар	β_0 , К/м	λ_0
15 или меньше	1013,25	299,65	26,31	0,00630	2,77
30	1017,25	294,15	21,79	0,00605	3,15
45	1015,75	283,15	11,66	0,00558	2,57
60	1011,75	272,15	6,78	0,00539	1,81
75 или больше	1013,00	263,65	4,11	0,00453	1,55
Широта, °	Сезонное изменение параметра				
	ΔP , мбар	ΔT , К	Δe , мбар	$\Delta \beta$, К/м	$\Delta \lambda$
15 или меньше	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
30	-3,75	7,00	8,85	0,00025	0,33
45	-2,25	11,00	7,24	0,00032	0,46
60	-1,75	15,00	5,36	0,00081	0,74
75 или больше	-0,50	14,50	3,39	0,00062	0,30

Среднеквадратическое отклонение σ_{tropo} ошибки вычисления

тропосферной задержки Δt_{tropo} вычисляется по формуле

$$\sigma_{tropo} = 0,12 \cdot m(El) . \quad (Д.7)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Е**(обязательное)****Последовательность передачи сообщений СДКМ**

Е.1 В таблице Е.1 приведена последовательность передачи сообщений СДКМ. В этой последовательности сообщения разбиты по 6-секундным фрагментам (строка в таблице), которые следуют друг за другом. Общая продолжительность этой последовательности 264 с.

Таблица Е.1 – Последовательность передачи сообщений СДКМ

Момент передачи ЦИ, с	Состав передаваемой ЦИ (типы передаваемых сообщений)					
1-6	1	2	3	4	5	25
7-12	18	2	3	4	5	25
13-18	7	2	3	4	5	25
19-24	18	2	3	4	5	25
25-30	10	2	3	4	5	25
31-36	18	2	3	4	5	25
37-42	9	2	3	4	5	25
43-48	18	2	3	4	5	25
49-54	17	2	3	4	5	25
55-60	18	2	3	4	5	25
61-66	1	2	3	4	5	25
67-72	18	2	3	4	5	25
73-78	27	2	3	4	5	25
79-84	26	2	3	4	5	25
85-90	7	2	3	4	5	25
91-96	26	2	3	4	5	25
97-102	10	2	3	4	5	25
103-108	26	2	3	4	5	25
109-114	9	2	3	4	5	25
115-120	26	2	3	4	5	25

Продолжение таблицы Е.1

Момент передачи ЦИ, с	Состав передаваемой ЦИ (типы передаваемых сообщений)					
	1	2	3	4	5	25
121-126	1	2	3	4	5	25
127-132	26	2	3	4	5	25
133-138	26	2	3	4	5	25
139-144	26	2	3	4	5	25
145-150	7	2	3	4	5	25
151-156	26	2	3	4	5	25
157-162	10	2	3	4	5	25
163-168	26	2	3	4	5	25
169-174	12	2	3	4	5	25
175-180	26	2	3	4	5	25
181-186	1	2	3	4	5	25
187-192	26	2	3	4	5	25
193-198	27	2	3	4	5	25
199-204	26	2	3	4	5	25
205-210	7	2	3	4	5	25
211-216	26	2	3	4	5	25
217-222	10	2	3	4	5	25
223-228	26	2	3	4	5	25
229-234	9	2	3	4	5	25
235-240	26	2	3	4	5	25
241-246	1	2	3	4	5	25
247-252	26	2	3	4	5	25
253-258	10	2	3	4	5	25
259-264	26	2	3	4	5	25

Во время тестирования системы сообщение типа 0 может использоваться для передачи быстрых поправок сообщения типа 2 в поле «ЦИ».

В таблице Е.2 приведены требования SBAS по максимальному интервалу обновления информации.

Таблица Е.2 – Максимальное интервал обновления информации SBAS

Информация	Типы сообщений	Интервал обновления, с
PRN Mask	1	120
UDREI	2-6, 24	6
Быстрые поправки	2-5, 24	12
Медленные поправки	25, 24	120
Ионосферная точечная сетка	18	300
Информация о ионосферных задержках	26	300
Время UTC	12	300
Деградация быстрых поправок	7	120
Навигационное сообщение	9	120
Состояние спутника СДКМ	17	300
Параметры деградации	10	120
Регион обслуживания	27 (28)	300

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

(обязательное)

Последовательность передачи сообщений СДКМ при смене поля «PRN Mask»

Ж.1 На рисунке Ж.1 приведена схема передачи сообщений СДКМ при изменении поля «PRN Mask», т.е. при смене поля «ЦИ» используемых спутников.

Смена проходит в три фазы.

Фаза 1 – перед сменой поля «PRN Mask» передаются подряд четыре сообщения типа 1, содержащих новое поле «PRN Mask».

Фаза 2 – подготовка к применению нового поля «PRN Mask». Передаются медленные поправки для нового поля «PRN Mask» – необходимо передать 13 сообщений типа 25. Общая длительность фазы 2 составляет 22 с. В течение этой фазы потребитель использует старое поле «PRN Mask».

Фаза 3 – применение нового поля «PRN Mask». В начале третьей фазы повторяется сообщение типа 1, а затем следуют быстрые поправки, соответствующие новому полю «PRN Mask».

Процесс передачи ЦИ при смене «PRN Mask» поясняется рисунком Ж.1.

На рисунке используется следующее обозначение: С - сообщение, далее номер типа сообщения.

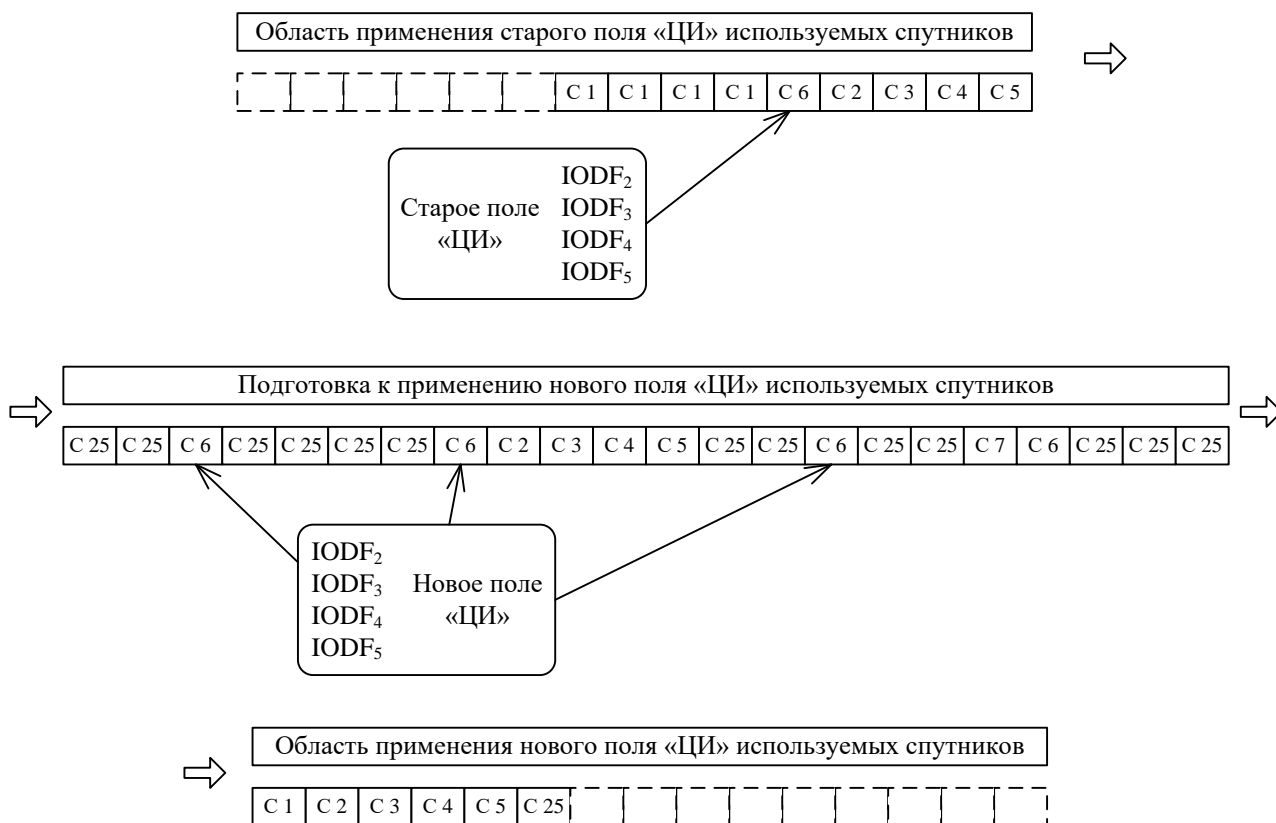


Рисунок Ж.1 – Схема передачи сообщений СДКМ при смене поля «ЦИ» используемых спутников

ПРИЛОЖЕНИЕ И

(обязательное)

Определение протоколов применения информации СДКМ

И.1 Введение

И.1.1 В данном приложении даны определения параметров, которые используются в навигационном алгоритме систем ГЛОНАСС и GPS с учетом информации СДКМ. Эти параметры используются для того, чтобы получить навигационное решение и оценить его достоверность (уровни защиты).

