

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.1787-2
(09/2014)

**Описание систем и сетей
радионавигационной спутниковой
службы (космос-Земля и космос-космос)
и технические характеристики
передающих космических станций,
работающих в полосах частот
1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц
и 1559–1610 МГц**

Серия М

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

Предисловие

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

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

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

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

Серии Рекомендаций МСЭ-R

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

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

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

Электронная публикация
Женева, 2015 г.

© ITU 2015

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

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.1787-2

**Описание систем и сетей радионавигационной спутниковой службы
(космос-Земля и космос-космос) и технические характеристики
передающих космических станций, работающих в полосах частот
1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц**

(Вопросы МСЭ-R 217-2/4 и МСЭ-R 288/4)

(2009-2012-2014)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлена информация об орбитальных параметрах, навигационных сигналах и технических характеристиках систем и сетей радионавигационной спутниковой службы (РНСС) (космос-Земля, космос-космос), работающих в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц. Эта информация предназначена для использования при осуществлении оценки воздействия помех между системами и сетями в РНСС между РНСС и другими службами и системами.

Ключевые слова

РНСС, орбитальные параметры, навигационные сигналы, технические характеристики.

Аббревиатуры/Глоссарий

ABAS	Aircraft-Based Augmentation System		Бортовая система дифференциальных поправок
CS	Commercial Service		Коммерческая служба
ECEF	Earth-centred, Earth-fixed		Геоцентрический неподвижный относительно Земли
GBAS	Ground-Based Augmentation System		Наземная система дифференциальных поправок
GMS	ground monitoring station		Наземная станция контроля
GTRF	Galileo Terrestrial Reference Frame		Наземная опорная сеть Galileo
GUS	ground uplink station		Станция связи на линии вверх
HA	high accuracy	BT	Высокая точность
ITRS	International Terrestrial Reference Frame		Международная наземная опорная сеть
MCS	Master Control Station		Главная станция управления
MRS	monitor and ranging station		Станция контроля и измерения дальности
NCS	network communication subsystem		Подсистема сети связи
OS	Open Service		Открытая служба
PNT	positioning, navigation and timing		Определение местоположения, навигация и синхронизация
PRN	pseudo-random noise		Псевдослучайный шум
PRS	Public Regulated Service		Управляемая государством служба
PSD	power spectral density		Плотность спектральной мощности
SA	standard accuracy	CT	Стандартная точность
SBAS	Satellite-Based Augmentation System		Спутниковая система дифференциальных поправок

SiS	signal-in-space	Сигнал в космосе
SPS	Standard Positioning Service	Служба стандартного определения местоположения
WAAS	Wide Area Augmentation System	Глобальная система распространения дифференциальных поправок

Соответствующие Рекомендации, Отчеты МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.1318-1 – Модель оценки непрерывных помех со стороны радиоисточников, кроме источников в радионавигационной спутниковой службе, системам и сетям радионавигационной спутниковой службы, работающим в полосах 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц, 1559–1610 МГц и 5010–5030 МГц

Рекомендация МСЭ-R М.1831-0 – Методика координации для оценки межсистемных помех в РНСС

Рекомендация МСЭ-R М.1901-1 – Руководство по Рекомендациям МСЭ-R, касающимся систем и сетей радионавигационной спутниковой службы, работающих в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц, 1559–1610 МГц, 5000–5010 МГц и 5010–5030 МГц

Рекомендация МСЭ-R М.1902-0 – Характеристики и критерии защиты приемных земных станций радионавигационной спутниковой службы (космос-Земля), работающих в полосе частот 1215–1300 МГц

Рекомендация МСЭ-R М.1903-0 – Характеристики и критерии защиты приемных земных станций радионавигационной спутниковой службы (космос-Земля) и приемников воздушной радионавигационной службы, работающих в полосе 1559–1610 МГц

Рекомендация МСЭ-R М.1904-0 – Характеристики, требования к показателям качества и критерии защиты приемных станций радионавигационной спутниковой службы (космос-космос), работающих в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц

Рекомендация МСЭ-R М.1905-0 – Характеристики и критерии защиты для приемных земных станций в радионавигационной спутниковой службе (космос-Земля), работающих в полосе частот 1164–1215 МГц

Рекомендация МСЭ-R М.2030-0 – Модель оценки импульсных помех от соответствующих источников радиосигналов, кроме источников в радионавигационной спутниковой службе, системам и сетям радионавигационной спутниковой службы, работающим в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц

Report ITU-R M.766-2 – Feasibility of frequency sharing between the GPS and other services

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

a) что системы и сети радионавигационной спутниковой службы (РНСС) на всемирной основе предоставляют точную информацию для множества применений определения местоположения, навигации и синхронизации, включая аспекты безопасности для некоторых полос частот и при определенных условиях и применениях;

b) что существует ряд работающих и планируемых к вводу в эксплуатацию систем и сетей РНСС;

c) что любая соответствующим образом оборудованная земная станция может принимать навигационную информацию от систем и сетей РНСС на всемирной основе,

признавая,

a) что полосы частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц распределены РНСС (космос-Земля и космос-космос) на первичной основе;

- b) что полосы частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц также распределены на первичной основе другим службам;
- c) что использование РНСС в полосе частот 1215–1300 МГц осуществляется в соответствии с п. 5.329 РР;
- d) что в соответствии с п. 5.328В РР работа систем и сетей РНСС, намеревающихся использовать полосы частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц, 1559–1610 МГц и 5010–5030 МГц, в отношении которых полная информация для координации или заявления, в зависимости от случая, получена Бюро радиосвязи после 1 января 2005 года, осуществляется в соответствии с положениями пп. 9.12, 9.12А и 9.13;
- e) что в соответствии с п. 9.7 РР станции спутниковых сетей РНСС, использующих ГСО, должны осуществлять координацию с другими подобными спутниковыми сетями;
- f) что в Рекомендациях МСЭ-R М.1905, МСЭ-R М.1902, МСЭ-R М.1903 и МСЭ-R М.1904 представлены технические и эксплуатационные характеристики и критерии защиты для приемных станций РНСС (космос-Земля и космос-космос), работающих в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц;
- g) что в Рекомендации МСЭ-R М.1318 представлена модель оценки непрерывных помех со стороны радиисточников, кроме источников в РНСС, системам и сетям РНСС работающим в полосах 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц, 1559–1610 МГц и 5010–5030 МГц;
- h) что в Рекомендации МСЭ-R М.2030 представлен метод оценки импульсных помех от соответствующих источников радиосигналов, кроме источников в РНСС, системам и сетям РНСС, работающим в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц;
- i) что в Рекомендации МСЭ-R М.1901 представлено руководство по этой и другим Рекомендациям МСЭ-R, касающимся систем и сетей РНСС, работающих в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц, 1559–1610 МГц, 5000–5010 МГц и 5010–5030 МГц;
- j) что в Отчете МСЭ-R М.766 содержится информация, относящаяся к функционированию РНСС в полосе частот 1215–1300 МГц;
- k) что в Рекомендации МСЭ-R М.1831 представлена методика оценки межсистемных помех в РНСС, которая должна использоваться при координации между системами и сетями в РНСС,

рекомендует,

1 что в полосах 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц должны использоваться характеристики, представленные в описании передающих космических станций и систем в Приложениях 1–10:

1.1 при определении методики и критериев для взаимной координации систем и сетей РНСС;

1.2 при оценке воздействия помех между системами и сетями РНСС (космос-Земля и космос-космос) и системами других служб с учетом статуса РНСС по сравнению с этими другими службами;

2 что следующее ПРИМЕЧАНИЕ должно рассматриваться как часть настоящей Рекомендации.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В приложениях к настоящей Рекомендации термин "диапазон частот сигнала" означает диапазон частот рассматриваемого сигнала РНСС (для систем CDMA: несущая частота \pm половина ширины полосы сигнала (если не указано иное); для систем FDMA: основная частота + (номер канала * частотное разнесение) \pm половина ширины полосы канала). Также должен быть приведен диапазон номеров каналов для систем FDMA. Диапазон частоты сигнала выражается в МГц.

Приложение 1

Техническое описание системы и характеристики передающих космических станций глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
1 Введение.....	4
1.1 Требования по частоте.....	4
2 Обзор системы.....	5
3 Описание системы.....	6
3.1 Космический сегмент.....	6
3.2 Сегмент управления.....	6
3.3 Пользовательский сегмент.....	6
4 Структура навигационного сигнала.....	6
5 Мощность и спектр сигналов.....	6

1 Введение

Система ГЛОНАСС состоит из 24 спутников, размещенных с равномерным сдвигом в трех орбитальных плоскостях, по восемь спутников в каждой плоскости. Угол наклона орбиты составляет 64,8°. Каждый спутник передает навигационные сигналы в трех диапазонах: L1 (1,6 ГГц), L2 (1,2 ГГц) и L3 (1,1 ГГц). Спутники различаются значением несущей частоты; одинаковая несущая частота может использоваться антиподными спутниками, расположенными в одной плоскости. Навигационные сигналы модулируются непрерывной двоичной последовательностью (которая содержит информацию об эфемеридах спутника и времени), а также псевдослучайным кодом для измерений псевдодалности. Пользователь, получающий сигналы от четырех или более спутников, имеет возможность определить с высокой точностью три координаты местоположения и три составляющие вектора скорости. Навигационные определения возможны при нахождении на поверхности Земли или около нее.

1.1 Требования по частоте

В основе требований по частоте для системы ГЛОНАСС лежат прозрачность ионосферы, бюджет радиолиний, простота пользовательских антенн, подавление многолучевости, стоимость оборудования и положения Регламента радиосвязи (РР). Несущие частоты различаются на 0,5625 МГц в диапазоне L1, на 0,4375 МГц в диапазоне L2 и на 0,423 МГц в диапазоне L3.

С 2006 года новые спутники в системе ГЛОНАСС используют от 14 до 20 несущих частот в разных диапазонах. В диапазоне L1 используются несущие частоты от 1598,0625 МГц (нижняя) до 1605,3750 МГц (верхняя), в диапазоне L2 используются несущие частоты от 1242,9375 МГц (нижняя) до 1248,6250 МГц (верхняя), в диапазоне L3 используются несущие частоты от 1201,7430 МГц (нижняя) до 1209,7800 МГц (верхняя). Номинальные значения несущих частот для навигационных радиосигналов, используемые в системе ГЛОНАСС, приведены в таблице 1-1.

ТАБЛИЦА 1-1

**Номинальные значения несущих частот для навигационных радиосигналов
в системе ГЛОНАСС**

К (№ несущей частоты)	F_K^{L1} (МГц)	F_K^{L2} (МГц)	F_K^{L3} (МГц)
12	–	–	1 209,7800
11	–	–	1 209,3570
10	–	–	1 208,9340
09	–	–	1 208,5110
08	–	–	1 208,0880
07	–	–	1 207,6650
06	1 605,3750	1 248,6250	1 207,2420
05	1 604,8125	1 248,1875	1 206,8190
04	1 604,2500	1 247,7500	1 206,3960
03	1 603,6875	1 247,3125	1 205,9730
02	1 603,1250	1 246,8750	1 205,5500
01	1 602,5625	1 246,4375	1 205,1270
00	1 602,0000	1 246,0000	1 204,7040
–01	1 601,4375	1 245,5625	1 204,2810
–02	1 600,8750	1 245,1250	1 203,8580
–03	1 600,3125	1 244,6875	1 203,4350
–04	1 599,7500	1 244,2500	1 203,0120
–05	1 599,1875	1 243,8125	1 202,5890
–06	1 598,6250	1 243,3750	1 202,1660
–07	1 598,0625	1 242,9375	1 201,7430

На каждой несущей частоте осуществляется передача двух фазоманипулированных (на 180° по фазе) навигационных сигналов со сдвигом по фазе на 90° (в квадратуре). Этими сигналами являются сигнал стандартной точности (СТ) и сигнал высокой точности (ВТ).

2 Обзор системы

Система ГЛОНАСС обеспечивает навигационную информацию и сигналы точного времени для наземных, морских и космических пользователей.

Система работает по принципу пассивной трилатерации. Оборудование пользователей системы ГЛОНАСС осуществляет измерение псевдодалности и радиальной псевдоскорости по всем видимым спутникам и принимает информацию об эфемеридах спутников и параметры времени. На основании этих данных рассчитываются три координаты местоположения пользователя и три составляющих вектора скорости, а также выполняется корректировка по времени и частоте. В системе ГЛОНАСС используется система координат ПЗ-90.

3 Описание системы

Систему ГЛОНАСС составляют три основных сегмента: космический сегмент, сегмент управления и пользовательский сегмент.

3.1 Космический сегмент

Система ГЛОНАСС состоит из 24 спутников, размещенных в трех орбитальных плоскостях, по восемь спутников в каждой плоскости. Плоскости разнесены между собой по долготе на 120° . Угол наклона орбиты составляет $64,8^\circ$. Спутники в плоскости размещены с равномерным сдвигом по аргументу широты 45° . Период их обращения составляет 11 час. 15 мин. Высота орбиты составляет 19 100 км.

3.2 Сегмент управления

Сегмент управления состоит из центра управления системой и сети станций контроля. Станции контроля осуществляют измерение орбитальных параметров спутников и сдвига по времени относительно главных часов системы. Эти данные передаются в центр управления системой. В центре на ежедневной основе производится вычисление эфемерид и параметров коррекции времени и передача сообщений на спутники через станции контроля.

3.3 Пользовательский сегмент

Пользовательский сегмент состоит из большого числа пользовательских терминалов разных типов. Пользовательский терминал образуют антенна, приемник, процессор и устройство ввода-вывода. Это оборудование может использоваться в сочетании с другими навигационными приборами для повышения точности и надежности навигации. Такое сочетание может быть особенно полезным для платформ, характеризующихся высоким уровнем динамичности.

4 Структура навигационного сигнала

Структура сигнала СТ одинакова в обоих диапазонах L1 и L2 и отличается в диапазоне L3. Это псевдослучайная последовательность, которая суммируется по модулю два с непрерывным потоком двоичных данных, передаваемых со скоростью 50 бит/с (L1, L2) и 125 бит/с (L3). Псевдослучайная последовательность характеризуется частотой следования чипов 0,511 МГц (для L1, L2) и 4,095 МГц (для L3) и периодом повторения 1 мс.

В диапазонах L1, L2 и L3 сигнал ВТ является также псевдослучайной последовательностью, которая суммируется по модулю два с непрерывным потоком двоичных данных. Частота чипов в этой псевдослучайной последовательности составляет 5,11 МГц в диапазонах L1 и L2 и 4,095 МГц в диапазоне L3.

Двоичные данные содержат информацию об эфемеридах спутников, времени и другую полезную информацию.

5 Мощность и спектр сигналов

Передаваемые сигналы имеют эллиптическую правую круговую поляризацию с коэффициентом эллиптичности не хуже 0,7 в диапазонах L1, L2 и L3. Минимальная гарантируемая мощность сигнала на входе приемника (предполагая усиление антенны 0 дБи) определяется как -161 дБВт (-131 дБм) для сигналов СТ и ВТ в диапазонах L1, L2 и L3.

В системе ГЛОНАСС используются три класса излучения: 8M19G7X, 1M02G7X, 10M2G7X. Характеристики этих сигналов приведены в таблице 1-2.

ТАБЛИЦА 1-2

Характеристики сигналов системы ГЛОНАСС

Частотный диапазон	Класс излучения	Ширина полосы передатчика (МГц)	Максимальная пиковая мощность излучения (дБВт)	Максимальная спектральная плотность мощности (дБ(Вт/Гц))	Усиление антенны (дБ)
L1	10M2G7X	10,2	15	-52	11
	1M02G7X	1,02	15	-42	
L2	10M2G7X	10,2	14	-53	10
	1M02G7X	1,02	14	-43	
L3 ⁽¹⁾	8M19G7X	8,2	15	-52,1	12
	8M19G7X	8,2	15	-52,1	

⁽¹⁾ Два сигнала ГЛОНАСС сдвинуты относительно друг друга на 90° (в квадратуре).

Огибающая спектральной мощности навигационного сигнала описывается функцией $(\sin x/x)^2$, где:

$$x = \pi(f - f_c) / f_t,$$

где:

- f : рассматриваемая частота;
- f_c : несущая частота сигнала;
- f_t : частота чипов.

Главный лепесток спектра образует оперативный спектр сигнала. Он занимает ширину полосы, эквивалентную $2f_t$. Ширина лепестков эквивалентна f_t .

Приложение 2

Техническое описание и характеристики Глобальной системы определения местоположения (GPS) Navstar

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
1 Введение.....	8
1.1 Требования по частоте системы GPS	8
2 Обзор системы	8
3 Сегменты системы	9
3.1 Космический сегмент.....	9
3.2 Сегмент управления.....	9
3.3 Пользовательский сегмент	9

4	Структура сигнала GPS	10
5	Мощность и спектр сигналов.....	10
6	Параметры передачи GPS.....	10
6.1	Параметры передачи сигналов L1 GPS.....	11
6.2	Параметры передачи сигналов L2 GPS.....	13
6.3	Параметры передачи сигналов L5 GPS.....	14

1 Введение

Текущая информация о Глобальной системе определения местоположения (GPS) Navstar бесплатно доступна по адресу: <http://www.gps.gov/pros/>. Информация о системе GPS, работающей в диапазонах 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц, включена в новейшие версии спецификаций интерфейса IS-GPS-GPS-200 и IS-GPS-800, содержащие последние по времени уведомления об их пересмотрах. Информация о системе GPS, работающей в диапазоне 1164–1215 МГц, включена в новейшую версию спецификации интерфейса GPS IS-GPS-705, содержащую последние по времени уведомления о его пересмотрах. Дополнительная информация о космическом сегменте и сегменте управления GPS содержится в документе *GPS SPS Performance Standard*.

Основная спутниковая группировка GPS состоит минимально из 24 находящихся в эксплуатации спутников, размещенных с равномерным сдвигом в шести орбитальных плоскостях, угол наклона которых составляет 55°. Спутники GPS облетают Землю каждый 12 часов, излучая непрерывные навигационные сигналы. Система обеспечивает точное определение пространственного местоположения в любой точке на поверхности Земли или около нее.

1.1 Требования по частоте системы GPS

В основе требований по частоте для системы GPS лежит оценка требований пользователей к точности, точность учета задержки распространения в направлении космос-Земля, подавление многолучевости, стоимость оборудования, а также конфигурации. Два канала имеют центр на частоте 1575,42 МГц (сигнал GPS L1) и на частоте 1227,6 МГц (сигнал GPS L2). Центром третьего канала GPS является частота 1176,45 МГц (сигнал GPS L5), и этот канал поддерживает применения для гражданской авиации.

Канал L1 используется для определения местоположения пользователя с точностью 22 м. Второй сигнал, передаваемый по обоим каналам, L1 и L2, обеспечивает для $P(Y)$ -кодовых приемников необходимое частотное разнесение и увеличение ширины полосы для повышения точности измерения дальности при определении времени задержки на распространение в направлении Земля-космос и подавлении многолучевости в целях повышения общей точности на порядок величины. Для обеспечения необходимого частотного разнесения и увеличения ширины полосы для повышения точности измерения дальности при определении времени задержки на распространение в направлении Земля-космос и резервировании могут использоваться любые сочетания двух и более каналов. Сигналы гражданского назначения L1 и L5 обеспечивают эти возможности для приемников гражданской авиации, а сигналы L1, L2 и L5 также обеспечивают эту возможность для приемников коммерческого класса.

2 Обзор системы

GPS – это непрерывно функционирующая всепогодная радиосистема космического базирования, предназначенная для навигации, определения местоположения и передачи сигналов времени и обеспечивающая чрезвычайно точное определение пространственного местоположения и информацию о скорости с точной привязкой к единому времени для пользователей, имеющих соответствующее оборудование и находящихся в любой точке на поверхности Земли или около нее.

Система работает по принципу пассивной трилатерации. Оборудование пользователя GPS сначала выполняет измерение псевдодальности до четырех спутников, рассчитывает их позиции и синхронизирует их сигналы времени с GPS с помощью полученных эфемерид и параметров коррекции времени. (Измерения называются "псевдо", поскольку они выполняются по неточным часам пользователя и содержат постоянную ошибку смещения вследствие смещения часов пользователя относительно времени GPS.) Затем оборудование определяет пространственное местоположение пользователя в геоцентрической неподвижной относительно Земли декартовой системе координат (ECEF) – Всемирной геодезической системе 1984 года (WGS-84) и смещение пользовательских часов относительно времени GPS путем вычисления совместного решения четырех уравнений дальности.

Аналогично пространственная скорость пользователя и величина поправки часов могут определяться путем решения четырех уравнений скорости изменения дальности по измерениям скорости изменения псевдодальности до четырех спутников.

Для гражданских пользователей GPS обеспечивает службу стандартного определения местоположения (SPS).

3 Сегменты системы

Система состоит из трех основных сегментов: космического сегмента, сегмента управления и пользовательского сегмента. Ниже описаны основные функции каждого сегмента.

3.1 Космический сегмент

Космический сегмент образуют спутники GPS, которые функционируют как "небесные" опорные точки, излучающие из космоса точные кодированные по времени навигационные сигналы. Действующая группировка состоит минимально из 24 спутников, находящихся на 12-часовых орбитах, большая полуось которых составляет 26 600 км. Спутники размещены в шести орбитальных плоскостях, наклонение которых относительно экватора составляет 55°. Как правило, в каждой плоскости размещено не менее четырех спутников.

Спутник представляет собой стабилизированный по трем осям космический аппарат. Основными элементами его главной навигационной полезной нагрузки являются атомные стандарты частоты для точной синхронизации, процессор для хранения навигационных данных, схема сигналов псевдослучайного шума (PRN) для генерирования сигнала измерения дальности, и передающая антенна диапазона L. Одночастотные передачи обеспечивают базовую навигацию, а многочастотные передачи позволяют скорректировать время распространения сигнала с учетом задержки в ионосфере.

3.2 Сегмент управления

Сегмент управления состоит из главной станции управления (MCS), наземных антенн и сети станций контроля. На MCS лежит ответственность за все аспекты управления группировкой и контроля ее функционирования.

3.3 Пользовательский сегмент

Пользовательский сегмент объединяет в себе все пользовательские установки и поддерживающее их оборудование. Пользовательская установка состоит, как правило, из антенны, приемника/процессора GPS, компьютера и устройств ввода-вывода. Эта установка захватывает и прослеживает навигационный сигнал от четырех или более спутников, находящихся в зоне видимости, измеряет время распространения этих сигналов и доплеровские сдвиги частоты, преобразует их в значения псевдодальности и скорости изменения псевдодальности и определяет пространственное положение и скорость, а также устанавливает время GPS (время GPS отличается от времени UTC, но разница составляет менее секунды, и сигналы GPS несут информацию для преобразования между этими двумя значениями. Кроме того, время GPS является постоянным, а время UTC имеет корректировочную секунду.) Пользовательское оборудование может быть весьма разнообразным – от относительно простого и имеющего небольшую массу приемника до сложных приемников, объединенных с другими навигационными датчиками или системами для обеспечения точности в среде, отличающейся высокой динамичностью.

4 Структура сигнала GPS

Передаваемый со спутника навигационный сигнал GPS содержит три модулированных несущих частоты: L1 с центральной частотой 1575,42 МГц ($154 f_0$), L2 с центральной частотой 1227,6 МГц ($120 f_0$), и L5 с центральной частотой 1176,45 МГц ($115 f_0$), где $f_0 = 10,23$ МГц. f_0 – это выход бортового атомного стандарта частоты, с которым когерентно связаны все генерируемые сигналы. Ниже представлен перечень сигналов на каждой несущей частоте GPS (и более подробно описаны сигналы, имеющие более одного компонента) и приведено краткое описание РЧ параметров и параметров обработки сигналов.

На несущей частоте L1 GPS передает три сигнала. Это сигналы L1 C/A, L1 P(Y) и L1C, описание которых представлено в разделе 6.1, ниже.

На несущей частоте L2 GPS передает три сигнала. Это сигналы L2 C/A, L2 P(Y) и L2C, описание которых представлено в разделе 6.2, ниже.

На несущей частоте L5 GPS передает один сигнал, обозначаемый как L5. Сигнал L5 имеет два компонента, которые передаются со сдвигом по фазе на 90° и описание которых представлено в разделе 6.3, ниже.

В таблицах 2-1, 2-2 и 2-3 представлены перечни значений основных параметров передачи сигналов GPS L1, L2 и L5, соответственно. Эти параметры включают следующие РЧ характеристики: частотный диапазон сигнала; ширину полосы по уровню 3 дБ спутникового фильтра РЧ передатчика; метод модуляции сигналов; минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на входе антенны передатчика, расположенного на поверхности Земли.

Также в этих таблицах содержатся параметры цифровой обработки сигналов, в том числе чиповая скорость кода PRN и значения цифровой скорости передачи данных и элементов навигационного сообщения. Кроме того, для каждой несущей частоты представлены параметры поляризации и максимальной эллиптичности спутниковой передающей антенны.

Функция кодов определения дальности (также называемых кодами PRN) является двойной:

- они обеспечивают хорошие свойства множественного доступа к разным спутникам, поскольку все спутники осуществляют передачу на одинаковых несущих частотах и отличаются один от другого только уникальными используемыми кодами PRN; и
- их корреляционные свойства позволяют осуществлять точное измерение времени прибытия и отбрасывать сигналы, вызванные многолучевостью и помехами.

Значения, представленные в таблицах 2-1, 2-2 и 2-3, являются рекомендованными для использования в процессе начальной оценке совместимости по РЧ с GPS.

5 Мощность и спектр сигналов

На спутниках GPS используются антенны с формированием луча, которые излучают сигналы с практически равномерным распределением мощности, предназначенные для приемников, находящихся около поверхности Земли. Сигналы, передаваемые на несущих частотах L1, L2 и L5, имеют правую круговую поляризацию с эллиптичностью, худшие случаи которой представлены в таблицах 2-1, 2-2 и 2-3 для углового диапазона $\pm 14,3^\circ$ от надира.

6 Параметры передачи GPS

Характеристики передачи сигналов GPS приведены ниже.

Кроме фазовой манипуляции (PSK) в GPS используется модуляция с бинарным разделением несущей частоты (BOC). BOC(m,n) означает модуляцию с бинарным разделением несущей частоты со смещением несущей частоты $m \times 1,023$ (МГц), кодовой скоростью $n \times 1,023$ (Мчип/с), нормализованной спектральной плотностью мощности, которая определяется выражением:

$$BOC_{m,n}(f) = f_c \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi f}{f_c}\right) \tan\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right)}{\pi f} \right]^2,$$

где:

f : частота (МГц);

f_c : чиповая скорость; т. е. $n \times 1,023$ Мчип/с;

f_s : частота смещения прямоугольного импульса несущей; т. е. $m \times 1,023$ МГц.

Модуляция ВОС, используемая в GPS, создает дополнительные фазовые переходы в пределах каждого периода чипа развертывающегося кода PRN. Количество дополнительных фазовых переходов является функцией m и n , которые описаны выше, и составляет (m/n) раз чиповой скорости кода PRN.

6.1 Параметры передачи сигналов L1 GPS

GPS использует для работы несколько сигналов в полосе РНСС 1559–1610 МГц. Это сигналы L1 C/A, L1C и L1 P(Y). Сигнал L1C состоит из двух компонентов. Один компонент, обозначаемый как L1C_D, модулируется содержащим данные сообщением, а другой, обозначаемый как L1C_P, данных не содержит (т. е., является только пилотным), и в этих компонентах используются разные коды PRN. (Не содержащий данных компонент улучшает характеристики определения местоположения и слежения РНСС.) Компонент L1 P(Y) и оба компонента L1C передаются в фазе, а C/A передается со сдвигом по фазе на 90° по отношению к данным сигналам и запаздывает на 90°. Основные параметры передач L1 GPS представлены в таблице 2-1.

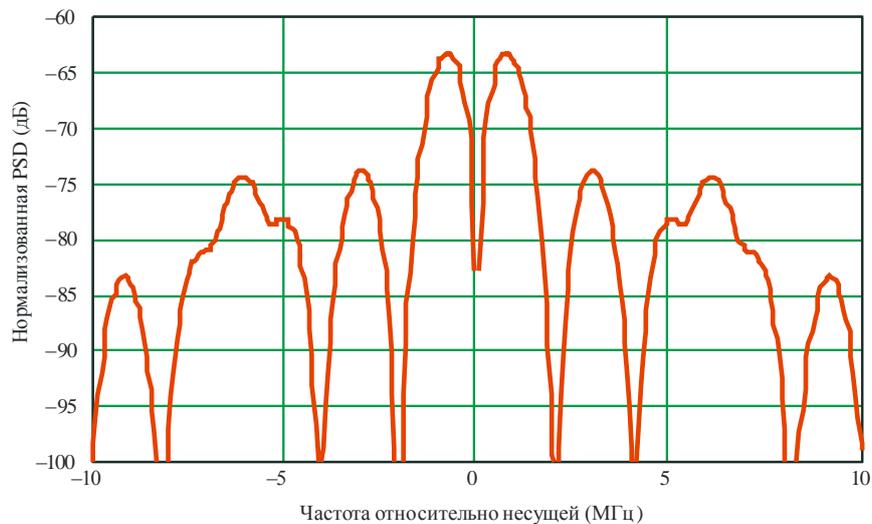
Для сигнала L1C_D используется модуляция ВОС(1,1). Для сигнала L1C_P используется модуляция, называемая мультиплексированная ВОС (МВОС), и он мультиплексируется в период времени между ВОС(1,1) и ВОС(6,1). МВОС имеет нормализованную плотность спектральной мощности (PSD), определяемую выражением:

$$MBOC(f) = \frac{29}{33} BOC_{1,1}(f) + \frac{4}{33} BOC_{6,1}(f).$$

Общая PSD компонентов L1C показана на рисунке 1 и определяется выражением:

$$S(f) = \frac{1}{4} BOC_{1,1}(f) + \frac{3}{4} MBOC(f) = \frac{10}{11} BOC_{1,1}(f) + \frac{1}{11} BOC_{6,1}(f).$$

РИСУНОК 1
PSD сигнала L1C



М.1787-01

ТАБЛИЦА 2-1

Передача сигнала L1 GPS в полосе частот 1559–1610 МГц

Параметр	Значение параметра
Частотный диапазон сигнала (МГц)	1 575,42 ± 15,345
Чиповая скорость кода PRN (Мчип/с)	1,023 (C/A, L1C _D и L1C _P) 10,23 (P(Y))
Скорость передачи битов навигационных данных (бит/с)	50 (C/A, P(Y) и L1C _D)
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	50 (C/A и P(Y)) 100 (L1C _D)
Метод модуляции сигнала	BPSK-R(1) (C/A) BPSK-R(10) (P(Y)) BOC (1,1) (L1C _D) MBOC (L1C _P) (См. Примечание 3) (См. Примечание 1)
Поляризация	RHCP
Эллиптичность (дБ)	Максимально 1,8
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на выходе эталонной антенны (дБВт)	-158,5 (C/A) -163,0 (L1C _D) -158,25 (L1C _P) -161,5 (P(Y)) (См. Примечание 2)
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	30,69

Примечания к Таблице 2-1:

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для параметров GPS РНСС BPSK-R(n) означает бинарную фазовую манипуляцию с использованием прямоугольных чипов, скорость передачи которых составляет $n \times 1,023$ (Мчип/с). BOC(m,n) означает модуляцию с бинарным разделением несущей частоты со смещением несущей частоты $m \times 1,023$ (МГц) и чиповой скоростью $n \times 1,023$ (Мчип/с).