И.2 Долговременные поправки

И.2.1 Коррекция времени GPS. Коррекция времени для каждого спутника GPS выполняется в соответствии со следующим уравнением:

$$t = t_{sv} - [(\Delta t_{sv})_{L1} + \delta \Delta t_{sv}], \quad (\text{И.1})$$

где t – текущее время GPS;

t_{sv} – бортовое время спутника GPS на момент передачи сообщения;

$(\Delta t_{sv})_{L1}$ – поправка к бортовому времени (фазе ПСП);

$\delta \Delta t_{sv}$ – коррекция поправки к бортовому времени.

И.2.2 Коррекция поправки бортовой шкалы времени $\delta \Delta t_{sv}$ для каждого спутника GPS на любой момент времени t_k для системного времени GPS и в текущих сутках:

$$\delta \Delta t_{sv} = \delta a_{f0} + \delta a_{f1}(t_k - t_0), \quad (\text{И.2})$$

где δa_{f0} , δa_{f1} , t_0 передаются в сообщении типа 25.

Величина $\delta\Delta t_{SV}$ добавляется к величине Δt_{SV} , которая определена в ИКД GPS. Также должна применяться поправка T_{GD} , как описано в [6]:

$$(\Delta t_{SV})_{L1} = \Delta t_{SV} - T_{GD}. \quad (\text{И.3})$$

И.2.3 Коррекция времени ГЛОНАСС

Коррекция времени для каждого спутника ГЛОНАСС выполняется в соответствии со следующим уравнением:

$$t = t_{SV} + \tau_n(t_b) - \gamma_n(t_b)(t_{SV} - t_b) - \delta\Delta t_{SV}, \quad (\text{И.4})$$

где t – текущее время ГЛОНАСС;

t_{SV} – бортовое время спутника ГЛОНАСС на момент передачи сообщения;

$t_b, \tau_n(t_b), \gamma_n(t_b)$ – параметры времени ГЛОНАСС;

$\delta\Delta t_{SV}$ – коррекция сдвига фазы кода.

Коррекция сдвига фазы кода $\delta\Delta t_{SV}$ для каждого спутника ГЛОНАСС в системе времени ГЛОНАСС определяется как:

$$\delta\Delta t_{SV} = \delta a_{f0} + \delta a_{f1} (t - t_0), \quad (\text{И.5})$$

где $(t - t_0)$ корректируется при переходе через сутки. Если «Код скорости» = 0, то $\delta a_{f1} = 0$.

Коррекция сдвига фазы кода $\delta\Delta t_{SV}$ для каждого спутника ГЛОНАСС в системе времени GPS определяется с учетом смещения между шкалами GPS и ГЛОНАСС:

$$\delta\Delta t_{SV} = \delta a_{f0} + \delta a_{f1} (t - t_0) + \tau_{GPS} + \delta a_{GLONASS}, \quad (\text{И.6})$$

где t – текущее время GPS;

τ_{GPS} – дробная часть секунды в смещении шкалы времени системы GPS относительно шкалы времени системы ГЛОНАСС, передаваемая в составе эфемеридной информации спутников ГЛОНАСС;

$\delta a_{GLONASS}$ – поправка к τ_{GPS} , передаваемая СДКМ в сообщении типа 12.

И.2.4 Коррекция координат спутника.

Система GPS использует систему координат WGS-84, а система ГЛОНАСС – ПЗ-90. Пересчет из одной системы координат в другую выполняется по формуле

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{WGS-84} = \begin{bmatrix} 1 & 0,0097 \cdot 10^{-9} & 0,2036 \cdot 10^{-9} \\ -0,0097 \cdot 10^{-9} & 1 & 0,0921 \cdot 10^{-9} \\ -0,2036 \cdot 10^{-9} & -0,0921 \cdot 10^{-9} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{PZ-90} + \begin{bmatrix} 0,003 \\ 0,001 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (И.7)$$

Необходимо отметить, что системы координат WGS-84 и ПЗ-90 постоянно совершенствуются, поэтому для повышения точности навигационных определений рекомендуется применять формулу пересчета из одной системы координат в другую самой последней редакции, например, [7].

Скорректированный в системе СДКМ вектор положения для каждого спутника систем ГЛОНАСС и GPS на момент времени t определяется как:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{corrected} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta \dot{x} \\ \delta \dot{y} \\ \delta \dot{z} \end{bmatrix} (t - t_0), \quad (И.8)$$

где $(t - t_0)$ – корректируется при переходе через сутки;

$[x \ y \ z]^T$ – вектор положения спутника системы GPS или ГЛОНАСС.

Если «Код скорости» = 0, то $[\delta \dot{x} \ \delta \dot{y} \ \delta \dot{z}]^T = [0 \ 0 \ 0]^T$.

Для ГЛОНАСС рекомендуется использовать упрощенный алгоритм пересчета координат и составляющих вектора скорости центра масс НКА на заданный момент времени шкалы МДВ [8].

И.2.5 Поправки к псевдодальностям.

Поправки к псевдодальностям не зависят от используемой системы координат.

Скорректированная псевдодальность $PR_{corrected}$ на момент времени t для каждого спутника, для которого передаются поправки, определяется следующим по формуле

$$PR_{corrected} = PR + FC + RRC(t - t_{of}) + IC + TC, \quad (И.9)$$

где PR – измеренная псевдодальность после применения поправок к бортовому времени спутника;

FC – быстрая поправка;

RRC – поправка к скорости изменения псевдодальности;

IC – ионосферная коррекция;

TC – тропосферная коррекция (отрицательная величина, учитывающая задержку в тропосфере);

t_{of} – опорный момент для самых последних быстрых поправок, которое является началом секундной эпохи времени СДКМ, совпадающей с моментом передачи на спутник СДКМ первого символа блока сообщений.

И.2.6 Поправки к скорости изменения псевдодальности (RRC).

Поправка RRC к скорости изменения псевдодальности для каждого спутника, для которого передаются быстрые поправки, определяется следующим образом:

$$RRC(t_{of}) = \begin{cases} \frac{FC - FC_{previous}}{t_{of} - t_{of_previous}}, & \text{если } a_i \neq 0 \\ 0, & \text{если } a_i = 0 \end{cases} \quad (И.10)$$

FC – текущая (последняя) быстрая поправка, взятая из сообщения типа 2–5;

$FC_{previous}$ – предыдущая быстрая поправка;

t_{of} – опорный момент для FC;

$t_{of_previous}$ – опорный момент для $FC_{previous}$;

a_i – индикатор фактора деградации быстрых поправок (см. таблицу 26).

И.3 Передаваемые ионосферные поправки

И.3.1 Координаты точки прокалывания ионосферы

И.3.1.1 Координаты точки прокалывания ионосферы (ionospheric pierce point, IPP) определяются как координаты точки пересечения линии приемник-спутник с эллипсоидом, имеющим постоянную высоту 350 км над эллипсоидом WGS-84. Ниже приведены уравнения для определения широты и долготы этой точки прокалывания. Сначала вычисляется широта ϕ_{pp} , в радианах, по формуле

$$\phi_{pp} = \sin^{-1}(\sin \phi_u \cos \psi_{pp} + \cos \phi_u \sin \psi_{pp} \cos A), \quad (\text{И.11})$$

где ψ_{pp} – земной центральный угол, в радианах, между положением потребителя и проекцией точки прокалывания на Землю (рисунок И.1):

$$\psi_{pp} = \frac{\pi}{2} - E - \sin^{-1}\left(\frac{R_e}{R_e + h_I} \cos E\right); \quad (\text{И.12})$$

A – азимутальный угол спутника относительно положения потребителя (ϕ_u, λ_u), измеряемый по часовой стрелке относительно севера;

E – угол места спутника относительно положения потребителя (ϕ_u, λ_u), измеряемый относительно локальной тангенциальной плоскости;

R_e – радиус земного эллипсоида (принятый равным 6378,1363 км);

h_1 – высота максимума электронной концентрации (принятая равной 350 км).