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Минимальная принимаемая мощность измеряется на выходе линейно поляризованной эталонной приемной пользовательской антенны 3 дБи (расположенной около поверхности Земли) для худшего случая нормальной ориентации, когда спутник находится выше угла места 5° над горизонтом Земли в направлении наблюдения от поверхности Земли.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Более подробно MBOC описана в разделе, предшествующем настоящей таблице.

6.2 Параметры передачи сигналов L2 GPS

GPS использует для работы несколько сигналов в полосе РНСС 1215–1300 МГц. Это сигналы L2 C/A (редко), L2C и L2 P(Y). Сигнал гражданского назначения L2C состоит из канала навигационных данных с временным разделением (называемым просто каналом данных) и канала, в котором отсутствуют данные (также называемым пилотным каналом), передаваемых когерентными по фазе. Эти два сигнала используют разные PRN. Основные параметры передач L2 GPS представлены в таблице 2-2.

ТАБЛИЦА 2-2

Передача сигналов L2 GPS в полосе частот 1215–1300 МГц

Параметр	Значение параметра
Частотный диапазон сигнала (МГц)	$1\,227,6 \pm 15,345$
Чиповая скорость кода PRN (Мчип/с)	1,023 (C/A и L2C) 10,23 (P(Y))
Скорость передачи битов навигационных данных (бит/с)	50 (C/A и P(Y)) 25 (L2C)
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	50 (C/A, P(Y) и L2C)
Метод модуляции сигнала	BPSK-R(1) (C/A и L2C) BPSK-R(10) (P(Y)) (См. Примечание 1)
Поляризация	РНСП
Эллиптичность (дБ)	Максимально 3,2
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на выходе эталонной антенны (дБВт)	-164,5 (C/A и P(Y)) -160,0 (L2C) (См. Примечание 2)
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	30,69

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для параметров GPS РНСС BPSK-R(n) означает бинарную фазовую манипуляцию с использованием прямоугольных чипов, скорость передачи которых составляет $n \times 1,023$ (Мчип/с). BOC(m,n) означает модуляцию с бинарным разделением несущей частоты со смещением несущей частоты $m \times 1,023$ (МГц) и чиповой скоростью $n \times 1,023$ (Мчип/с).

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Минимальная принимаемая мощность измеряется на выходе линейно поляризованной эталонной приемной пользовательской антенны 3 дБи (расположенной около поверхности Земли) для худшего случая нормальной ориентации, когда спутник находится выше угла места 5° над горизонтом Земли в направлении наблюдения от поверхности Земли.

6.3 Параметры передачи сигналов L5 GPS

GPS использует для работы навигационный сигнал L5 в полосе РЧСС 1164–1215 МГц. Сигнал L5 имеет два компонента, L5I и L5Q. L5Q не содержит данных (также называется пилотным каналом). Компонент L5I модулируется содержащим данные сообщением, обеспечивая информацию синхронизации, навигации и определения местоположения. Эти два компонента сигнала L5 работают со сдвигом по фазе на 90°, используют различные коды PRN и передаются с равной мощностью. Основные параметры передач L5 GPS представлены в таблице 2-3.

ТАБЛИЦА 2-3

Передача сигналов L5 GPS в полосе частот 1164–1215 МГц

Параметр	Значение параметра
Частотный диапазон сигнала (МГц)	1 176,45 ± 12
Чиповая скорость кода PRN (Мчип/с)	10,23
Скорость передачи битов навигационных данных (бит/с)	50 (L5I)
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	100 (L5I)
Метод модуляции сигнала	BPSK-R(10) (См. Примечание 1)
Поляризация	RHCP
Эллиптичность (дБ)	Максимально 2,4
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на выходе эталонной антенны (дБВт)	-157,9 (L5I) -157,9 (L5Q) (См. Примечание 2)
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	24

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для параметров GPS РЧСС BPSK-R(*n*) означает бинарную фазовую манипуляцию с использованием прямоугольных чипов, скорость передачи которых составляет $n \times 1,023$ (Мчип/с).

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Минимальная принимаемая мощность измеряется на выходе линейно поляризованной эталонной приемной пользовательской антенны 3 дБи (расположенной около поверхности Земли) для худшего случая нормальной ориентации, когда спутник находится выше угла места 5° над горизонтом Земли в направлении наблюдения от поверхности Земли. Общая принимаемая мощность комбинации сигналов L5I и L5Q со сдвигом на 90° составляет -154,9 дБВт. В системах GPS следующего поколения, находящихся в стадии комплектования, передаваемая мощность будет увеличена до -157,0 дБВт (L5I) и до -157,0 дБВт (L5Q). Однако последствия такого увеличения мощности еще подлежат изучению.

Приложение 3

Техническое описание и характеристики системы Galileo

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
1 Введение.....	15
1.1 Требования по частоте	15
2 Обзор системы.....	16
2.1 Применения системы Galileo	16

Стр.

3	Сегменты системы	17
3.1	Космический сегмент.....	17
3.2	Наземный сегмент	17
3.3	Пользовательский сегмент	17
4	Структура сигнала Galileo	18
4.1	Сигнал E1 Galileo	18
4.2	Сигнал E1 Galileo	19
4.3	Сигнал E5 Galileo	20

1 Введение

Систему Galileo образует группировка из 30 спутников (24 передающих спутника и шесть активных запасных, находящихся на орбите) по десять спутников, расположенных в каждой из трех равно разнесенных орбитальных плоскостей, угол наклоения которых составляет 56° . Каждый спутник осуществляет передачу навигационных сигналов на трех несущих частотах. Эти сигналы модулированы структурированной двоичной последовательностью, содержащей кодированные данные об эфемеридах и навигационные сообщения, и имеют достаточную ширину полосы для обеспечения необходимой навигационной точности без применения двусторонней передачи или доплеровских сдвигов. Система обеспечивает точное определение времени и пространственного местоположения в трех измерениях в любой точке на поверхности Земли или около нее.

1.1 Требования по частоте

В основе требований по частоте для системы Galileo лежит оценка требований пользователей к точности, точности учета задержки распространения в направлении космос-Земля, подавления многолучевости, стоимости оборудования, а также конфигурации. Спутники Galileo осуществляют непрерывную передачу четырех когерентных, но независимо используемых радиочастотных сигналов, центром которых являются частоты (в круглых скобках указаны названия соответствующих сигналов) 1176,45 МГц (E5a); 1207,14 МГц (E5b); 1278,75 МГц (E6) и 1575,42 МГц (E1). Кроме того, сигналы E5a и E5b мультиплексируются с одной модуляцией, которая называется AltBOC (альтернативный сигнал BOC), в котором используется одна несущая частота 1191,795 МГц.

Таким образом система Galileo осуществляет передачу на трех несущих частотах для пользователей своих сигналов:

- E5: 1191,795 МГц;
(его компоненты также могут быть получены независимо с использованием виртуальных несущих E5a: 1176,450 МГц и E5b: 1207,140 МГц)
- E6: 1278,750 МГц; и
- E1: 1575,420 МГц.

Вся совокупность десяти сигналов, мультиплексированных и модулированных в три несущие, передается и преобразуется для обеспечения служб "определение местоположения/навигация/синхронизация" (PNT) в различных конфигурациях – "служб" Galileo. Могут быть спроектированы приемники для обработки одного или нескольких сигналов, в зависимости от конкретного применения, потребностей пользователей и/или целевого рынка.

Все компоненты сигналов (несущие, поднесущие, цифровые скорости передачи данных) когерентно выводятся по бортовым общим атомным часам.

По сравнению с узкополосными одночастотными навигационными сигналами, разнесение частот и ширина полосы сигналов в системе Galileo позволяют повысить точность дальности при определении задержки распространения в направлении космос-Земля и улучшают подавление многолучевости, и оба этих аспекта повышают общую точность.

2 Обзор системы

Система Galileo – это непрерывно функционирующая всепогодная система космического базирования, предназначенная для радионавигации, определения местоположения и передачи сигналов времени, которая позволяет чрезвычайно точно определять пространственное местоположение и информацию о скорости с точной привязкой к единому времени, и эти данные будут предоставляться пользователям, имеющим соответствующее оборудование.

Система работает по принципу пассивной трилатерации. Как только оборудование пользователя Galileo получает сигналы от не менее четырех спутников Galileo, оно выполняет измерение псевдодальности спутников, рассчитывает их позиции и синхронизирует их сигналы времени с системным временем Galileo с использованием полученных эфемерид и параметров коррекции времени. Затем приемник определяет пространственное местоположение пользователя в Наземной опорной сети Galileo (GTRF), совместимой с Международной наземной опорной сетью (ITRS), и смещение пользовательских часов относительно времени Galileo путем вычисления совместного решения четырех уравнений дальности.

Аналогично, пространственная скорость и величина поправки часов пользователя могут определяться путем решения четырех уравнений скорости изменения дальности по измерениям скорости изменения псевдодальности до четырех спутников. Измерения называются "псевдо", поскольку они выполняются по неточным (недорогим) часам пользователя в приемнике и содержат постоянную ошибку смещения вследствие смещения часов пользователя относительно времени Galileo.

2.1 Применения системы Galileo

Массовый рынок

Система Galileo предоставляет открытую бесплатную службу определения местоположения, навигации и синхронизации (PNT), обеспечивающую возможность целого ряда применений, в частности предназначенных для населения в целом. Эта служба обслуживает те же сообщества пользователей, что и служба стандартного определения местоположения GPS; передаваемые сигналы совместимы с GPS, так что будут возможны связанные с PNT комбинированные решения GPS и Galileo.

Авиация, морской, автодорожный и железнодорожный транспорт

Сигналы Galileo E1 и E5 предназначены для обеспечения работы востребованных применений, связанных с безопасностью (в особенности в авиации), и в долгосрочной перспективе позволят двухчастотным приемникам предоставлять более надежные, четкие и точные навигационные координаты, чем одночастотные приемники.

Коммерческие

Система Galileo обеспечивает службу по распространению зашифрованных коммерческих данных, упрощающую разработку профессиональных применений и обеспечивающую повышение производительности по сравнению с базовой службой, в частности в аспекте гарантий обслуживания и аутентификации сигналов.

Государственный сектор

Система Galileo обеспечивает надежную и строго зашифрованную "управляемую государством службу (PRS)", доступ к которой имеют только государственные органы, ответственные за гражданскую оборону, национальную безопасность и охрану правопорядка.

Поиск и спасание

Служба поиска и спасания (SAR) Galileo является существенным вкладом в международную систему КОСПАС-САРСАТ, играя важную роль в системе поиска и спасания на средней околоземной орбите (MEOSAR). Спутники Galileo способны обнаруживать сигналы бедствия (на частоте 406 МГц), передаваемые аварийными радиомаяками, расположенными на судах, самолетах или персональных портативных пользовательских терминалах, данные о местоположении которых затем отсылаются в национальные спасательные центры. В любой данный момент времени по крайней мере один спутник Galileo виден из какого-либо местоположения на Земле, что дает возможность обнаруживать и идентифицировать сигналы бедствия и определять их местоположение почти в реальном времени. Получение каждого сигнала бедствия можно активно подтвердить с помощью возвращаемого сообщения, чтобы указать, что сигнал бедствия был получен. Это также позволит радиомаяку высвободить канал чрезвычайной связи.

3 Сегменты системы

Систему образуют три основных сегмента: космический сегмент, сегмент управления и пользовательский сегмент. Ниже описаны основные функции каждого сегмента.

3.1 Космический сегмент

Космический сегмент системы образуют спутники Galileo, которые функционируют как "небесные" опорные точки, излучающие из космоса точные кодированные по времени навигационные сигналы. Действующая группировка состоит из 24 спутников (плюс шесть активных запасных спутников), находящиеся на 14-часовых орбитах, большая полуось которых составляет около 30 000 км. Используются три равноразнесенные орбитальные плоскости, каждая плоскость содержит десять спутников (в том числе два запасных), а наклонение плоскостей относительно экватора составляет 56°.

3.2 Наземный сегмент

Наземный сегмент системы Galileo осуществляет управление всей группировкой Galileo, контролирует техническое состояние каждого спутника и загружает данные для каждого спутника в целях последующего распространения навигационных сообщений, передаваемых на пользовательские приемники. Основные параметры этих навигационных сообщений, сигналов для синхронизации часов и орбитальных эфемерид вычисляются на основе измерений, выполняемых охватывающей весь мир сетью станций. При функциях телеметрии, слежения и управления используются распределения для космических операций немного выше 2 ГГц.

Наземный сегмент включает следующие функции:

- управление группировкой и контроль состояния спутников;
- обработка и контроль навигационных данных и данных о техническом состоянии системы;
- служебное обеспечение и контроль характеристик космических аппаратов (телеметрия, дистанционное управление и измерение расстояния);
- передача на спутники полетных данных в полосе 5000–5010 МГц РНСС.

3.3 Пользовательский сегмент

Пользовательский сегмент включает все пользовательские терминалы и соответствующее оборудование, обеспечивающее их работу. Пользовательский терминал Galileo состоит, как правило, из антенны, приемника, процессора и устройств ввода-вывода, в зависимости от случая. Эта установка захватывает навигационные сигналы от всех спутников Galileo, находящихся в зоне видимости, рассчитывает значения псевдодальности и скорости изменения псевдодальности и сразу же обеспечивает информацию о пространственном положении, скорости и системном времени.

4 Структура сигнала Galileo

Ниже приведено описание сигналов Galileo для применений определения местоположения, навигации и синхронизации (PNT).

4.1 Сигнал E1 Galileo

Сигнал E1 Galileo передается на центральной частоте 1575,42 МГц.

Сигнал состоит из трех компонентов, которые могут использоваться отдельно или в сочетании с другими сигналами – в зависимости от производительности, определяемой конкретным применением. Эти компоненты в основном предоставляются для открытой службы (OS) и государственной службы (PRS), включая навигационные сообщения. Несущая частота сигнала E1 Galileo модулируется методом MBOC (включающим компонент E1-B, содержащий данные, и компонент E1-C, не содержащий данных) для служб OS, и методом косинусной модуляции BOC(15,2.5) (включающим компонент E1-A) для PRS. Поток данных E1-B может содержать дополнительные сообщения, с тем чтобы обеспечивать лучшие функциональные возможности навигации и синхронизации.

Модуляция BOC используется для создания требуемой формы спектра (распределение плотности спектральной мощности по частоте) передаваемого сигнала. Сигналы типа BOC имеют форму $BOC(f_{sub}, f_{chip})$, где частоты обозначены как множители чиповой скорости кода GPS C/A, имеющей значение 1,023 Мчип/с.

Плотность спектральной мощности сигнала PRS Galileo определяется следующим выражением:

$$G_{BOC_{\cos}(f_s, f_c)}(f) = f_c \left[\frac{2 \sin\left(\frac{\pi f}{f_c}\right) \sin^2\left(\frac{\pi f}{4f_s}\right)}{\pi f \cos\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right)} \right]^2,$$

где $f_s = 15 \times 1,023$ МГц – это частота поднесущей, а $f_c = 2,5 \times 1,023$ МГц – чиповая скорость.

Модуляция MBOC дает в результате спектр $G_{MBOC}(f)$ сигнала, который определяется следующим выражением:

$$G_{MBOC}(f) = \frac{10}{11} G_{BOC(1,1)}(f) + \frac{1}{11} G_{BOC(6,1)}(f),$$

где:

$$G_{BOC}(f_s, f_c)(f) = f_c \left[\frac{\tan\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) \sin\left(\frac{\pi f}{f_c}\right)}{\pi f} \right]^2$$

при

- $f_s = 1 \times 1,023$ МГц как частота поднесущей и $f_c = 1 \times 1,023$ МГц как чиповая скорость для BOC(1,1);
- $f_s = 6 \times 1,023$ МГц как частота поднесущей и $f_c = 1 \times 1,023$ МГц как чиповая скорость для BOC(6,1).

ТАБЛИЦА 3-1

Передача сигналов E1 Galileo в полосе частот 1559–1610 МГц

Параметр	Значение параметра
Частотный диапазон сигнала (МГц)	1 559–1 591
Чиповая скорость кода PRN (Мчип/с)	1,023 (MBOC) 2,5575 ($BOC_{\cos}(15,2.5)$)
Скорость передачи битов навигационных данных (бит/с)	125 (E1-B)
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	250 (E1-B)
Метод модуляции сигнала	MBOC (OS) $BOC_{\cos}(15,2.5)$ (PRS)
Поляризация	RHCP
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на выходе эталонной антенны (дБВт)	-157,25 (MBOC) (См. Примечание 2)

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Подробное описание MBOC приведено в текстовом разделе перед данной таблицей.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Минимальная принимаемая мощность у поверхности Земли измеряется на выходе изотропной антенны приемника 0 дБи для угла места, равного или большего 5°.

4.2 Сигнал E1 Galileo

Сигнал E1 Galileo передается с центральной частотой 1278,75 МГц. Он обеспечивает канал распространения данных для коммерческой службы (CS), государственной службы (PRS), в обоих случаях включено навигационное сообщение.

Несущая частота E6 модулируется методом BPSK(5) для обеспечения службы CS. Несущая сигнала E6 Galileo также модулируется кодом $BOC_{\cos}(10,5)$ для обеспечения компонента E6 службы PRS (спектр сигнала E6 Galileo для PRS описывается тем же уравнением, что и спектр сигнала E1 PRS, выше, но при $f_s = 10 \times 1,023$ МГц и $f_c = 5 \times 1,023$ МГц).

ТАБЛИЦА 3-2

Передача сигналов E6 Galileo в полосе частот 1215–1300 МГц

Параметр	Значение параметра
Частотный диапазон сигнала (МГц)	1 260–1 300
Чиповая скорость кода PRN (Мчип/с)	5,115 (BPSK(5)) 10,23 ($BOC_{\cos}(10,5)$)
Скорость передачи битов навигационных данных (бит/с)	500 (E6-B)
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	1 000 (E6-B)
Метод модуляции сигнала	BPSK(5) (CS) $BOC_{\cos}(10,5)$ (PRS)
Поляризация	RHCP
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на выходе эталонной антенны (дБВт)	-155,25 (BPSK (5)) (См. Примечание)

ПРИМЕЧАНИЕ. – Минимальная принимаемая мощность у поверхности Земли измеряется на выходе изотропной антенны приемника 0 дБи для угла места, равного или большего 5°.

4.3 Сигнал E5 Galileo

Центральной частотой сигнала E5 Galileo является частота 1191,795 МГц и при его генерации применяется модуляция AltBOC на частоте поднесущей в боковой полосе 15,345 МГц. Эта схема обеспечивает два боковых лепестка.

Нижний боковой лепесток сигнала E5 Galileo называется сигналом E5a Galileo и обеспечивает второй сигнал (для двухчастотного приема) для открытой службы (OS), включая также сообщения, содержащие навигационные данные.

Сигнал E5a является сигналом с открытым доступом, включающим канал данных и пилотный (не содержащий данных) канал.

Верхний боковой лепесток сигнала E5 Galileo называется сигналом E5b Galileo и обеспечивает дополнительный компонент открытой службы (OS).

Сигнал E5b является сигналом с открытым доступом, включающим канал данных и пилотный (не содержащий данных) канал.

Спектральная плотность мощности сигнала E5 Galileo AltBOC определяется следующим образом:

$$G_{AltBOC}(f) = \frac{f_c}{2\pi^2 f^2} \frac{\cos^2\left(\frac{3\pi f}{2f_s}\right)}{\cos^2\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right)} \left[\cos^2\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) - \cos\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) - 2\cos\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right)\cos\left(\frac{\pi f}{4f_s}\right) + 2 \right],$$

где:

$$f_s = 15 \times 1,023 \text{ МГц} - \text{частота поднесущей, } a f_c = 10 \times 1,023 \text{ МГц} - \text{частота чипов.}$$

ТАБЛИЦА 3-3

Передача сигналов E5 Galileo в полосе частот 1164–1215 МГц

Параметр	Значение параметра
Частотный диапазон сигнала (МГц)	1 164–1 219
Чиповая скорость кода PRN (Мчип/с)	10,23 ($G_{AltBOC}(15,10)$)
Скорость передачи битов навигационных данных (бит/с)	25 (E5a), 125 (E5b)
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	50 (E5a), 250 (E5b)
Метод модуляции сигнала	AltBOC(15,10) (См. Примечание 1)
Поляризация	RHCP
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на выходе эталонной антенны (дБВт)	–155,25 для E5a (См. Примечание 2) –155,25 для E5b (См. Примечание 2)

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Подробное описание G_{AltBOC} приведено в текстовом разделе перед таблицей.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Минимальная принимаемая мощность у поверхности Земли измеряется на выход изотропной антенны приемника 0 дБи для угла места равного или большего 5°.

Приложение 4

Техническое описание и характеристики квазизенитной спутниковой системы (QZSS)

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
1 Введение.....	21
1.1 Требования по частоте.....	22
2 Обзор системы.....	22
3 Сегменты системы	22
3.1 Космический сегмент.....	22
3.2 Сегмент управления.....	23
3.3 Пользовательский сегмент	23
4 Структура сигнала QZSS	23
5 Мощность и спектр сигналов.....	24
6 Рабочая частота	24
7 Функции телеметрии.....	24
8 Параметры передачи QZSS	24
8.1 Параметры передачи сигналов L1 QZSS.....	24
8.2 Параметры передачи сигналов L2 QZSS.....	25
8.3 Параметры передачи сигналов L5 QZSS L5	27

1 Введение

Квазизенитную спутниковую систему (QZSS) образуют семь спутников и два активных резервных спутника. Эти спутники размещены либо на негеостационарной орбите, либо на геостационарной орбите с углом наклона 45° . Каждый спутник передает четыре одинаковые несущие частоты для навигационных сигналов. Эти навигационные сигналы модулированы заданной двоичной последовательностью, содержащей кодированные данные об эфемеридах и времени, и имеют достаточную ширину полосы для обеспечения необходимой навигационной точности без применения двусторонней передачи или доплеровских сдвигов.

1.1 Требования по частоте

В основе требований по частоте для системы QZSS лежат оценка требований пользователей к точности, точность учета задержки распространения в направлении космос-Земля, подавление многолучевости, стоимость оборудования, а также конфигурации. Для работы системы QZSS используются три исходных канала: 1575,42 МГц (L1), 1227,6 МГц (L2) и 1176,45 МГц (L5). Будет добавлен сигнал с высокой скоростью передачи данных с центральной частотой 1278,75 МГц (L6).

Система QZSS обеспечивает навигационное обслуживание для регионов Восточной Азии и Океании, в которые входит Япония.

2 Обзор системы

Система QZSS – это непрерывно функционирующая всепогодная система космического базирования, предназначенная для радионавигации, определения местоположения и передачи сигналов времени, которая обеспечивает совместимые сигналы с GPS (L1, L2 и L5), а также сигнал дифференциальной поправки, содержащий сообщения с более высокой скоростью передачи данных (L6).

Система работает по принципу пассивной трилатерации. Пользовательский приемник системы QZSS сначала выполняет измерение псевдодальности, скорости изменения псевдодальности или дельту псевдодальности до не менее чем четырех спутников и рассчитывает местоположение спутников, их скорость и смещение времени по их часам относительно эталонного времени с помощью полученных данных об эфемеридах и параметров коррекции часов. Далее приемник определяет пространственное местоположение и скорость пользователя в геоцентрической неподвижной относительно Земли декартовой системе координат (ECEF) Международной земной системе отсчета (ITRF) и смещение пользовательских часов относительно эталонного времени.

3 Сегменты системы

Система состоит из трех основных сегментов: космического сегмента, сегмента управления и пользовательского сегмента. Ниже описаны основные функции каждого сегмента.

3.1 Космический сегмент

Космический сегмент образуют спутники QZSS, которые функционируют как "небесные" опорные точки, излучающие из космоса точные кодированные по времени навигационные сигналы. Действующая группировка, состоящая из семи спутников, включает спутники как на негеостационарной, так и на геостационарной орбитах. Спутники на негеостационарной орбите работают на 24-х часовых орбитах, высота апогея которых составляет 39 970 км, а высота перигея – 31 602 км. Каждый из спутников на негеостационарной орбите размещен в собственной отдельной орбитальной плоскости, наклонение которых относительно экватора составляет 45°. Орбитальные плоскости имеют равное разнесение и спутники так разнесены по фазе, что в каждый текущий момент видимым всегда является спутник, находящийся на высоком угле места относительно Японии. Местоположения на геостационарной орбите изучаются.

Два активных резервных спутника также изучаются на предмет удовлетворения потребностей системы по обеспечению возможностей навигации с использованием группировки QZSS, содержащей не менее семи спутников.

Спутник представляет собой стабилизированный по трем осям космический аппарат. Основными элементами его главной навигационной полезной нагрузки являются атомные стандарты частоты для точной синхронизации, процессор для хранения навигационных данных, схема сигналов PRN для генерирования сигналов определения дальности, и передающая антенна, работающая в полосе частот 1,2/1,6 ГГц, со схемой формирования луча, которая передает сигналы с почти равномерным распределением мощности на четырех частотах в полосе 1,2/1,6 ГГц для пользователей, находящихся на поверхности Земли или около нее. Передача на двух частотах (например, L1 и L2) используется для корректировки ионосферных задержек, влияющих на время распространения сигнала.

3.2 Сегмент управления

Сегмент управления выполняет функции слежения, расчета, обновления и контроля, необходимые для управления всеми спутниками в системе на ежедневной основе. Сегмент состоит из главной станции управления (MCS), расположенной в Японии, на которой выполняется вся обработка данных, и ряда размещенных на большом расстоянии станций контроля, которые находятся в областях, видимых из космического сегмента.

Станции контроля осуществляют пассивное слежение за всеми спутниками, находящимися в зоне видимости, и измеряют данные для определения дальности и данные доплеровского сдвига. Эти данные обрабатываются в MCS для расчета эфемерид спутников, смещения часов, отклонение часов и задержки распространения, которые затем используются для передачи на спутники сообщений. Эта обновленная информация передается на спутники для хранения в памяти и последующей передачи спутниками как части навигационного сообщения пользователям.

3.3 Пользовательский сегмент

Пользовательский сегмент объединяет в себе все пользовательские установки и поддерживающее их оборудование. Пользовательская установка состоит, как правило, из антенны, приемника/процессора QZSS (также поддерживающего сигналы GPS), компьютера и устройств ввода-вывода.

Эта установка захватывает и прослеживает навигационный сигнал от четырех или более спутников, включая один (или более) спутников QZSS и один (или более) спутников GPS, находящихся в зоне видимости, измеряет время РЧ передачи, фазы РЧ сигналов и доплеровские сдвиги частоты, преобразует их в значения псевдодальности и определяет пространственное местоположение, скорость, смещение времени приемника относительно эталонной системы времени.

Пользовательское оборудование может быть весьма разнообразным – от относительно простого и имеющего небольшую массу приемника до сложных приемников, объединенных с другими навигационными датчиками или системами для обеспечения точности в среде, отличающейся высокой динамичностью.

4 Структура сигнала QZSS

Передаваемый со спутника навигационный сигнал QZSS содержит четыре модулированные несущие частоты: L1 с центральной частотой 1575,42 МГц ($154 f_0$), L2 с центральной частотой 1227,6 МГц ($120 f_0$), L5 с центральной частотой 1176,45 МГц ($115 f_0$) и L6 с центральной частотой 1278,75 МГц ($125 f_0$), где $f_0 = 10,23$ МГц, а f_0 – выходной сигнал бортового устройства эталонной частоты, с которым все генерируемые сигналы когерентно связаны.

Сигнал L1 состоит из четырех сигналов с двухпозиционной фазовой манипуляцией (BPSK), мультиплексированных со сдвигом на 90° . Два из них (L1-C/A и L1S) модулируются двумя разными развертываемыми кодами PRN, которые являются суммой по модулю два последовательностей выходных сигналов двух 10-битовых регистров сдвига с линейной обратной связью (10-битовые LFSR), с тактовой частотой 1,023 МГц и периодом 1 мс. До применения BPSK каждый из них суммируется по модулю два с двоичной последовательностью навигационных данных со скоростью передачи 50 бит/с/50 символ/с или 250 бит/с/500 символ/с. Два других сигнала (компонент сигнала L1C с данными и компонент сигнала L1C без данных) модулируются двумя разными развертываемыми кодами с тактовой частотой 1,023 МГц и двумя одинаковыми прямоугольными сигналами с тактовой частотой 0,5115 МГц. Последовательность данных суммируется по модулю два с одним из них.

Сигнал L2 модулируется методом BPSK с развертываемым кодом L2C. Код L2C имеет тактовую частоту 1,023 МГц с альтернативными развертываемыми кодами, имеющими тактовую частоту 0,5115 МГц: L2CM имеет период 20 мс, а L2CL – период 1,5 с. Последовательность данных 25 бит/с/50 символ/с суммируется по модулю два с этим кодом до фазовой манипуляции.

Сигнал L5 состоит из двух сигналов с BPSK (I и Q), которые мультиплексируются со сдвигом на 90° , и одного сигнала QPSK (сигнал L5S). Сигналы в обоих каналах – I и Q – модулируются двумя разными развертываемыми кодами L5. Оба развертываемые кода L5 имеют тактовую частоту

10,23 МГц и период 1 мс. Двоичная последовательность навигационных данных 50 бит/с/100 символ/с передается по каналу I, а по каналу Q данные не передаются (т. е. не содержащий данных сигнал является "пилотным"). Один сигнал QPSK также имеет тактовую частоту 10,23 МГц и период 1 мс и содержит корректирующие сообщения.

Сигнал L6 также модулируется методом BPSK. Для развертывающегося кода с тактовой частотой 5,115 МГц используется набор коротких последовательностей кодов Касами.

5 Мощность и спектр сигналов

На спутниках QZSS используются антенны с формированием луча, которые излучают сигналы с практически равномерным распределением мощности, предназначенные для приема пользователями системы. Передаваемые сигналы являются сигналами RHCP с эллиптичностью лучше 1,2 дБ для сигнала L1 и лучше 2,2 дБ для сигналов L2, L5 и L6. Мощности принимаемых пользователями сигналов (URP) для углов прихода относительно спутников более 10° определяются при допущении, что антенна приемника характеризуется 0 дБи и поляризацией RHCP.