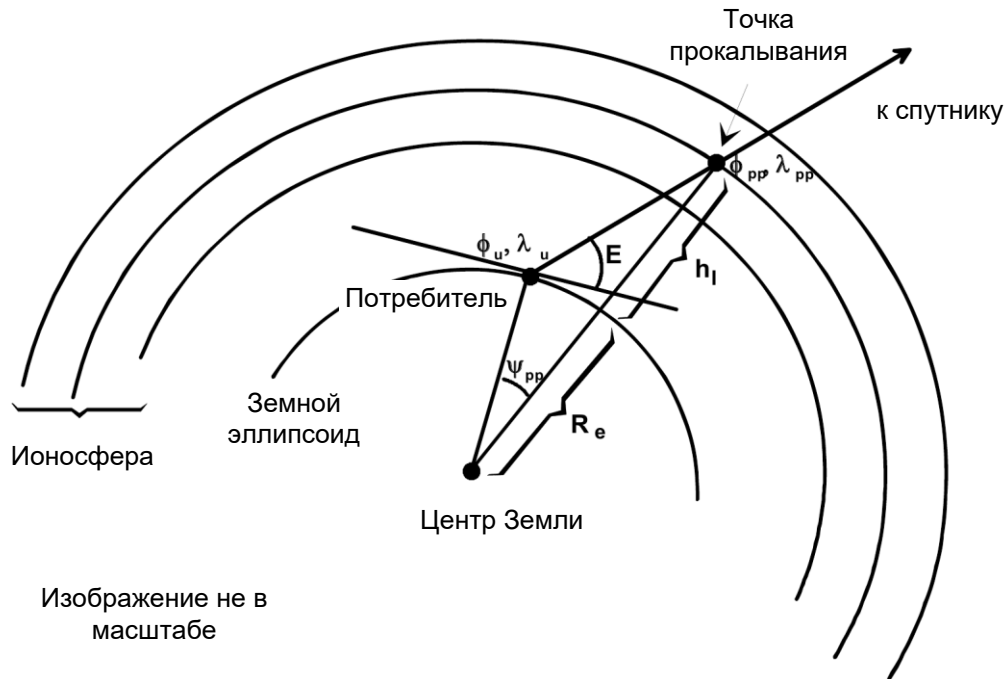


Рисунок И.1 – Геометрия точки прокалывания ионосферы

Долгота точки прокалывания λ_{pp} , в радианах, определяется следующим образом. Если $\phi_u > 70^\circ$ и $\operatorname{tg} \psi_{pp} \cos A > \operatorname{tg}(\pi / 2 - \phi_u)$ или если $\phi_u < -70^\circ$ и $\operatorname{tg} \psi_{pp} \cos(A + \pi) > \operatorname{tg}(\pi / 2 + \phi_u)$, то

$$\lambda_{pp} = \lambda_u + \pi - \sin^{-1} \left(\frac{\sin \psi_{pp} \sin A}{\cos \phi_{pp}} \right), \quad (\text{И.13})$$

иначе

$$\lambda_{pp} = \lambda_u + \sin^{-1} \left(\frac{\sin \psi_{pp} \sin A}{\cos \phi_{pp}} \right). \quad (\text{И.14})$$

И.3.2 Выбор точек ионосферной сетки

И.3.2.1 После определения местоположения точки прокалывания ионосферы для потребителя, он должен выбрать точки ионосферной сетки для интерполяции ионосферных поправок и модельной дисперсии.

Выбор точек ионосферной сетки выполняется в соответствии со следующим алгоритмом:

- для точки прокалывания ионосферы между 60°N и 60°S :

- 1) если четыре точки ионосферной сетки, определяющие вокруг точки прокалывания ионосферы ячейку 5 на 5° , установлены в IGP Mask в «1», то выбираются они;

- 2) если любые три точки ионосферной сетки, определяющие вокруг точки прокалывания ионосферы треугольник 5 на 5° , установлены в IGP Mask в «1», то выбираются они;

- 3) если любые четыре точки ионосферной сетки, определяющие вокруг точки прокалывания ионосферы ячейку 10 на 10° , установлены в «1», то выбираются они;

- 4) если любые три точки ионосферной сетки, определяющие вокруг точки прокалывания ионосферы треугольник 10 на 10° , установлены в IGP Mask в «1», то выбираются они;

- 5) иначе, ионосферная коррекция недоступна;

- для точки прокалывания ионосферы между 60°N и 75°N или между 60°S и 75°S :

- 1) если четыре точки ионосферной сетки, определяющие вокруг точки прокалывания ионосферы ячейку размером 5° по широте на 10° по долготе, установлены в IGP Mask в «1», то выбираются они;

- 2) если любые три точки ионосферной сетки, определяющие вокруг точки прокалывания ионосферы треугольник размером 5° по широте на 10° по долготе, установлены в IGP Mask в «1», то выбираются они;

3) если любые четыре точки ионосферной сетки, определяющие вокруг точки прокалывания ионосферы ячейку 10 на 10° , установлены в IGP Mask в «1», то выбираются они;

4) если любые три точки ионосферной сетки, определяющие вокруг точки прокалывания ионосферы треугольник 10 на 10° , установлены в IGP Mask в «1», то выбираются они;

5) иначе, ионосферная коррекция недоступна;

- для точки прокалывания ионосферы между 75°N и 85°N или между 75°S и 85°S :

1) если две ближайшие к 75° точки ионосферной сетки или две ближайшие к 85° точки ионосферной сетки (разделенные на 30° по долготе, если используется диапазон 9 или 10, а в остальных случаях разделенные на 90°) установлены в IGP Mask в «1», то формируется ячейка 10 на 10° путем линейной интерполяции между точками ионосферной сетки на 85° для получения виртуальных точек ионосферной сетки на долготах, равных долготам точек ионосферной сетки на 75° . Величины σ_{GIVE}^2 линейно интерполируются вдоль линии 85° чтобы сформировать виртуальные σ_{GIVE}^2 соответствующие виртуальным точкам ионосферной сетки;

2) иначе, ионосферная коррекция недоступна;

- для точки прокалывания ионосферы севернее 85°N :

1) если четыре точки ионосферной сетки на широте 85°N и долготах 180°W , 90°W , 0° и 90°E установлены в IGP Mask в «1», то выбираются они;

2) иначе, ионосферная коррекция недоступна;

- для точки прокалывания ионосферы южнее 85°S :

1) если четыре точки ионосферной сетки на широте 85°S и долготах 140°W , 50°W , 40°E и 130°E установлены в IGP Mask в «1», то выбираются они;

2) иначе, ионосферная коррекция недоступна.

Данный алгоритм выбора основан только на информации, имеющейся в IGP Mask, без учета того, осуществляется ли мониторинг выбранных точек ионосферной сетки или они вообще не используются. Если любая из выбранных точек ионосферной сетки идентифицирована признаком «Не использовать» (поле «Вертикальная задержка» = 11111111₂), то ионосферная коррекция недоступна. Если выбраны четыре точки ионосферной сетки и одна из них идентифицирована признаком «Нет мониторинга» (поле GIVEI = 15), тогда используется 3-точечная интерполяция, при условии, что точка прокалывания ионосферы находится внутри треугольной области, для которой имеются три поправки. Данный алгоритм поясняется рисунком И.2, на котором точка прокалывания обозначена как «х».