Минимальные гарантируемые URP для сигналов L1, L2, L5 и L6 представлены в таблицах 4-1, 4-2 и 4-3.

6 Рабочая частота

В системе QZSS сигнал L1 передается в частотном сегменте 1559–1610 МГц, сигнал L2 и сигнал L6 передаются в частотном сегменте 1215–1300 МГц и сигнал L5 передается в частотном сегменте 1164–1215 МГц, которые распределены PHCC.

7 Функции телеметрии

Использование сигналов телеметрии в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц для системы QZSS не требуется.

8 Параметры передачи QZSS

Поскольку система QZSS передает навигационные сигналы PHCC в направлении космос-Земля в четырех полосах частот, параметры передач QZSS представлены в четырех таблицах по четырем полосам PHCC, в которых осуществляется передача навигационных сигналов QZSS.

8.1 Параметры передачи сигналов L1 QZSS

Система QZSS использует несколько сигналов в полосе PHCC 1559–1610 МГц. Это сигналы L1 C/A, L1C и L1S. Спутники QZSS на негеостационарной орбите используют один сигнал L1-C/A, один сигнал L1C и один сигнал L1S на каждый спутник. Спутники QZSS на геостационарной орбите используют один сигнал L1-C/A, один сигнал L1C и два сигнала L1S (L1Sa и L1Sb) на каждый спутник.

ТАБЛИЦА 4-1

Передача сигналов QZSS в полосе частот 1559–1610 МГц

Параметр	Значение параметра (Примечание 1)
Несущая частота (МГц)	1 575,42
Чиповая скорость кода PRN (Мчип/с)	1,023
Скорость передачи битов навигационных данных (бит/с)	50 (C/A), 250 (L1S), 25 (L1C)
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	50 (C/A), 500 (L1S), 50 (L1C)
Метод модуляции сигнала	BPSK-R(1) (C/A и L1S) BOC(1,1) (компонент сигнала L1C с данными) MBOC (пилотный сигнал L1C (компонент без данных) второго и последующих спутников QZSS. Первый спутник использует BOC(1,1) для своего компонента без данных.) (см. Примечание 2)
Поляризация и эллиптичность (дБ)	RHCP; максимально 1,2
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на входе антенны (дБВт)	-158,5 (C/A), -163 (L1C с данными), -158,25 (L1C без данных), -161 (L1S) (См. Примечание 3)
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	32

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Название сигнала L1S применяется для второго и последующих спутников QZSS. В первом спутнике QZSS применяются те же характеристики РЧ сигнала, что и в сигнале L1S, но сигнал называется L1-SAIF.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Для параметров QZSS RHCC BPSK-R(*n*) означает бинарную фазовую манипуляцию с использованием прямоугольных чипов, скорость передачи которых составляет $n \times 1,023$ (Мчип/с). BOC(*m,n*) означает модуляцию с бинарным разделением несущей частоты со смещением несущей частоты $m \times 1,023$ (МГц) и чиповой скоростью $n \times 1,023$ (Мчип/с).

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Минимальная принимаемая мощность QZSS при допущении, что минимальное усиление антенны приемника возникает при углах 10° или больших над горизонтом Земли, видимым с поверхности Земли.

8.2 Параметры передачи сигналов L2 QZSS

QZSS использует для работы два сигнала в полосе частот RHCC 1215–1300 МГц. Это сигналы L2C и L6.

ТАБЛИЦА 4-2

Передача сигналов L2 QZSS в полосе частот 1215–1300 МГц

Параметр	Описание параметров РНСС
Несущая частота (МГц)	1 227,6
Чиповая скорость кода PRN (Мчип/с)	1,023 (L2C)
Скорость передачи битов навигационных данных (бит/с)	25 (L2C)
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	50 (L2C)
Метод модуляции сигнала	BPSK-R(1) (L2C) (См. Примечание 1)
Поляризация и эллиптичность (дБ)	РНСП; максимально 2,2
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на входе антенны (дБВт)	-160 общая мощность (См. Примечание 2)
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	32

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для параметров QZSS РНСС BPSK-R(*n*) означает бинарную фазовую манипуляцию с использованием прямоугольных чипов, скорость передачи которых составляет $n \times 1,023$ (Мчип/с).

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Минимальная принимаемая мощность QZSS при допущении, что минимальное усиление антенны приемника возникает при углах 10° или больших над горизонтом Земли, видимым с поверхности Земли.

ТАБЛИЦА 4-3

Передача сигналов L6 QZSS в полосе частот 1215–1300 МГц (Примечание 1)

Параметр	Описание параметров РНСС
Несущая частота (МГц)	1 278,75
Чиповая скорость кода PRN (Мчип/с)	5,115 (L6)
Скорость передачи битов навигационных данных (бит/с)	2 000 (L6)
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	250 (L6)
Метод модуляции сигнала	BPSK-R(5) (L6) (См. Примечание 2)
Поляризация и эллиптичность (дБ)	РНСП; максимально 2,2
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на входе антенны (дБВт)	-155,7 общая мощность (См. Примечание 3)
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	56 (См. Примечание 4)

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Название сигнала L6 применяется для второго и последующих спутников QZSS. В первом спутнике QZSS применяются те же характеристики РЧ сигнала, что и в сигнале L6, но сигнал называется LEX.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Для параметров QZSS РНСС BPSK-R(*n*) означает бинарную фазовую манипуляцию с использованием прямоугольных чипов, скорость передачи которых составляет $n \times 1,023$ (Мчип/с).

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Минимальная принимаемая мощность QZSS при допущении, что минимальное усиление антенны приемника возникает при углах 10° или больших над горизонтом Земли, видимым с поверхности Земли.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Значение 56 МГц не является репрезентативным для ширины полосы сигнала передачи по уровню 3 дБ.

8.3 Параметры передачи сигналов L5 QZSS L5

QZSS использует для работы три навигационных сигнала (L5I, L5Q и L5S) в полосе частот РНСС 1164–1215 МГц. Эти сигналы, L5I и L5Q, используются со сдвигом 90° и передаются с одинаковой мощностью. Сигнал L5Q не содержит данные (также называется "пилотный" канал). Сигнал L5I, с другой стороны, содержит навигационную информацию для синхронизации, навигации и определения местоположения. L5S также содержит навигационную информацию для синхронизации, навигации и определения местоположения.

ТАБЛИЦА 4-4

Передача сигналов QZSS в полосе частот 1164–1215 МГц

Параметр	Описание параметров РНСС
Несущая частота (МГц)	1 176,45
Чиповая скорость кода PRN (Мчип/с)	10,23
Скорость передачи битов навигационных данных (бит/с)	50 (L5I), 250 (L5S)
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	100 (L5I), 500 (L5S)
Метод модуляции сигнала	BPSK-R(10) (L5) QPSK-R(10) (L5S) (см. Примечание 1)
Поляризация и эллиптичность (дБ)	RHCP; 2,2
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на входе антенны (дБВт)	-157,9 на канал (L5I или L5Q) -157 (L5S) (См. Примечание 2)
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	38,0

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для параметров QZSS РНСС BPSK-R(*n*) означает бинарную фазовую манипуляцию с использованием прямоугольных чипов, скорость передачи которых составляет $n \times 1,023$ (Мчип/с). QPSK-R(*n*) означает квадратурную фазовую манипуляцию с использованием прямоугольных чипов, скорость передачи которых составляет $n \times 1,023$ (Мчип/с).

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Минимальная принимаемая мощность QZSS при допущении, что минимальное усиление антенны приемника возникает при углах 10° или больших над горизонтом Земли, видимым с поверхности Земли.

Приложение 5

Техническое описание и характеристики спутниковой системы дифференциальных поправок MTSAT (MCAS)

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
1 Введение.....	28
1.1 Требования по частоте.....	28
2 Обзор системы.....	29
3 Сегменты системы.....	29
3.1 Космический сегмент.....	29

3.2	Наземные сегменты.....	29
3.3	Пользовательский сегмент	29
4	Структура сигнала MCAS	29
5	Мощность и спектр сигналов.....	30
6	Рабочая частота	30
7	Функции телеметрии.....	30

1 Введение

Международная организация гражданской авиации (ИКАО) определила глобальную навигационную спутниковую систему (ГНСС) как "всемирную систему определения местоположения и времени, которая включает одну или более спутниковых группировок, приемники на борту летательных аппаратов и контроль целостности системы и которая обеспечивается поправками по мере необходимости для поддержания требуемых навигационных характеристик для планируемых операций", и разработала Международные стандарты и рекомендуемую практику для бесперебойного глобального аэронавигационного обслуживания.

Навигационное обслуживание ГНСС будет обеспечиваться с помощью различных комбинаций следующих элементов ГНСС, установленных на Земле, на спутнике или на борту летательного аппарата (ЛА):

- Глобальная система определения местоположения (GPS).
- Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС).
- Бортовая система дифференциальных поправок (ABAS).
- Спутниковая система дифференциальных поправок (SBAS).
- Наземная система дифференциальных поправок (GBAS).
- Приемник ГНСС на борту ЛА.

Спутниковая система дифференциальных поправок (MCAS) на основе многофункционального транспортного спутника (MTSAT) является системой SBAS, определенной как "система дифференциальных поправок широкого покрытия, в которой пользователь получает информацию о дифференциальных поправках от передатчика, установленного на борту спутника". MCAS выполняет функцию РНСС в MTSAT.

Для повышения надежности и устойчивости системы в MCAS используются два MTSAT. Каждый MTSAT передает одну несущую частоту для сигналов дифференциальной поправки для GPS (сигналы РНСС). Эти сигналы содержат следующую информацию: определение дальности, состояние спутников GPS, основная дифференциальная поправка (корректировки эфемерид спутников GPS и времени) и точная дифференциальная поправка (поправки с учетом параметров ионосферы).

1.1 Требования по частоте

Требования по частоте для MCAS определяются каналом L1 GPS с центральной частотой 1575,42 МГц.

Требования к "безопасности" аэронавигации обуславливают особую важность того, чтобы другие службы радиосвязи не причиняли вредных помех аэронавигационным пользователям.

Функция РНСС для MTSAT требует частоты для фидерной линии РНСС в линии вверх от наземной земной станции (НЗС) к спутникам, и что такое использование достаточно защищено от других сигналов ФСС.

2 Обзор системы

MTSAT образует космический сегмент MCAS и осуществляет широковещательную передачу информации о поправках GPS имеющим соответствующее оборудование пользователям, в частности для обеспечения "безопасного" функционирования гражданской авиации.

Пользовательское оборудование MCAS выполняет измерения пространственного местоположения пользователя GPS в геоцентрической неподвижной относительно Земли декартовой системе координат (ECEF) – Всемирной геодезической системе 1984 года (WGS-84) и получает данные о целостности GPS, генерируемые на MCS с использованием данных, получаемых на наземных станциях контроля (GMC) в реальном масштабе времени.

3 Сегменты системы

Система MCAS состоит из трех основных сегментов: космического сегмента, наземного сегмента и приемника SBAS на борту ЛА (пользовательский сегмент). Ниже описаны основные функции каждого сегмента.

3.1 Космический сегмент

Космический сегмент MCAS является навигационной полезной нагрузкой MTSAT и осуществляет повторную передачу сигналов РНСС, генерируемых GES. Группировка, состоящая из двух MTSAT, функционирует на двух геостационарных орбитах 135° в. д., 140° в. д. или 145° в. д. Спутник MTSAT – это стабилизированный по трем осям космический аппарат. Основными элементами его навигационной нагрузки являются приемная антенна для сигналов фидерной линии, передаваемых по линии вверх от наземных станций, понижающий преобразователь частоты с полосы 14 ГГц до полосы 1,5 ГГц, мощный усилитель для сигналов служебной линии и передающая антенна с формированием луча, которая излучает сигналы с практически равномерным распределением мощности, предназначенные для пользователей.

3.2 Наземные сегменты

Наземный сегмент образуют две станции MCS, четыре станции GMS, две станции контроля и измерения дальности (MRS) и подсистема сети связи (NCS). MCS являются основой системы MCAS и расположены в центрах авиационных спутников в Хитачи-охта и Кобе. При наличии двух станций возможно избежать прерывания обслуживания вследствие отказа оборудования, стихийных бедствий и природных воздействий. GMS – это средство для приема данных MCAS, передаваемых от MTSAT, и передачи их на станции MCS через NCS. Они принимают сигналы L1 и L2 (1227,6 МГц) GPS, которые используются для контроля сигналов GPS и оценки задержки прохождения ионосферы. Они расположены в четырех точках, а именно в городах Саппоро, Токио, Фукуока и Наха. В функции MRS входит сбор основных данных, необходимых для измерения дальности позиции MTSAT для выработки данных измерения дальности (данные для определения местоположения эквивалентны данным GPS), в дополнение к функциям GMS. Станции MRS установлены в двух позициях на восточной и южной границах зоны обслуживания MTSAT, а именно на Гавайях и в Канберре, Австралия, с тем чтобы обеспечить высокоточное измерение дальности до орбиты благодаря созданию широкой базы.

3.3 Пользовательский сегмент

Пользовательский сегмент (приемник SBAS на борту ЛА) определяет местоположение самолета, используя группировки GPS и сигнал SBAS. Приемник SBAS на борту ЛА собирает данные измерения дальности и корректирующие данные и использует их для определения целостности и повышения точности определения местоположения.

4 Структура сигнала MCAS

Сигналы РНСС для MCAS совместимы с сигналом L1 GPS и являются модулированными несущими с центральной частотой 1575,42 МГц и шириной полосы 2,2 МГц. Передаваемая последовательность

является суммой по модулю два навигационного сообщения, поступающего со скоростью 500 символов/с, и 1023-битового кода псевдослучайной помехи. Далее несущая модулируется методом BPSK с частотой 1,023 Мчип/с.

5 Мощность и спектр сигналов

В MTSAT используется антенна с формированием луча, которая излучает сигналы с практически равномерным распределением мощности, предназначенные для пользователей MCAS. Передаваемые сигналы имеют правую круговую поляризацию. Характеристики сигналов MCAS, передаваемых со спутников MTSAT, представлены в таблице 5-1.

ТАБЛИЦА 5-1

Характеристики сигналов MCAS

Несущая частота (МГц)	Тип излучения	Присвоенная ширина полосы (МГц)	Максимальная пиковая мощность (дБВт)	Максимальная плотность мощности (дБ(Вт/кГц))	Усиление антенны (дБи)
1 575,42	2M20G1D	2,2	13,0	-17,3	20,0
	2M20G7D	2,2	16,0	-14,3	

6 Рабочая частота

Космический сегмент MCAS функционирует на частоте сигнала L1 GPS с центральной несущей частотой 1575,42 МГц с шириной полосы 2,2 МГц в сегменте полосы 1559–1610 МГц, распределенной РНСС.

7 Функции телеметрии

Использование сигналов телеметрии в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц, 1559–1610 МГц и 5010–5030 МГц для системы MSAS не требуется.

Приложение 6

Техническое описание и характеристики сетей LM-RPS

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
1 Введение.....	31
2 Обзор системы.....	31
3 Конфигурация системы	31
3.1 Космический сегмент.....	32
3.2 Наземный сегмент	32

Стр.