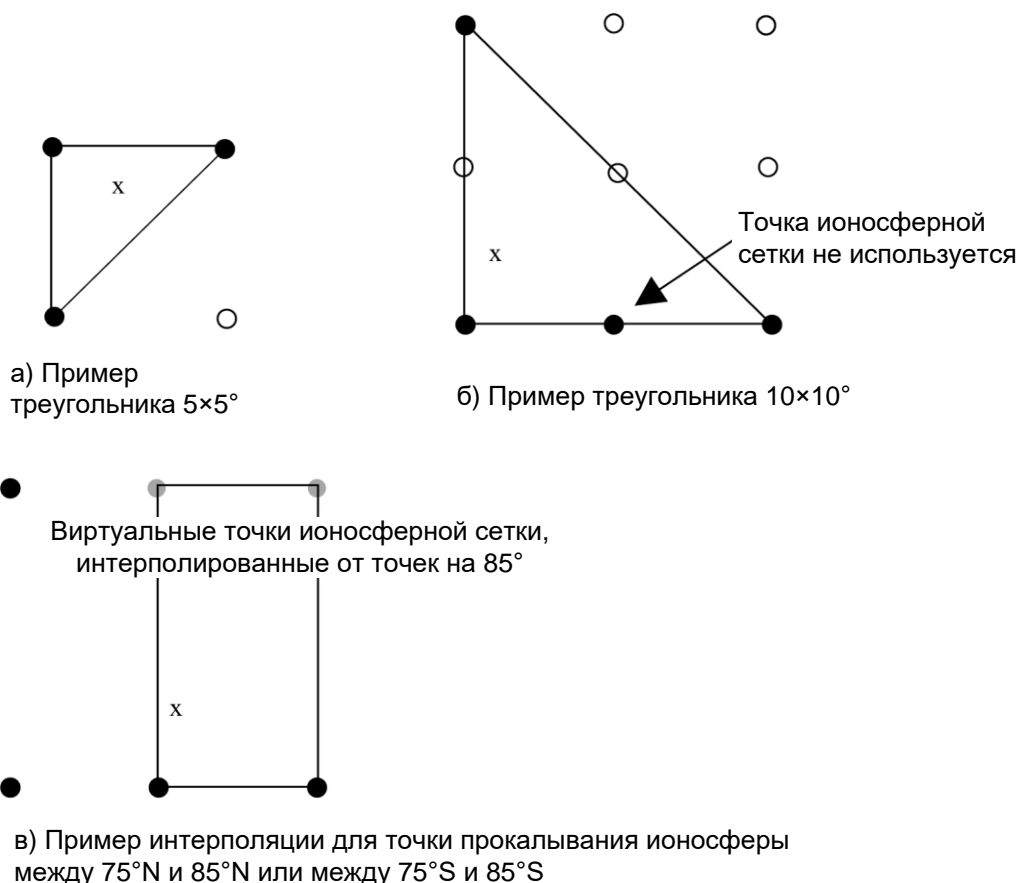


Рисунок И.2 – Выбор точек ионосферной сетки

И.3.3 Интерполированная оценка вертикальной ионосферной задержки

И.3.3.1 В общем случае точки ионосферной сетки, для которых передаются вертикальные задержки, не соответствуют вычисленным положениям точки прокалывания ионосферы. Поэтому потребителю необходимо интерполировать значения вертикальных задержек в точках ионосферной сетки, чтобы вычислить значение вертикальной задержки в точке прокалывания ионосферы. Имея три или четыре узла ионосферной сетки, которые окружают точку прокалывания ионосферы, потребитель интерполирует значения вертикальной задержки из этих узлов в свою точку прокалывания (примеры приведены на рисунке И.2), используя следующий алгоритм.

Точки ионосферной сетки, выбранные как описано в И.3.2, должны использоваться в этой интерполяции. Если были выбраны четыре точки ионосферной сетки, и одна из них обозначена как «Нет мониторинга» (поле GIVEI = 15), то должна использоваться 3-точечная интерполяция, если точка прокалывания потребителя находится в пределах треугольной области, образованной тремя предоставленными поправками. Если одна из четырех точек обозначена как «Не использовать» (поле «Вертикальная задержка» = 11111111₂), то все четыре точки не должны использоваться.

Когда для интерполяции используются четыре точки, интерполированная оценка вертикальной ионосферной задержки τ_{vpp} на широте ϕ_{pp} и долготе λ_{pp} равна:

$$\tau_{vpp} = \sum_{k=1}^4 W_k \tau_{vk}, \quad (\text{И.15})$$

где τ_{vk} – передаваемые значения вертикальной задержки модели ионосферной сетки в k-ой точке сетки, как показано на рисунке И.3;

$$W_1 = x_{pp} \cdot y_{pp};$$

$$W_2 = (1 - x_{pp})y_{pp};$$

$$W_3 = (1 - x_{pp})(1 - y_{pp});$$

$$W_4 = x_{pp}(1 - y_{pp}).$$

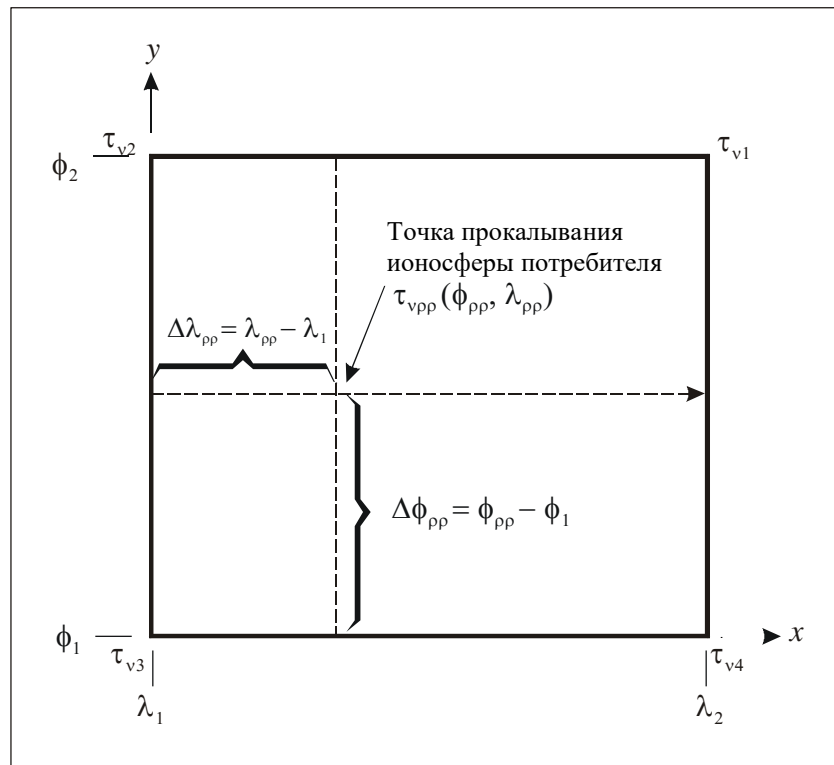


Рисунок И.3 – Алгоритм интерполяции вертикальной ионосферной задержки по четырем точкам ионосферной сетки

Для точек прокалывания ионосферы между 85°N и 85°S:

$$x_{pp} = \frac{\lambda_{pp} - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}, \quad y_{pp} = \frac{\phi_{pp} - \phi_1}{\phi_2 - \phi_1}, \quad (\text{И.16})$$

где λ_1 – долгота точки ионосферной сетки к западу от этой точки прокалывания ионосферы;

λ_2 – долгота точки ионосферной сетки к востоку от этой точки прокалывания ионосферы;

ϕ_1 – широта точки ионосферной сетки к югу от этой точки прокалывания ионосферы;

ϕ_2 – широта точки ионосферной сетки к северу от этой точки прокалывания ионосферы.

Примечание – Если λ_1 и λ_2 пересекают 180° долготы, то при расчете x_{pp} учитывается разрыв в значениях долготы.

Для точек прокалывания ионосферы севернее 85°N или южнее 85°S :

$$y_{pp} = \frac{|\phi_{pp}| - 85^\circ}{10^\circ}, \quad x_{pp} = \frac{\lambda_{pp} - \lambda_3}{90^\circ} \cdot (1 - 2y_{pp}) + y_{pp}, \quad (\text{И.17})$$

где λ_1 – долгота второй точки ионосферной сетки восточнее этой точки прокалывания ионосферы;

λ_2 – долгота второй точки ионосферной сетки западнее этой точки прокалывания ионосферы;

λ_3 – долгота ближайшей точки ионосферной сетки западнее этой точки прокалывания ионосферы;

λ_4 – долгота ближайшей точки ионосферной сетки восточнее этой точки прокалывания ионосферы.

Когда для интерполяции используются три точки, интерполированная вертикальная ионосферная задержка оценивается как:

Для точек между 75°S и 75°N :

$$\tau_{vpp} = \sum_{k=1}^3 W_k \tau_{vk}, \quad (\text{И.18})$$

где $W_1 = y_{pp}$;

$W_2 = 1 - x_{pp} - y_{pp}$;

$W_3 = x_{pp}$.

x_{pp} и y_{pp} рассчитываются так же как для 4-точечной интерполяции, за исключением того, что λ_1 и ϕ_1 всегда являются долготой и широтой 2-й точки ионосферной сетки, а λ_2 и ϕ_2 – другие широта и долгота. 2-я точка всегда является противоположной гипотенузе вершиной треугольника, определенного этими тремя точками; 1-я точка имеет такую же долготу, как и 2-я точка, а 3-я точка имеет такую же широту, как 2-я точка (пример показан на рисунке И.4).

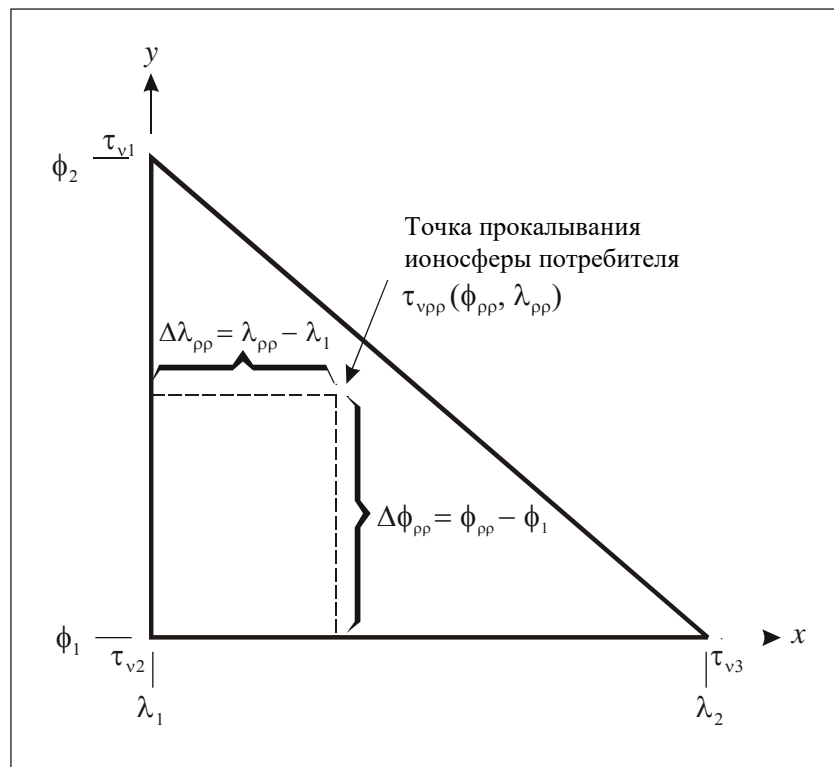


Рисунок И.4 – Алгоритм интерполяции вертикальной ионосферной задержки по трем точкам ионосферной сетки

Трехточечная интерполяция не поддерживается для точек севернее 75°N и южнее 75°S .

И.3.4 Ионосферные поправки

Ионосферная поправка IC для каждого спутника определяется как:

$$IC = -F_{pp} \cdot \tau_{vpp}, \quad (И.19)$$

где F_{pp} – коэффициент отклонения, определяемый по формуле

$$F_{pp} = \left[1 - \left(\frac{R_e \cos \theta}{R_e + h_I} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}; \quad (И.20)$$

τ_{vpp} – интерполированная оценка вертикальной ионосферной задержки;

$R_e = 6\,378,1363$ км;

θ – угол места спутника;

$h_I = 350$ км.

Для спутников ГЛОНАСС ионосферная поправка IC должна умножаться на квадрат отношения частот ГЛОНАСС и GPS $(f_{\text{ГЛОНАСС}}/f_{\text{GPS}})^2$.

И.4 Уровни защиты

И.4.1 Горизонтальный уровень защиты (HPL) и уровень защиты по вертикали (VPL), являющиеся мерой достоверности решения навигационной задачи, определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{HPL}_{\text{СДКМ}} &= \begin{cases} K_{\text{H,NPA}} \times d_{\text{major}} & \text{для неточного захода на посадку,} \\ K_{\text{H,PA}} \times d_{\text{major}} & \text{для точного захода на посадку,} \end{cases} \quad (И.21) \\ \text{VPL}_{\text{СДКМ}} &= K_{\text{V,PA}} \times d_{\text{V}}, \end{aligned}$$

где $d_v^2 = \sum_{i=1}^N s_{v,i}^2 \sigma_i^2$ – дисперсия модели распределения, которая включает

истинное распределение погрешности по вертикальной оси;

$$d_{\text{major}} = \sqrt{\frac{d_x^2 + d_y^2}{2} + \sqrt{\left(\frac{d_x^2 - d_y^2}{2}\right)^2 + d_{xy}^2}};$$

$d_x^2 = \sum_{i=1}^N s_{x,i}^2 \sigma_i^2$ – дисперсия модели распределения, которая включает

истинное распределение погрешности по оси x;

$d_y^2 = \sum_{i=1}^N s_{y,i}^2 \sigma_i^2$ – дисперсия модели распределения, которая включает

истинное распределение погрешности по оси y;

$d_{xy} = \sum_{i=1}^N s_{x,i} s_{y,i} \sigma_i^2$ – ковариация моделей распределения по осям x и y;

$s_{x,i}$ – частная производная по "x" погрешности положения относительно погрешности псевдодальности для i-го спутника;

$s_{y,i}$ – частная производная по "y" погрешности положения относительно погрешности псевдодальности для i-го спутника;

$s_{v,i}$ – частная производная по вертикали погрешности положения относительно погрешности псевдодальности для i-го спутника;

$$\sigma_i^2 = \sigma_{i,\text{flt}}^2 + \sigma_{i,\text{UIRE}}^2 + \sigma_{i,\text{air}}^2 + \sigma_{i,\text{тропо}}^2.$$

Дисперсии $\sigma_{i,\text{flt}}^2$ и $\sigma_{i,\text{UIRE}}^2$ определены в И.4.3 и И.4.7. Параметры $\sigma_{i,\text{air}}^2$ и $\sigma_{i,\text{тропо}}^2$ определяются бортовыми элементами.

Оси x и y лежат в локальной горизонтальной плоскости, а ось v представляет собой локальную вертикаль.

Для общего случая решения навигационной задачи методом наименьших квадратов проекционная матрица S имеет вид:

$$S \equiv \begin{bmatrix} s_{x,1} & s_{x,2} & \cdots & s_{x,N} \\ s_{y,1} & s_{y,2} & \cdots & s_{y,N} \\ s_{v,1} & s_{v,2} & \cdots & s_{v,N} \\ s_{t,1} & s_{t,2} & \cdots & s_{t,N} \end{bmatrix} = (G^T \times W \times G)^{-1} \times G^T \times W, \quad (\text{И.22})$$

где i -й столбец матрицы G , определяемый по формуле

$$G_i = [-\cos El_i \cos Az_i \quad -\cos El_i \sin Az_i \quad -\sin El_i \quad 1]; \quad (\text{И.23})$$

$$W^{-1} = \begin{bmatrix} w_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & w_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & w_N \end{bmatrix};$$

El_i – угол места i -го дальномерного источника, в градусах;

Az_i – азимут i -го дальномерного источника, измеренный против часовой стрелки от оси x , в градусах;

w_i – весовой коэффициент, соответствующий i -му спутнику, $w_i = \sigma_i^2$.

Примечания

1 Для удобочитаемости индекс i в уравнении проекционной матрицы опущен.

2 Для получения упрощенного решения методом наименьших квадратов без использования весовых коэффициентов весовая матрица задается единичной ($w_i = 1$).

И.4.2 Определение значений коэффициента K уровня защиты.

Значения K_H для вычисления HPL определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} K_{H,NPA} &= 6,18 \text{ для режима неточного захода на посадку,} \\ K_{H,PA} &= 6,0 \text{ для режима точного захода на посадку.} \end{aligned} \quad (\text{И.24})$$

Значение $K_{V,PA}$ для вычисления VPL определяются следующим образом:

$$K_{V,PA} = 5,33. \quad (\text{И.25})$$

И.4.3 Определение модели погрешностей $\sigma_{i,flt}$ быстрых и долговременных поправок.