4	Сигнал LM-RPS	33
5	Рабочие частоты LM-RPS.....	33
6	Спектр управления и телеметрии	34
7	Параметры передачи LM-RPS.....	34
7.1	Параметры передачи сигналов L1 LM-RPS	34
7.2	Параметры передачи сигналов L5 LM-RPS	34

1 Введение

В состав сетей LM-RPS входят спутники с полезной нагрузкой многочастотной РНСС, находящиеся на геостационарной орбите, и две станции связи на линии вверх (GUS), каждая из которых поддерживает одну навигационную полезную нагрузку. Текущая реализация состоит из спутника в позиции 133° з. д. и второго спутника – в позиции 107,3° з. д.

Сети LM-RPS в позиции 107,3° з. д. и 133° з. д. обеспечивают уникальную широковещательную службу РНСС для Федеральной авиационной администрации (ФАА) Соединенных Штатов Америки (США), осуществляя широковещательную передачу, которая обеспечивает охват Национальной системы организации воздушного движения США (NAS). Сети LM-RPS являются частью глобальной системы распространения дифференциальных поправок ФАА (WAAS). В будущем могут быть введены дополнительные сети LM-RPS для обеспечения службы, аналогичной спутниковой системе дифференциальных поправок (SBAS), для авиационных администраций и национальных воздушных пространств в остальных частях мира. Сети LM-RPS предоставляют дополнительные данные, которые дополняют данные GPS, обеспечивая информацию о целостности, путем широковещательной передачи GPS, и повышение точности и дополнение к сигналам измерения дальности GPS для авиационных пользователей. Авиационные пользователи используют SBAS в целях обеспечения большей точности и целостности для навигации и безопасного функционирования.

2 Обзор системы

Сети LM-RPS функционируют как коммерческая служба, предоставляющая авиационным администрациям необходимую широковещательную службу РНСС.

Осуществляемая космическими станциями сети LM-RPS широковещательная передача сообщений WAAS обеспечивает требуемое покрытие национального воздушного пространства при минимальном количестве передатчиков и устраняет множество технических проблем, связанных с наземными системами дифференциальных поправок. Сеть LM-RPS – это гибридная широковещательная служба, использующая как линии вверх ФСС, так и линии вниз РНСС, что делает ее несколько более сложной по сравнению со службой ФСС, выполняющей обычные широковещательные передачи. Неформатированное сообщение WAAS принимается от главных станций WAAS наземными станциями LM-RPS в наземной сети связи и до передачи на спутник подвергается проверке. Наземная станция применяет упреждающую коррекцию ошибок к сообщению WAAS и времени для согласования его с эпохой подкадра GPS и затем передает это сообщение по линии вверх на навигационную полезную нагрузку, которая принимает и осуществляет его последующую широковещательную передачу на поверхность Земли и для авиационных пользователей, находящихся в пределах охватываемого национального пространства.

3 Конфигурация системы

Сеть LM-RPS состоит из двух частей – спутники или космический сегмент и наземные станции или наземный сегмент.

3.1 Космический сегмент

Отдельные спутники, первоначально LM-RPS в позиции 133° з. д. и LM-RPS в позиции 107,3° з. д. и, вероятно, дополнительный LM-RPS, обслуживающий другие области, образуют спутниковый сегмент сетей LM-RPS. Каждый спутник функционирует независимо, как часть более крупной системы WAAS, обеспечивая надежный сигнал в космосе (SiS) практически постоянно (надежность 99,9995%).

Спутники принимают сообщение WAAS от одной или двух наземных станций с линией вверх и выполняют их повторную передачу на Землю, обеспечивая двойной SiS в зоне покрытия. Планы на будущее требуют дополнения третьего SiS для обеспечения очень высокой надежности (> 99,9995%).

Каждая навигационная полезная нагрузка – это простой спутниковый ретранслятор типа "шлейф" или "прямая дыра". Каждый из них принимает переданное по линии вверх сообщение WAAS на пару каналов с фиксированной частотой в полосе частот линии вверх ФСС 6 ГГц, обозначенных LM-RPS C1 и LM-RPS C5, которые осуществляют фильтрацию и трансляцию в частоты LM-RPS L1 (в полосе частот 1559–1610 МГц) и LM-RPS L5 (в полосе частот 1164–1215 МГц). Это те же частоты, которые обозначены в Приложении 2 как L1 GPS и L5 GPS соответственно. Усилители и специальные антенны передают сигналы РНСС на Землю, обеспечивая глобальное покрытие луча по всей поверхности Земли до высоты 100 000', что включает требуемое покрытие воздушного пространства. Зона покрытия определяется конусом с углом направления 8,75°.

3.2 Наземный сегмент

Каждая пара станций GUS LM-RPS работает как резервированный комплект, обеспечивая одну высоконадежную линию вверх для одного спутника LM-RPS.

Станции GUS объединены в сеть с помощью сухопутной сети, которая соединяет их с системой WAAS. GUS осуществляют связь между собой и с главной станцией управления WAAS для определения того, какая станция GUS назначена в качестве основной GUS для широковещательной передачи сообщения WAAS на навигационную полезную нагрузку, и какая станция является дублирующей GUS. Дублирующая GUS осуществляет широковещательную передачу своего сообщения WAAS на РЧ нагрузку и находится в горячем резерве на случай отказа основной станции.

Станция GUS состоит из двух базовых групп оборудования: сетевое оборудование и оборудование обработки данных и оборудование, выполняющее передачу сигналов на радиочастоте (РЧ). Сетевое оборудование и оборудование обработки данных принимает сообщение WAAS по сухопутной сети и осуществляет проверку содержащихся в нем данных, затем преобразует его структуру в соответствующую структуру сигнала широковещательной передачи, формируя сигнал на промежуточной частоте (ПЧ) 70 МГц. Сигнал ПЧ далее транслируется в частоты C1 и C5 LM-RPS, усиливается и передается на навигационную полезную нагрузку с помощью параболической антенны диапазона С (РЧ оборудование).

Станция GUS оборудована антенной для приема сигналов, передаваемых навигационной полезной нагрузкой (линия вниз) на обе LM-RPS, и сигналов L1 и L5 GPS для расчета и корректировки ионосферных задержек во времени распространения сигнала. Передача сигнала по шлейфу от навигационной полезной нагрузки на станцию GUS позволяет использовать SiS для определения дальности, с тем чтобы повысить уровень доступности навигационного сигнала в позициях и в периоды времени недостаточного покрытия GPS. GUS также принимает передачи GUS (полоса частот 6 ГГц) и сигналы L1 и L5, передаваемые по спутниковой линии вниз, с тем чтобы убедиться, что сигнал не поврежден. Поврежденные сигналы вызывают переключение оборудованием обработки данных основной GUS на резервную, а резервной – на основную. Если сигнал по-прежнему поврежден, оборудование обработки данных передаст вместо сообщения с дифференциальными поправками WAAS сообщение с инструкцией "не использовать". Комбинация четырех станций GUS и двух спутников LM-RPS в позициях 133° з. д. и 107,3° з. д. обеспечивает практически постоянное наличие одного надежного сигнала SiS в национальном воздушном пространстве, в результате чего достигается требуемая ФАА надежность. Возможные будущие космические станции LM-RPS на других орбитальных позициях будут функционировать для обеспечения аналогичных уровней надежности для авиационных администраций в других регионах.

4 Сигнал LM-RPS

Сети LM-RPS осуществляют широкополосную передачу корректирующих сообщений для WAAS на каждой из двух частот, L1 LM-RPS и L5 LM-RPS. Структуру сигнала для сообщений SBAS определяет авиационное сообщество. Сообщения SBAS имеют тот же базовый формат и структуру, что и навигационные сигналы GPS, передаваемые на этих частотах спутниками GPS. Для них используется формат и структура GPS, поскольку они, как и сообщения GPS, предназначены для приема соответствующим образом оборудованными пользовательскими приемниками.

Общая структура сигнала включает код C/A с интегрированным в него кодом сообщения WAAS и гражданским кодом, подобным GPS. Система построена таким образом, что либо один из кодовых сигналов C/A и P(Y), либо оба эти сигнала могут быть включены в линию вверх и, следовательно, переданы по линиям вниз L1 LM-RPS и L5 LM-RPS.

Формат сигнала для широкополосной передачи L1 LM-RPS более подробно описан в спецификации WAAS для L1 (FAA-E-2892B), а формат сигнала для широкополосной передачи LM-RPS L5 определен в спецификации сигналов, составленной RTCA для L5 (RTCA/DO-261).

Уровни сигналов широкополосной передачи LM-RPS по каналам L1 и L5 с космических станций LM-RPS-133W и LM-RPS-107.3W приведены в таблице 6-1. Уровень передаваемого сигнала уменьшается примерно на 3 дБ от пикового значения в точке надира спутника до значения на границе зоны покрытия при угле прицеливания 8,75°. Можно ожидать, что остальные сети LM-RPS функционируют аналогичным образом.

ТАБЛИЦА 6-1

**Значения мощности сигнала для сигналов L1 и L5,
передаваемых со спутников LM-RPS**

Пиковая эффективная изотропно излучаемая мощность (дБВт)⁽¹⁾	LM-RPS L1	LM-RPS L5
LM-RPS-133W	36,6	33,0
LM-RPS-107.3W	34,2	34,9

⁽¹⁾ Пиковая мощность в точке надира зоны передачи.

5 Рабочие частоты LM-RPS

Частоты для линии вверх LM-RPS тщательно выбирались, так чтобы использовать доступную ширину полосы в полосах частот фиксированной спутниковой службы, не создавая при этом помех линиям вверх РНСС или другим поставщикам услуг ФСС. В LM-RPS для спутников LM-RPS-133 W и LM-RPS-107.3 W используются линии вверх в расширенном диапазоне С (6425–6700 МГц). Эти частоты линий вверх, регулируемые аналогично частотам ФСС, указаны здесь в справочных целях. Для С1 LM-RPS-133W, который транслируется в L1, в качестве несущей используется частота 6639,27 МГц, а С5, который транслируется в L5, передается на частоте 6690,42 МГц. Сигнал LM-RPS-107.3W С1 передается на частоте 6625,45 МГц, а сигнал С5 – на частоте 6676,45 МГц.

Для линий вниз, как отмечалось ранее, используются GPS-L1 на частоте 1575,42 МГц и GPS-L5 на частоте 1176,45 МГц. В силу того что они используют те же частоты, что и GPS, сигналы LM-RPS отличаются от других сигналов GPS в каналах L1 и L5 использованием уникального кода PRN. Это аналогично системе GPS и применению в ней кода PRN для каждого отдельного спутника. Код PRN координируется с оператором системы GPS для обеспечения совместимости с широкополосными передачами GPS и других сигналов, подобных GPS.

6 Спектр управления и телеметрии

Спутники LM-RPS в позициях 133° з. д. и 107,3° з. д. являются вынесенными навигационными полезными нагрузками, которые функционируют как "спутники-квартиры". Они совместно используют средства двух коммерческих спутников ФСС. Функции управления и телеметрии объединены с системами TT&C, размещенными на космических кораблях. Благодаря совместному использованию функций TT&C для системы LM-RPS не требуется дополнительный спектр, необходимый для управления ее спутниками. Будущие спутники LM-RPS, предназначенные для обслуживания других частей мира, смогут функционировать либо аналогичным образом как "спутник-квартира", либо как самостоятельные спутники, имеющие специальные частоты для TT&C в диапазоне 4/6 ГГц.

7 Параметры передачи LM-RPS

Поскольку LM-RPS передает навигационные сигналы RHСС в направлении космос-Земля в двух полосах частот, параметры передачи LM-RPS представлены в двух таблицах по двум полосам RHСС, в которых осуществляется передача навигационных сигналов LM-RPS.

7.1 Параметры передачи сигналов L1 LM-RPS

Основные параметры передачи сигналов L1 LM-RPS представлены в таблице 6-2.

ТАБЛИЦА 6-2

Передача сигналов L1 LM-RPS L1 полосе частот 1559–1610 МГц

Параметр	Значение параметра
Частотный диапазон сигнала (МГц)	1 575,42 ± 12
Чиповая скорость кода PRN (Мчип/с)	1,023
Скорость передачи битов навигационных данных (бит/с)	250
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	500
Метод модуляции сигнала	BPSK-R(1) (См. Примечание 1)
Поляризация	RHCP
Эллиптичность (дБ)	Максимально 2,0
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на выходе эталонной антенны (дБВт)	-158,5 (См. Примечание 2)
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	24,0

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для параметров GPS RHСС BPSK-R(*n*) означает бинарную фазовую манипуляцию с использованием прямоугольных чипов, скорость передачи которых составляет $n \times 1,023$ (Мчип/с).

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Минимальная принимаемая мощность LM-RPS измеряется на выходе линейно поляризованной эталонной приемной пользовательской антенны 3 дБи (расположенной около поверхности Земли) для худшего случая нормальной ориентации, когда спутник находится выше угла места 5° над горизонтом Земли в направлении наблюдения от поверхности Земли.

7.2 Параметры передачи сигналов L5 LM-RPS

Основные параметры передач L5 LM-RPS L5 представлены в таблице 6-3.

ТАБЛИЦА 6-3

Передача сигнала L5 LM-RPS в полосе частот 1164–1215 МГц

Параметр	Значение параметра
Частотный диапазон сигнала (МГц)	1 176,45 ± 12
Чиповая скорость кода PRN (Мчип/с)	10,23
Скорость передачи битов навигационных данных (бит/с)	250
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	500
Метод модуляции сигнала	BPSK-R(10) (См. Примечание 1)
Поляризация	RHCP
Эллиптичность (дБ)	Максимально 2,0
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на выходе эталонной антенны (дБВт)	-157,9 (См. Примечание 2)
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	24,0

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для параметров GPS RHSS BPSK-R(*n*) означает бинарную фазовую манипуляцию с использованием прямоугольных чипов, скорость передачи которых составляет $n \times 1,023$ (Мчип/с).

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Минимальная принимаемая мощность измеряется на выходе линейно поляризованной эталонной приемной пользовательской антенны 3 дБи (расположенной около поверхности Земли) для худшего случая нормальной ориентации, когда спутник находится выше угла места 5° над горизонтом Земли в направлении наблюдения от поверхности Земли.

Приложение 7

Техническое описание системы и характеристики передающих космических станций системы COMPASS

СОДЕРЖАНИЕ

		<i>Стр.</i>
1	Введение.....	36
	1.1 Требования по частоте.....	36
2	Обзор системы.....	36
3	Сегменты системы.....	36
	3.1 Космический сегмент.....	36
	3.2 Сегмент управления.....	37
	3.3 Пользовательский сегмент.....	37
4	Структура сигнала COMPASS.....	37
	4.1 Сигналы COMPASS в полосе частот 1559–1610 МГц.....	37
	4.2 Сигналы COMPASS в полосе частот 1164–1300 МГц.....	38
5	Мощность и спектр сигналов.....	38

1 Введение

Систему COMPASS образует группировка из 30 негеостационарных спутников и пяти геостационарных спутников в позициях $58,75^\circ$ в. д., 80° в. д., $110,5^\circ$ в. д., 140° в. д. и 160° в. д. Каждый спутник передает три одинаковые несущие частоты для навигационных сигналов. Эти навигационные сигналы модулируются предварительно определенной двоичной последовательностью, содержащей кодированные данные об эфемеридах и времени, и имеют достаточную ширину полосы для обеспечения необходимой навигационной точности без применения двусторонней передачи или доплеровских сдвигов. Система обеспечивает точное определение пространственного местоположения, скорости и времени в любой точке на поверхности Земли или около нее.

1.1 Требования по частоте

В основе требований по частоте для системы COMPASS лежат оценка требований пользователей к точности, точность учета задержки распространения в направлении космос-Земля, подавление многолучевости, стоимость оборудования, а также конфигурации. Для работы системы COMPASS используются три исходных канала: 1575,42 МГц, 1191,795 МГц и 1268,52 МГц. Такое разнесение частот и ширина полосы, используемые в системе COMPASS, увеличивают точность дальности при определении задержки распространения в направлении космос-Земля и улучшают подавление многолучевости для повышения общей точности.

2 Обзор системы

Система COMPASS – это непрерывно функционирующая всепогодная система космического базирования, предназначенная для радионавигации, определения местоположения и передачи сигналов времени и обеспечивающая чрезвычайно точное определение пространственного местоположения и информацию о скорости с точной привязкой к единому времени для пользователей, имеющих соответствующее оборудование и находящихся в любой точке на поверхности Земли или около нее.

Система COMPASS работает по принципу пассивной трилатерации. Оборудование пользователя COMPASS сначала выполняет измерение псевдодальности до четырех спутников, рассчитывает их позиции и синхронизирует их сигналы времени с COMPASS с помощью полученных эфемерид и параметров коррекции времени. Затем оборудование определяет пространственное местоположение пользователя и смещение пользовательских часов относительно времени COMPASS путем вычисления совместного решения четырех уравнений дальности.

Аналогично пространственная скорость и величина поправки часов пользователя могут определяться путем решения четырех уравнений скорости изменения дальности по измерениям скорости изменения псевдодальности до четырех спутников.

3 Сегменты системы

Система состоит из трех основных сегментов: космического сегмента, сегмента управления и пользовательского сегмента. Ниже описаны основные функции каждого сегмента.

3.1 Космический сегмент

Космический сегмент образуют пять геостационарных спутников и группировка из 30 негеостационарных спутников, которые функционируют как "небесные" опорные точки, излучающие из космоса точные кодированные по времени навигационные сигналы. Пять геостационарных спутников размещены в позициях $58,75^\circ$ в. д., 80° в. д., $110,5^\circ$ в. д., 140° в. д. и 160° в. д., а два неактивных запасных спутника размещены в позициях $144,5^\circ$ в. д. и 84° в. д. Действующая группировка из 30 негеостационарных спутников состоит из 27 спутников МЕО и трех спутников на трех наклонных ГСО (IGSO) орбитах. 27 спутников МЕО размещены в трех орбитальных плоскостях, по девять спутников в каждой плоскости, наклонение которых относительно экватора составляет порядка 55° , а высота орбиты – приблизительно 21 500 км. Три спутника на наклонных ГСО размещены в орбитальных плоскостях, наклонение которых относительно экватора составляет около 55° , а пересекающая долгота – около 118° в. д.

3.2 Сегмент управления

Сегмент управления выполняет функции слежения, расчета, обновления и контроля, необходимые для управления всеми спутниками в системе на ежедневной основе. Сегмент состоит из главной станции управления (MCS), расположенной в Пекине, Китай, на которой выполняется вся обработка данных, и ряда размещенных на большом расстоянии станций контроля, которые находятся в областях, видимых из космического сегмента.

Станции контроля осуществляют пассивное слежение за всеми спутниками, находящимися в зоне видимости, и измеряют данные для определения дальности и данные доплеровского сдвига. Эти данные обрабатываются в MCS для расчета эфемерид спутников, смещения часов, отклонения часов и задержки распространения, которые затем используются для генерации передаваемых по линии вверх сообщений. Эта обновленная информация передается на спутники для хранения в памяти и последующей передачи спутниками как части навигационного сообщения пользователям.

3.3 Пользовательский сегмент

Пользовательский сегмент объединяет в себе все пользовательские установки и поддерживающее их оборудование. Пользовательская установка состоит, как правило, из антенны, приемника/процессора COMPASS, компьютера и устройств ввода-вывода. Эта установка захватывает и прослеживает навигационный сигнал от четырех или более спутников, находящихся в зоне видимости, измеряет время РЧ передачи, фазы РЧ сигналов и доплеровские сдвиги частоты, преобразует их в значения псевдодальности, фазы несущей и скорость изменения псевдодальности, и определяет пространственное местоположение, скорость и системное время. Пользовательское оборудование может быть весьма разнообразным – от относительно простого и имеющего небольшую массу приемника до сложных приемников, объединенных с другими навигационными датчиками или системами для обеспечения точности в среде, отличающейся высокой динамичностью.

4 Структура сигнала COMPASS

Ниже приводится краткое описание сигналов COMPASS, доступных для использования в применениях навигации и синхронизации.

4.1 Сигналы COMPASS в полосе частот 1559–1610 МГц

Для работы системы COMPASS используются два сигнала в полосе частот РНСС 1559–1610 МГц. Центральной частотой этих двух сигналов является частота 1575,42 МГц.

Для сигнала В1-А используется модуляция ВОС(14,2). Сигнал В1-А состоит из двух компонентов со сдвигом по фазе на 90°. Один компонент, В1-А_D, модулируется двоичной последовательностью навигационных данных со скоростью передачи 50 бит/с/100 символ/с, а другой компонент, В1-А_P, данных не содержит.

Сигнал В1-С состоит из двух компонентов со сдвигом по фазе на 90°. Один компонент, В1-С_D, модулируется двоичной последовательностью навигационных данных со скоростью передачи 50 бит/с (100 символ/с), а другой компонент, В1-С_P, данных не содержит.

В дополнение к фазовым манипуляциям (PSK) применительно к сигналу COMPASS используется модуляция ВОС. ВОС(m,n) означает модуляцию с бинарным разделением несущей частоты со смещением несущей частоты $m \times 1,023$ (МГц) и кодовой скоростью $n \times 1,023$ (Мчип/с), нормализованная спектральная плотность мощности определяется выражением.

$$BOC_{m,n}(f) = \frac{nT_{sw}}{m} \frac{\sin\left(\frac{\pi f T_{sw}}{2}\right)^4}{\left(\frac{\pi f T_{sw}}{2}\right)^2} \frac{\sin(n\pi f T_{sw})^2}{\sin(\pi f T_{sw})^2}.$$

Для сигнала В1-С используется модуляция МВОС(6,1,1/11).

Общая PSD компонентов сигнала В1-С определяется следующим образом:

$$S(f) = \frac{10}{11} BOC_{1,1}(f) + \frac{1}{11} BOC_{6,1}(f).$$

4.2 Сигналы COMPASS в полосе частот 1164–1300 МГц

Для работы системы COMPASS используются три сигнала в полосе частот РНСС 1164–1300 МГц. Это сигналы В2, В3 и В3-А.

Центральной частотой сигнала COMPASS В2 является частота 1191,795 МГц и при его генерации применяется модуляция AltBOC(15,10). Сигнал обеспечивает два боковых лепестка.

Нижний боковой лепесток сигнала COMPASS В2 называется COMPASS В2_а и состоит из двух компонентов со сдвигом по фазе на 90°. Один компонент, В2_{а-Д}, модулируется двоичной последовательностью навигационных данных со скоростью передачи 25 бит/с/50 символ/с, а другой компонент, В2_{а-Р}, данных не содержит.

Верхний боковой лепесток сигнала COMPASS В2 называется COMPASS В2_б и состоит из двух компонентов со сдвигом по фазе на 90°. Один компонент, В2_{б-Д}, модулируется двоичной последовательностью навигационных данных со скоростью передачи 50 бит/с/100 символ/с, а другой компонент, В2_{б-Р}, данных не содержит.

PSD сигнала AltBOC определяется следующим образом:

при

$$G(f) = \frac{4f_c}{\pi^2 f^2} \frac{\cos^2\left(\frac{\pi f}{f_c}\right)}{\cos^2\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right)} \left[\cos^2\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) - \cos\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) - 2\cos\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right)\cos\left(\frac{\pi f}{4f_s}\right) + 2 \right],$$

где:

$$\begin{aligned} f_s &= 15 \times 1,023 \text{ МГц} - \text{частота поднесущей;} \\ f_c &= 10 \times 1,023 \text{ МГц} - \text{чиповая скорость.} \end{aligned}$$

Центральной частотой сигнала В3 является частота 1268,52 МГц. Несущая модулируется методом QPSK с кодом PRN с чиповой скоростью 10,23 Мчип/с (в канале I или в канале Q) и до модуляции суммируется по модулю два с двоичной последовательностью навигационных данных со скоростью передачи 500 бит/с.

Центральной частотой сигнала В3-А также является частота 1268,52 МГц, и в нем применяется модуляция BOC(15,2.5). Сигнал В3-А состоит из двух компонентов со сдвигом по фазе на 90°. Один компонент, В3-А_Д, модулируется двоичной последовательностью навигационных данных со скоростью передачи 50 бит/с/100 символ/с, а другой компонент, В3-А_Р, данных не содержит.

5 Мощность и спектр сигналов

Ниже приведены значения минимального уровня мощности принимаемого сигнала на поверхности Земли для любого угла места, равного или превышающего 5°, при условии идеально согласованной и изотропной антенны 0 дБи.

ТАБЛИЦА 7-1

Сигнал	Минимальная принимаемая мощность для сети МЕО (дБВт)	Минимальная принимаемая мощность для сети GSO/IGSO (дБВт)
Сигнал В1-А:	-156,9	-157,7
Сигнал В1-С:	-158,0	-157,7
Сигнал В2 _а /В2 _б :	-154,5	-156,8
Сигнал В3/В3-А:	-156,0	-158,3

Приложение 8

Техническое описание и характеристики навигационных сетей Inmarsat

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
1 Введение.....	39
1.1 Обзор системы.....	40
2 Конфигурация системы	40
2.1 Космический сегмент.....	40
2.2 Наземный сегмент	40
3 Сигналы SBAS.....	41
4 Спектр управления и телеметрии	41

1 Введение

Сети навигационных ретрансляторов Inmarsat включают восемь спутников с полезной нагрузкой РНСС на геостационарной орбите для обеспечения охвата космического пространства, аналогичного охвату систем SBAS. Пять полезных нагрузок РНСС являются одноканальными полезными нагрузками на спутниках Inmarsat третьего поколения (Inm-3), а три полезные нагрузки РНСС являются многоканальными полезными нагрузками на спутниках Inmarsat четвертого поколения (Inm-4). Кроме обеспечения обслуживания в РНСС те же спутники обеспечивают службу подвижной спутниковой связи в полосах частот ПСС 1,5/1,6 ГГц. Ниже приводится информация по состоянию на сентябрь 2008 года.

Орбитальные позиции спутников, ожидаемые начиная с февраля 2009 года, показаны в таблице 8-1. Следует отметить, что спутники могут время от времени перемещаться, что определяется общими системными требованиями. Все излучения проходят процедуру координации в соответствии с Регламентом радиосвязи МСЭ. Необходимая информация для предварительной публикации, запроса о координации и о заявлении представлена администрацией Соединенного Королевства.

ТАБЛИЦА 8-1

Орбитальная долгота спутников

Спутник	Орбитальная позиция
3F1	64° в. д.
3F2	15,5° з. д.
3F3	178° в. д.
3F4	54° з. д.
3F5	25° в. д.
4F1	143,5° в. д.
4F2	25° в. д.
4F3	98° з. д.

1.1 Обзор системы

В настоящее время система Inmarsat обеспечивает две навигационные полезные нагрузки Inm-3 для космической системы дифференциальных поправок (SBAS) – Европейской геостационарной службы навигационного покрытия (EGNOS).

В современной системе EGNOS Европейское космическое агентство (ESA) использует два навигационных ретранслятора Inm-3 над регионом Атлантический океан, восток (AOR-E) в позиции 15,5° з. д. (спутник 3F2) и над регионом Индийский океан, запад (IND-W) в позиции 25° в. д. (спутник 3F5).

2 Конфигурация системы

Сеть навигационных ретрансляторов Inmarsat состоит из навигационных ретрансляторов (космический сегмент) на спутниках Inmarsat-3 и Inmarsat-4, доступных для функций SBAS.

2.1 Космический сегмент

Навигационный ретранслятор на каждом спутнике серии Inm-3 – это простой ретранслятор типа преобразователя частоты или "прямая дыра". Все спутники принимают переданный по линии вверх сигнал SBAS в одном канале с фиксированной частотой, которая находится в пределах полосы частот ФСС 5925–6700 МГц. Этот сигнал фильтруется, и его частота преобразуется в частоту GPS-L1 (центральная частота 1575,42 МГц) и также передается по линии вниз в полосе частот ФСС 3400–4200 МГц.

Навигационные ретрансляторы на каждом из спутников Inm-4 также являются простыми ретрансляторами типа преобразователя частоты или "прямая дыра". Все спутники принимают переданные по линии вверх сигналы SBAS в паре каналов с фиксированной частотой в пределах полосы частот ФСС 5925–6700 МГц. Эти сигналы фильтруются, и его частота преобразуется в частоту GPS-L1 (центральная частота 1575,42 МГц) и в частоту GPS-L5 (центральная частота 1176,45 МГц).

В случае двух спутников – Inm-3 и Inm-4 – сигнал РНСС усиливается и передается на Землю через "глобальную" антенну, обеспечивая покрытие видимой части поверхности Земли и летательных аппаратов на высоте примерно до 100 000 фт (около 30 000 м). Эти системы разработаны для повышения уровня целостности и точности первичных навигационных сигналов GPS и ГЛОНАСС.

2.2 Наземный сегмент

Неприменимо – Inmarsat обеспечивает охват космического пространства только для SBAS.

3 Сигналы SBAS

Сети навигационных ретрансляторов Inmarsat передают корректирующие сообщения SBAS либо только на частоте GPS-L1 (Inm-3), либо на обеих частотах – GPS-L1 и GPS-L5 (Inm-4). Структуру сигнала для сообщений SBAS определяет авиационное сообщество. Сообщения SBAS имеют тот же базовый формат и структуру, что и навигационные сигналы GPS, передаваемые на этих частотах спутниками GPS. Для них используется формат и структура GPS, поскольку они, как и сообщения GPS, предназначены для приема соответствующим образом оборудованными пользовательскими приемниками.

Общая структура сигнала включает код C/A с интегрированным в него кодом сообщения SBAS и гражданским кодом, подобным GPS. Система построена таким образом, что либо один из кодовых сигналов C/A и P(Y), либо оба эти сигнала могут быть включены в линию вверх и, следовательно, переданы по линиям вниз L1 и L5.

Формат сигнала L1 более подробно описан в спецификации WAAS для L1 (FAA-E-2892B), а формат сигнала L5 определен в спецификации сигналов, составленной RTCA для L5 (RTCA/DO-261).

Уровни мощности навигационных сигналов, передаваемых по L1 и L5 с космических станций Inm-3 и Inm-4, представлены в таблице 8-2. Уровень передаваемого сигнала уменьшается примерно на 3 дБ от пикового значения в точке надира спутника до значения на границе зоны покрытия при угле отклонения от оси около 8,75°.

ТАБЛИЦА 8-2

Номинальная* э.и.м. (дБВт) сигналов L1 и L5 (пик луча)

Спутник	L1	L5
Inm-3F1	33	N/A
Inm-3F2	33	N/A
Inm-3F3	33	N/A
Inm-3F4	33	N/A
Inm-3F5	33	N/A
Inm-4F1	31,4	29,9
Inm-4F2	31,4	29,9
Inm-4F3	31,4	29,9

* Согласно заявкам Инмарсат, представленным в МСЭ.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Пиковая мощность в точке надира зоны покрытия передачи.