Если применяются быстрые поправки, долговременные поправки, параметры псевдодальности СДКМ, а также параметры деградации, то:

$$\sigma_{i,flt}^2 = \begin{cases} \left[\left(\sigma_{i,UDRE} \right) (\delta UDRE) + \varepsilon_{fc} + \varepsilon_{rtc} + \varepsilon_{lrc} + \varepsilon_{er} \right]^2, & \text{если } RSS_{UDRE} = 0, \\ \left[\left(\sigma_{i,UDRE} \right) (\delta UDRE) \right]^2 + \varepsilon_{fc}^2 + \varepsilon_{rtc}^2 + \varepsilon_{lrc}^2 + \varepsilon_{er}^2, & \text{если } RSS_{UDRE} = 1, \end{cases} \quad (\text{И.26})$$

где RSS_{UDRE} – передается в сообщении типа 10;

$\delta UDRE$ принимает одно из трех значений:

- если используется сообщение типа 27, то $\delta UDRE$ – показатель конкретного региона;
- если используется сообщение типа 28, то $\delta UDRE$ – показатель конкретного спутника;
- если не используется никакое сообщение, то $\delta UDRE = 1$.

Если быстрые поправки, долговременные поправки и параметры псевдодальности СДКМ не применяются, то параметры деградации не используются и $\sigma_{i,flt}$, в метрах, вычисляется по формуле

$$\sigma_{i,flt}^2 = \left[\left(\sigma_{i,UDRE} \right) (\delta UDRE) + 8 \right]^2. \quad (\text{И.27})$$

Если быстрые или долговременные поправки или дальномерные параметры СДКМ не применяются в отношении спутника или если в отношении спутника не получено сообщение типа 28 с ковариацией эфемерид, но принято

действующее сообщение типа 28 для другого спутника, то $\sigma_{i,flt}$, в метрах, вычисляется по формуле

$$\sigma_{i,flt}^2 = (60)^2. \quad (\text{И.28})$$

И.4.4 Деградация быстрых поправок

Параметр ε_{fc} деградации для быстрых поправок имеет вид:

$$\varepsilon_{fc} = a \frac{(t - t_u + t_{lat})^2}{2}, \quad (\text{И.29})$$

где a – фактор деградации быстрых поправок, определяемый из сообщения типа 7 (см. 7.10);

t – текущее время;

t_u – опорное время UDREI. Если $IODF \neq 3$, то t_u это время начала 1-секундной эпохи времени СДКМ, которое совпадает с началом передачи блока сообщений, содержащего самые последние поля UDREI (сообщения типа 2–5 или 24), которые совпадают с полем IODF используемой быстрой поправки. Если $IODF = 3$, то t_u это время начала 1-секундной эпохи SNT, совпадающей с началом передачи сообщения, которое содержит быструю поправку для i -го спутника;

t_{lat} – системное запаздывание (как определено в 7.10).

Примечание – Для параметров UDRE, передаваемых в сообщениях типа 2–5 и 24, t_u равно опорному моменту для быстрых поправок, поскольку они передаются в тех же самых сообщениях. Для параметров UDRE, передаваемых в сообщении типа 6, и если $IODF = 3$, t_u также равно опорному моменту для быстрых поправок (t_{of}). Для параметров UDRE, передаваемых в сообщениях типа 6 при $IODF \neq 3$, t_u определяется как время передачи первого бита сообщения типа 6 на спутник СДКМ.

И.4.5 Деградация поправок к скорости изменения псевдодальности

Если $RRC = 0$, то параметр ε_{rrc} деградации для информации о скорости изменения псевдодальности равен нулю.

Если $RRC \neq 0$ и $IODF \neq 3$, то параметр ε_{rrc} определяется по формуле

$$\varepsilon_{\text{rrc}} = \begin{cases} 0, & \text{если } (IODF_{\text{current}} - IODF_{\text{previous}}) \bmod 3 = 1, \\ \left(\frac{aI_{\text{fc}}}{4} + \frac{B_{\text{rrc}}}{\Delta t} \right) (t - t_{\text{of}}), & \text{если } (IODF_{\text{current}} - IODF_{\text{previous}}) \bmod 3 \neq 1, \end{cases} \quad (\text{И.30})$$

где t – текущее время;

$IODF_{\text{current}}$ – значение поля $IODF$, соответствующее самой последней быстрой поправке;

$IODF_{\text{previous}}$ – значение поля $IODF$, соответствующее предыдущей быстрой поправке;

$\Delta t = t_{\text{of}} - t_{\text{of_previous}}$;

I_{fc} – срок действия быстрых поправок для потребителя.

Если $RRC \neq 0$ и $IODF = 3$, то параметр ε_{rrc} определяется по формуле

$$\varepsilon_{\text{rrc}} = \begin{cases} 0, & \text{если } \left| \Delta t - \frac{I_{\text{fc}}}{2} \right| = 0, \\ \left(\frac{a \left| \Delta t - \frac{I_{\text{fc}}}{2} \right|}{2} + \frac{B_{\text{rrc}}}{\Delta t} \right) (t - t_{\text{of}}), & \text{если } \left| \Delta t - \frac{I_{\text{fc}}}{2} \right| \neq 0. \end{cases} \quad (\text{И.31})$$

И.4.6 Деградация долговременных поправок спутников систем ГЛОНАСС и GPS.

Для кода скорости, равного единице, параметр ε_{rrc} деградации для долговременных поправок каждого спутника определяется по формуле

$$\varepsilon_{\text{ltc}} = \begin{cases} 0, & \text{если } t_0 < t < t_0 + I_{\text{ltc_v1}}, \\ C_{\text{ltc_lsb}} + C_{\text{ltc_v1}} \max(0, t_0 - t, t - t_0 - I_{\text{ltc_v1}}), & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (\text{И.32})$$

где t – текущее время;

t_0 – момент применимости долговременных поправок (см. 7.5);

$I_{\text{ltc_v1}}$, $C_{\text{ltc_lsb}}$, $C_{\text{ltc_v1}}$ – параметры, передаваемы в сообщении типа 10 (см. 7.10).

Для кода скорости, равного нулю, параметр ε_{ltc} определяется по формуле

$$\varepsilon_{\text{ltc}} = C_{\text{ltc_v0}} \left\lfloor \frac{t - t_{\text{ltc}}}{I_{\text{ltc_v0}}} \right\rfloor, \quad (\text{И.33})$$

где t – текущее время;

t_{ltc} – время передачи первого бита сообщения типа 25 (долговременные поправки) на СДКМ;

$\lfloor x \rfloor$ – наибольшее целое, меньшее x .

Параметр деградации ε_{er} остаточной погрешности определяется по формуле

$$\varepsilon_{\text{er}} = \begin{cases} 0, & \text{если срок действия быстрых и} \\ & \text{долговременных поправок не истек,} \\ C_{\text{er}}, & \text{если истек срок действия быстрых} \\ & \text{или долговременных поправок,} \end{cases} \quad (\text{И.34})$$

где C_{er} – диапазон остаточной погрешности, связанный с использованием информации, срок действия которой истек (см. 7.10).

Коэффициент деградации UDRE рассчитывается по информации сообщения типа 28:

$$\delta\text{UDRE} = \sqrt{\mathbf{I}^T \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{I}} + \varepsilon_c, \quad (\text{И.35})$$

где $\mathbf{I} = \begin{bmatrix} \mathbf{i}_x \\ \mathbf{i}_y \\ \mathbf{i}_z \\ 1 \end{bmatrix};$

$\begin{bmatrix} \mathbf{i}_x \\ \mathbf{i}_y \\ \mathbf{i}_z \end{bmatrix}$ – единичный вектор от пользователя до спутника в кадре координат

ECEF WGS-84;

$$\mathbf{C} = \mathbf{R}^T \cdot \mathbf{R};$$

$$\varepsilon_C = \mathbf{C}_{\text{covariance}} \cdot \mathbf{SF};$$

$$\mathbf{SF} = 2^{(\text{scale exponent}-5)};$$

$$\mathbf{R} = \mathbf{E} \cdot \mathbf{SF};$$

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} E_{1,1} & E_{1,2} & E_{1,3} & E_{1,4} \\ 0 & E_{2,2} & E_{2,3} & E_{2,4} \\ 0 & 0 & E_{3,3} & E_{3,4} \\ 0 & 0 & 0 & E_{4,4} \end{bmatrix}.$$

Параметр $\mathbf{C}_{\text{covariance}}$ передается в сообщении типа 10. Масштаб экспоненты (scale exponent) и элементы матрицы \mathbf{E} передаются в сообщении типа 28.

И.4.7 Определение модели погрешностей σ_{UIRE} ионосферной коррекции.

Передаваемые ионосферные поправки. Если применяются ионосферные поправки СДКМ, то параметр σ_{UIRE}^2 определяется по формуле

$$\sigma_{\text{UIRE}}^2 = F_{\text{pp}}^2 \cdot \sigma_{\text{UIVE}}^2, \quad (\text{И.36})$$

где $\sigma_{\text{UIVE}}^2 = \sum_{n=1}^4 W_n \cdot \sigma_{n,\text{ionogrid}}^2$ или $\sigma_{\text{UIVE}}^2 = \sum_{n=1}^3 W_n \cdot \sigma_{n,\text{ionogrid}}^2$.

Причем используются те же самые весовые коэффициенты W_n для точек прокалывания ионосферы и точки ионосферной сетки, которые выбраны для ионосферной коррекции. Для каждой точки ионосферной сетки имеет место:

$$\sigma_{i, \text{ionogrid}}^2 = \begin{cases} (\sigma_{\text{GIVE}} + \varepsilon_{\text{iono}})^2, & \text{если } \text{RSS}_{\text{iono}} = 0, \\ \sigma_{\text{GIVE}}^2 + \varepsilon_{\text{iono}}^2, & \text{если } \text{RSS}_{\text{iono}} = 1, \end{cases} \quad (\text{И.37})$$

где $\varepsilon_{\text{iono}} = C_{\text{iono_step}} \left\lfloor \frac{t - t_{\text{iono}}}{I_{\text{iono}}} \right\rfloor + C_{\text{iono_ramp}} (t - t_{\text{iono}});$

$\text{RSS}_{\text{iono}}, C_{\text{iono_step}}, C_{\text{iono_ramp}}$ – параметры, передаваемые в сообщении типа 10 (см. 7.10);

t – текущее время;

t_{iono} – время передачи первого бита сообщения ионосферной коррекции на СДКМ;

$\lfloor x \rfloor$ – наибольшее целое, меньшее x .

Для спутников ГЛОНАСС параметры σ_{GIVE} и σ_{IONO} умножаются на квадрат отношения частот ГЛОНАСС и GPS $(f_{\text{GLONASS}}/f_{\text{GPS}})^2$.

И.4.8 Дисперсия ионосферных поправок.

Если ионосферные поправки СДКМ не применяются, то параметр σ_{UIRE}^2 имеет вид:

$$\sigma_{\text{UIRE}}^2 = \text{MAX} \left\{ \left(\frac{c \cdot T_{\text{iono}}}{5} \right)^2, (F_{\text{pp}} \cdot \tau_{\text{vert}})^2 \right\}, \quad (\text{И.38})$$

где c – скорость света в вакууме, равная 299 792 458 м/с;

T_{iono} – задержка в ионосфере по результатам оценки с помощью выбранной модели;

$$\tau_{\text{vert}} = \begin{cases} 9 \text{ м}, & 0 \leq |\phi_m| \leq 20, \\ 4,5 \text{ м}, & 20 < |\phi_m| \leq 55, \\ 6 \text{ м}, & 55 < |\phi_m|; \end{cases}$$

ϕ_m — геомагнитная широта земной проекции точки пересечения ионосферы (средняя высота ионосферы полагается равной 350 км), в градусах [6].

ПРИЛОЖЕНИЕ К

(обязательное)

Дополнительные материалы и сведения

К.1 Зона действия и зона обслуживания СДКМ

К.1.1 Необходимо различать понятия «зона действия СДКМ» и «зона обслуживания СДКМ в пределах зоны действия СДКМ».

Зона действия СДКМ определяется областью, в которой пользователь принимает сигнал от ГСО-спутника СДКМ, или получает ту же информацию СДКМ по наземным каналам связи.

Зона обслуживания СДКМ в пределах зоны действия СДКМ определена границами одной или нескольких, возможно не пересекающихся, областей, в пределах которых сервис-провайдер (т.е. организация, эксплуатирующая СДКМ) предоставляет доступ к функциям СДКМ для проведения НАП навигационной операции и обеспечивает требуемую точность и достоверность навигации.

На рисунке К.1 показаны зоны обслуживания для пяти SBAS-систем:

- широкозонной системы функционального дополнения WAAS;
- европейской системы навигационного обслуживания EGNOS;
- японской спутниковой системы функционального дополнения MSAS;
- индийской спутниковой системы функционального дополнения GAGAN;
- российской спутниковой системы функционального дополнения СДКМ.

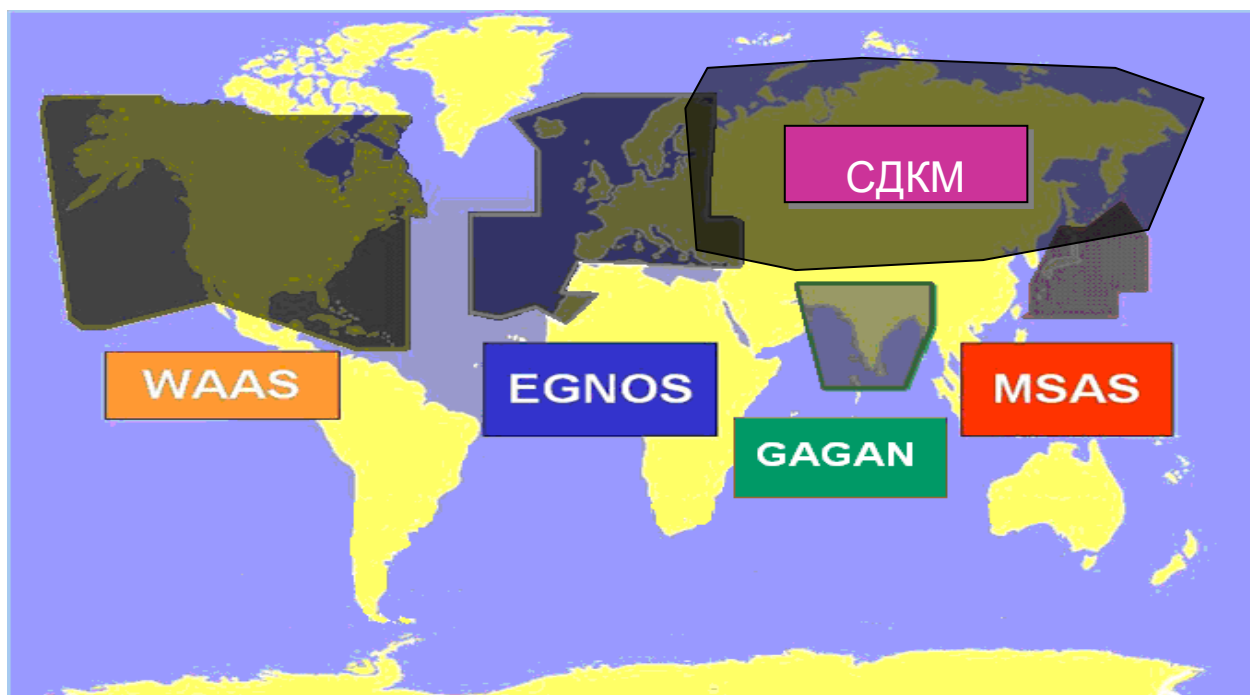


Рисунок К.1 – Зоны обслуживания SBAS-систем

Все системы – WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN – передают широкозонные поправки только для спутников системы GPS. В настоящее время функции MSAS осуществляются спутниками системы QZSS.

К.2 Расширенный перечень ПСП СДКМ

К.2.1 В настоящее время при тестировании систем SBAS может использоваться расширенный перечень ПСП и число доступных кодов увеличено с 19 до 39 (таблица К.1).

Таблица К.1 – Расширенный перечень допустимых ПСП для SBAS-систем

Номер ПСП	Задержка G2, чипы	Первые 10 чипов
120	145	0671
121	175	0536
122	52	1510
123	21	1545

Продолжение таблицы К.1

Номер ПСП	Задержка G2, чипы	Первые 10 чипов
124	237	0160
125	235	0701
126	886	0013
127	657	1060
128	634	0245
129	762	0527
130	355	1436
131	1 012	1226
132	176	1257
133	603	0046
134	130	1071
135	359	0561
136	595	1037
137	68	0770
138	386	1327
139	797	1472
140	456	0124
141	499	0366
142	883	0133
143	307	0465
144	127	0717
145	211	0217
146	121	1742
147	118	1422
148	163	1442
149	628	0523
150	853	0736
151	484	1635
152	289	0136

Продолжение таблицы К.1

Номер ПСП	Задержка G2, чипы	Первые 10 чипов
153	811	0273
154	202	1026
155	1021	0003
156	463	1670
157	568	0624
158	904	0235

К.3 Методы повышения точности навигационных определений с использованием системы СДКМ

К.3.1 Применение калибровки НАП

К.3.1.1 Кодовые межлитерные задержки ГЛОНАСС существенно снижают точность местоопределения потребителя, использующего СДКМ-поправки, так как не могут оцениваться в виде комбинации со смещениями показаний часов приёмника по аналогии с GPS. Использование калиброванной НАП или методов калибровки значительно улучшает точность навигации. Поэтому рекомендуется применять калибровку для повышения качества навигационного сервиса СДКМ. Методики проведения калибровок НАП GPS/ГЛОНАСС приведены, например, в [9-11].

К.3.2 Применение сглаживания псевдокодовых измерений псевдофазовыми измерениями

К.3.2.1 Измерения псевдодальности по каждому спутнику рекомендуется сглаживать с использованием измерений по несущей и сглаживающего фильтра [10]. Передаваемая корректирующая поправка СДКМ применима к

сглаженным по несущей частоте измерениям псевдодальности, выполненным без учета передаваемых спутником поправок к ионосфере и тропосфере. Сглаживание по несущей может осуществляться следующим фильтром:

$$P_{CSC,n} = \alpha P + (1 - \alpha) \left(P_{CSC,n-1} + \frac{\lambda}{2\pi} (\varphi_n - \varphi_{n-1}) \right), \quad (K.1)$$

где $P_{CSC,n}$ – сглаженная псевдодальность;

$P_{CSC,n-1}$ – предыдущее значение сглаженной псевдодальности;

P – необработанные («сырые») измерения псевдодальности, полученные при использовании схемы слежения по коду и несущей первого или более высокого порядка с односторонней шумовой полосой больше или равной 0,125 Гц;

λ – длина волны L1;

φ_n – фаза несущей;

φ_{n-1} – предыдущее значение фазы несущей;

α – весовая функция фильтра, равная интервалу выборки, деленному на постоянную времени 100 с.

Перечень принятых сокращений

ГНСС	– глобальная навигационная спутниковая система
ГСО	– геостационарная орбита
ГСО-спутник	– геостационарный спутник
ИКАО	– международная организация гражданской авиации (ИКАО)
ИКД	– интерфейсный контрольный документ
ИЦ	– информация целостности (радионавигационного поля ГНСС)
КА	– космический аппарат
КЗиК	– комплекс закладки и контроля
КИ	– корректирующая информация (поправки к эфемеридам и ЧВП)
МКСР	– многофункциональная космическая система ретрансляции
НАП	– навигационная аппаратура потребителя (пользователя)
НКА	– навигационный космический аппарат
ОГ	– орбитальная группировка
ПСП	– псевдослучайная последовательность (PRN)
СДКМ	– система дифференциальной коррекции и мониторинга
ССИ	– станция сбора измерений
ЦИ	– цифровая информация
ЦК	– циклический код (CRC)
ЦОД	– центр обработки данных
ЦС	– центральный синхронизатор
ЦУС	– центр управления системой
ЧВП	– частотно-временные поправки
ЭВИ	– эфемеридно-временная информация
BPSK	– binary phase shift keying (двухпозиционная фазовая манипуляция)
CRC	– cyclic redundancy check (контроль циклическим избыточным кодом)
ECEF	– earth-centered earth-fixed (гринвичская система координат)
ET	– ephemeris time (эфемеридное время)
DOP	– dilution of precision (фактор точности)
GDOP	– geometric dilution of precision (геометрический фактор точности)
GIVE	– grid ionospheric vertical error (вертикальная ионосферная погрешность в точках ионосферной сетки)
HAL	– horizontal alert limit (горизонтальный порог тревоги)
HDOP	– horizontal dilution of precision (геометрический фактор точности для плановых координат)
HPL	– horizontal protection level (горизонтальный защитный уровень)

IGP	– ionospheric grid point (точка ионосферной сетки)
IOD	– issue of data (идентификатор ЦИ)
IPP	– ionospheric pierce point (точка прокалывания ионосферы)
JD	– julian date (юлианская дата)
PDOP	– position dilution of precision (геометрический фактор точности для пространственных координат)
PRN	– pseudorandom noise (псевдослучайный шум, псевдошумовой; термин «PRN» часто означает «ПСП»)
PRN code	– псевдослучайная последовательность (ПСП)
RAIM	– receiver autonomous integrity monitoring (автономный контроль целостности в навигационной аппаратуре потребителя)
RMS	– root mean square (среднеквадратическое отклонение)
RTCA	– radio technical commission for aeronautics (комиссия по авиационным радиотехническим средствам)
RTCM	– radio technical commission for maritime services special committee (радиотехническая комиссия Специального комитета морской службы США)
Satcom	– satellite communication system
SARPs	– standards and recommended practices (стандарты и рекомендуемая практика ИКАО)
SBAS	– satellite-based augmentation system (спутниковая система функционального дополнения)
SNT	– SBAS network time (сетевое время SBAS)
SoL	– safety of life service (безопасное для жизни обслуживание)
TDOP	– time dilution of precision (геометрический фактор точности временного параметра)
TTA	– time to alert (время срабатывания сигнализации)
VAL	– vertical alert limit (вертикальный порог тревоги)
VDOP	– vertical dilution of precision (вертикальный фактор точности местоположения)
VPL	– vertical protection level (уровень защиты по вертикали)
UIRE	– user ionospheric range error (пользовательская ионосферная погрешность псевдодальности)
UDRE	– user differential range error (дифференциальная пользовательская погрешность измерения псевдодальности)
UERE	– user equivalent range error (пользовательская эквивалентная погрешность псевдодальности)
UERRE	– user equivalent range rate error (эквивалентная пользовательская погрешность измерения псевдодальности)
URA	– user range accuracy (пользовательская точность псевдодальности)
UT	– universal time (всемирное время)

UTC	– universal time coordinated (всемирное координированное время)
UTC (SU)	– universal time coordinated (SU) (всемирное координированное время государственного стандарта Российской Федерации)

Список использованных источников

1 Международные стандарты и Рекомендуемая практика (SARPs) Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации «Авиационная электросвязь», том 1, «Радионавигационные средства», ИКАО, изд. 7, июль 2018 г., включая поправку 92 к тому 1 Приложения 10 от 05.11.2020 г.

2 Wide Area Augmentation System (SBAS), Federal Aviation Administration Specification, FAA-E-2892B – U.S. Department of transportation, September 1999.

3 Minimum Operational Performance Standards for Airborne Supplemental Navigation Equipment Using Global Positioning System (GPS) - Document NO. RTCA/DO-208, Washington, 1991.

4 Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification - Document NO. RTCA/DO-178B, Washington, 1992.

5 Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System / Satellite-Based Augmentation System Airborne Equipment (SBAS) - Document NO. RTCA/DO-229E, Washington, 2016.

6 Global positioning systems directorate. Systems engineering & integration. Interface specification. IS-GPS-200. Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces, September, 2013.

7 Интернет ресурс <https://structure.mil.ru/files/pz-90.pdf>.

8 Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Общее описание системы с кодовым разделением сигналов. Редакция 1.0. Москва, 2016.

9 В.Е. Вовасов, Д.Н.Чунин. Устранение смещений взвешенных разностей псевдодальностей, полученных двухчастотным приемником СРНС GPS+ГЛОНАСС // РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ. 2017, том 4, выпуск 4, с. 15–23.

10 А.Н. Жуков, С.М. Зотов, И. Н. Тупицын, Д.Ю. Ченин. Повышение точности навигационных определений потребителей ГЛОНАСС с

использованием калибровочных поправок к измерениям псевдодальности, рассчитанных в системе высокоточного определения эфемерид и временных поправок. Радионавигационные технологии. Под редакцией А.И. Перова. М: Издательство «Радиотехника», 2016 г. – 146 стр.

11 Ю.В. Исаев, А.Н. Подкорытов Калибровка измерений псевдодальностей ГЛОНАСС совмещённого GPS/ГЛОНАСС приёмника для работы с поправками СДКМ // РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ. 2019, том 6, выпуск 3, с. 3–14.