Эти сигналы отличаются от других сигналов GPS использованием уникального кода PRN. Это аналогично системе GPS и применению в ней разных кодов PRN для каждого отдельного спутника. Код PRN координируется с оператором системы GPS для обеспечения совместимости с широкоэмитерными передачами других сигналов, подобных GPS.

4 Спектр управления и телеметрии

Навигационные ретрансляторы являются частью более крупной спутниковой полезной нагрузки, которая включает ретрансляторы, обеспечивающие подвижные спутниковые службы. Функции управления и телеметрии объединены с системами TT&C, размещенными на космических кораблях. Благодаря совместному использованию функций TT&C дополнительный спектр для управления навигационными ретрансляторами не требуется.

Приложение 9

Техническое описание и характеристики сети SBAS NIGCOMCAT

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
1 Введение.....	42
2 Частотный план и план поляризации	42
3 Пользовательский сегмент	43
4 Наземный сегмент	43
5 Навигационная служба	43
6 Навигационный сигнал.....	43
6.1 Сигнал L1	43
6.2 Сигнал L5	43

1 Введение

В состав сетей спутниковой системы дифференциальных поправок Nigcomcat (NigSAS) входят три геостационарных спутника. Современной реализацией является спутник NIGCOMCAT-1G (42,5° в. д.), выведенный на орбиту 13 мая 2007 года. Спутники NIGCOMCAT-1A (19,2° з. д.) и NIGCOMCAT-1D (22° з. д.) находятся на этапе планирования. Эти три спутника будут нести одинаковую полезную нагрузку РНСС.

2 Частотный план и план поляризации

Как показано в таблице 9-1, каждый спутник принимает передаваемые по линии вверх сигналы SBAS в диапазоне С и передает по линиям вниз навигационные сигналы в диапазоне L.

ТАБЛИЦА 9-1

Канал	Частота (МГц)	Поляризация	Ширина полосы
С1-линия вверх	6 698,42	ЛHCP	4 МГц
С5-линия вверх	6 639,45	ЛHCP	20 МГц
L1-линия вниз	1 575,42	РНCP	4 МГц
L5-линия вниз	1 176,45	РНCP	20 МГц

3 Пользовательский сегмент

Система NigSAS разработана совместимой с системами дифференциальных поправок GPS и Galileo. Следовательно, она будет обеспечивать данные о целостности и корректирующие данные для приемников, совместимых с GPS/Galileo.

4 Наземный сегмент

Неприменимо, поскольку система NigSAS должна обеспечивать охват космического пространства для существующих сетей SBAS.

5 Навигационная служба

Зона приема в диапазоне L включает Африку, Западную и Восточную Европу и Азию для полезной нагрузки РНСС NIGCOMCAT-1G.

6 Навигационный сигнал

Система NigSAS передает сообщения SBAS на несущих частотах L1 и L5 со структурой формата GPS. Методы модуляции составляющих сигнал синфазных компонентов (I) и компонентов со сдвигом по фазе 90° (Q) зависят от выбора несущей частоты. Сигнал SBAS от каждого спутника отличается от других сигналов SBAS использованием кодов псевдослучайной помехи (PRN). Битовая скорость передачи навигационных данных на обеих частотах составляет 50 бит/с.

6.1 Сигнал L1

Частота L1 1575,42 МГц модулируется методом BPSK в канале I кодом грубого определения местоположения PRN L1 с чиповой скоростью 1,023 Мчип/с и длиной кода 1023. Выбор метода модулирования канала Q остается за арендатором полезной нагрузки РНСС, для сети которого GNSS/SBAS будут передаваться дифференциальные поправки. В таблице 9-2 приведены параметры этой системы.

ТАБЛИЦА 9-2

Несущая частота (МГц)	Обозначение излучения	Присвоенная ширина полосы (МГц)	Максимальная пиковая мощность (дБВт)	Максимальная плотность мощности (дБ(Вт/Гц))	Усиление антенны (дБи)
1 575,42	4M00X2D	4,0	17,9	-42,1	13,5
	2M20X2D	2,2	17,9	-42,1	

6.2 Сигнал L5

Частота L5 1176,42 МГц модулируется в обоих каналах – I и Q – двумя разными кодами PRN L5. Чиповая скорость каждого кода PRN L5 составляет 10,23 Мчип/с, длина кода 10 230. Однако навигационными данными модулируется только синфазный компонент. Более высокая скорость сигнала L5 улучшает функцию автокорреляции пользовательского сегмента. Более подробная информация представлена в таблице 9-3.

ТАБЛИЦА 9-3

Несущая частота (МГц)	Обозначение излучения	Присвоенная ширина полосы (МГц)	Максимальная пиковая мощность (дБВт)	Максимальная плотность мощности (дБ(Вт/Гц))	Усиление антенны (дБи)
1 176,45	20M0X2D	20	16,5	-53,5	13,0
	4M00X2D	4	16,5	-43,5	

Приложение 10

Техническое описание Индийской региональной навигационной спутниковой системы (IRNSS) и Индийской системы SBAS, GAGAN (вспомогательная корректировочная навигационная система, улучшающая прием GPS сигналов)

СОДЕРЖАНИЕ

		<i>Стр.</i>
1	Введение.....	44
1.1	Требования по частоте систем IRNSS и GAGAN	45
2	Обзор систем.....	45
2.1	Применения систем IRNSS и GAGAN	45
3	Сегменты систем	46
3.1	Космический сегмент.....	46
3.2	Наземный сегмент	46
3.3	Пользовательский сегмент	46
4	Структура сигналов IRNSS и GAGAN.....	47
4.1	Структура сигнала IRNSS.....	47
4.2	Передачи GAGAN	49

1 Введение

Индия внедряет свою региональную навигационную спутниковую систему (IRNSS), охватывающую полуостров Индостан и соседние территории. IRNSS будет работать в полосе 1164–1215 МГц и, возможно, в полосе 1559–1610 МГц). Базовая группировка IRNSS состоит из трех ГСО спутников и четырех спутников на наклонных ГСО орбитах (I-ГСО) с углом наклона 29° в. д. к экватору. Базовую группировку из семи спутников планируется увеличить четырьмя дополнительными спутниками I-ГСО, и группировка станет включать одиннадцать спутников. Система предназначена для обеспечения службы точного местоположения, навигации и синхронизации.

Индия внедряет спутниковую систему дифференциальных поправок (SBAS), GAGAN (вспомогательная корректировочная навигационная система), над индийским воздушным пространством. Индийская система SBAS GAGAN предназначена для обеспечения повышенной точности, надежности, целостности и непрерывности на основе базовой системы GPS. Характеристики космического и наземного сегментов аналогичны характеристикам внедренных систем SBAS, таких как WAAS над воздушным пространством США, EGNOS над европейским регионом ECAC (Европейской конференции гражданской авиации) и MSAS над Японией.

1.1 Требования по частоте систем IRNSS и GAGAN

В основе требований по частоте для системы IRNSS лежит оценка требований по точности позиционирования, навигации и синхронизации, оценки задержки распространения в направлении космос-Земля, оценке многолучевости и шумов приемника, а также стоимости и конфигурации оборудования.

На несущей L5 система IRNSS осуществляет передачу двух сигналов с центральной частотой 1176,45 МГц. Сигналы включают сигнал стандартного определения местоположения (SPS) с модуляцией BPSK 1 МГц и сигнал ограниченной зоны обслуживания (RS) с модуляцией BOC (5,2).

На несущей L1 планируется осуществлять передачу двух сигналов в системе IRNSS с центральной частотой 1575,42 МГц. Планируемые сигналы включают сигнал SPS, который может иметь схему модуляции BOC(1,1), или CBOC(6,1,1/11), или TMBOC (6,1,1/11), а также сигнал RS, который может иметь схему модуляции BOC_c(5,2), или BOC_c (4,2), или BOC_c(12,2) (из этих трех вариантов выбирается одна схема модуляции в зависимости от результатов координации с другими операторами GNSS).

В индийской системе SBAS GAGAN сигналы дифференциальных поправок GPS передаются в полосе 1559–1610 МГц (с центральной частотой 1575,42 МГц) и в полосе 1164–1215 МГц (с центральной частотой 1176,45 МГц).

2 Обзор систем

IRNSS – это непрерывно функционирующая всепогодная радионавигационная спутниковая система космического базирования, предназначенная для определения местоположения, навигации и передачи сигналов времени для любых пользователей, имеющих соответствующий приемник в любой точке зоны обслуживания.

Система работает по принципу пассивной трилатерации. Оборудование пользователя IRNSS сначала выполняет измерение псевдодальности до четырех или более спутников, рассчитывает свое местоположение после синхронизации своих сигналов времени со временем системы IRNSS с помощью полученных эфемерид и параметров коррекции времени.

Затем оборудование определяет пространственное местоположение пользователя в системе координат WGS-84 и смещение пользовательских часов относительно времени IRNSS путем вычисления совместного решения четырех уравнений дальности.

Пространственная скорость и величина поправки часов пользователя могут определяться путем решения четырех уравнений скорости изменения дальности по измерениям скорости изменения псевдодальности до четырех спутников. Измерения называются "псевдо", поскольку они выполняются по неточным (недорогим) часам пользователя в приемнике и содержат постоянную ошибку смещения вследствие смещения часов приемников относительно времени IRNSS.

Полезная нагрузка индийской системы SBAS GAGAN размещена на трех индийских спутниках связи. Полезная нагрузка корректировочной системы GAGAN передает поправки сигналов, полученных от базовой системы GPS, для повышения точности, целостности, готовности и непрерывности.

2.1 Применения систем IRNSS и GAGAN

Службы IRNSS предназначены для обеспечения службы определения местоположения, навигации и передачи сигналов времени для населения и служб общего назначения.

3 Сегменты систем

Системы IRNSS и GAGAN состоят из трех основных сегментов: космического сегмента, сегмента управления и пользовательского сегмента. Ниже описаны основные функции каждого сегмента.

3.1 Космический сегмент

Космический сегмент образуют семь спутников (три спутника ГСО и четыре спутника I-ГСО), которые функционируют как "небесные" опорные точки, передающие из космоса точные кодированные по времени навигационные сигналы. Группировка спутников IRNSS видна постоянно во всех точках зоны обслуживания. В ближайшем будущем планируется добавить в группировку еще четыре спутника I-ГСО.

3.2 Наземный сегмент

Наземный сегмент системы IRNSS осуществляет управление всей группировкой IRNSS, контроль состояния "здоровья" спутников и загрузку данных для их последующей широковещательной передачи пользователям. Наземный сегмент получает сигналы, передаваемые спутниками, а основные элементы, такие как данные, сигналы для синхронизации часов и орбитальные эфемериды вычисляются на основании измерений, выполняемых сетью наземных станций, развернутых в зоне обслуживания.

Ниже приводятся основные элементы наземного сегмента:

- Средство управления спутниками IRNSS (IRSCF) обеспечивает функции управления группировкой и контроля состояния спутников, служебного обеспечения и контроля характеристик космических аппаратов, а также передачи полетных данных на спутники.
- В Индийском навигационном центре (INC) располагается навигационное программное обеспечение, которое выполняет функции обработки и контроля навигационной информации и целостности.
- Станции измерения дальности и контроля целостности IRNSS (IRIMS) используются для содействия непрерывному одностороннему определению дальности нахождения спутника IRNSS и для определения целостности группировки IRNSS. Такие IRIMS постоянно отслеживают навигационные сигналы группировки IRNSS и передают в INC данные, содержащие информацию о псевдодальности и фазе несущей.
- Устройство сетевой синхронизации IRNSS (IRNWT) обеспечивает для IRNSS стабильную опорную частоту синхронизации.
- Станции определения дальности CDMA IRNSS (IRCDR) осуществляют точные операции по двустороннему определению дальности.

Наземный сегмент системы GAGAN образуют станции управления спутниками, которые называются индийскими сухопутными станциями загрузки данных (INLUS), и группа индийских опорных станций, называемых INRES. Данные, полученные со станций INRES, собираются и анализируются в главном центре управления (MCC), а необходимые корректирующие значения загружаются на навигационную полезную нагрузку GAGAN.

3.3 Пользовательский сегмент

Пользовательский сегмент IRNSS и пользовательский сегмент GAGAN объединяют в себе все пользовательские установки и поддерживающее их оборудование. Пользовательский сегмент состоит, как правило, из антенны, приемника, компьютера и устройства ввода-вывода IRNSS/GAGAN. В составе пользовательского сегмента предусмотрен также встроенный приемник GNSS, способный принимать данные от систем IRNSS, GAGAN, GPS, Galileo, ГЛОНАСС и других группировок.

4 Структура сигналов IRNSS и GAGAN

4.1 Структура сигнала IRNSS

Центральными частотами сигналов IRNSS являются 1176,45 МГц и 1575,42 МГц. Узкополосный сигнал модулируется методом BPSK 1 МГц и передает золотые коды.

Широкополосный сигнал IRNSS модулируется методом BOC(5,2). Модуляция BOC – это способ создания формы спектра передаваемого сигнала. Сигналы типа BOC, как правило, имеют форму BOC (f_{sub}, f_{chip}), где частоты обозначены как множители чиповой скорости, имеющей значение 1,023 Мчип/с.

Плотность спектральной мощности сигнала BOC определяется следующим выражением:

$$G_{BOC_{\sin}(f_s, f_c)}(f) = f_c \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) \cos\left(\frac{\pi f}{f_c}\right)}{\cos\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) \pi f} \right]^2,$$

где:

$f_s = 5 \times 1,023$ МГц – частота поднесушей; и

$f_c = 2,0 \times 1,023$ МГц – чиповая скорость.

4.1.1 Описание сигнала IRNSS

ТАБЛИЦА 10-1

Параметры сигнала L5 IRNSS

Параметр	Описание параметра РНСС	
	SPS	RS
Частотный диапазон сигнала (МГц)	1 176,45 ± 12	
Чиповая скорость кода PRN (Мчип/с)	1,023	2,046
Скорость передачи битов навигационных данных (бит/с)	25	
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	50	
Метод модуляции сигнала	BPSK (1 МГц)	BOC (5,2)
Поляризация	Правая круговая (RHCP)	
Эллиптичность (дБ)	Максимально 1,8	
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на выходе эталонной антенны (дБВт)	-156,37	-159,30
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	24	

ТАБЛИЦА 10-2

Параметры сигнала IRNSS L1

Параметр	Описание параметра RHCC	
	SPS	RS
Частотный диапазон сигнала (МГц)	1 575,42 ± 12	1 575,42 ± 12 (для BOC _s (5,2)/ BOC _c (4,2))/ 1 575,42 ± 15 (для BOC _c (12,2))
Чиповая скорость кода PRN (Мчип/с)	1,023	2,046
Скорость передачи битов навигационных данных (бит/с)	25	
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	50	
Метод модуляции сигнала*	BOC (1,1)/CBOC(6,1,1/11)/ TMBOC(6,1,1/11)**	BOC _s (5,2)/BOC _c (4,2)/ BOC _c (12,2)
Поляризация	Правая круговая (RHCP)	
Эллиптичность (дБ)	Максимально 1,8	
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на выходе эталонной антенны (дБВт)	-156,37 –161,74	
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	24	24 (для BOC _s (5,2)/ BOC _c (4,2))/ 30 (для BOC _c (12,2))

* На основе результатов координации с другими операторами RHCC будет выбран один из вариантов модуляции.

** Модуляция МВОС является сочетанием двух сигналов модуляции ВОС. ВОС с временным мультиплексированием (ТМВОС) и составной ВОС (СВОС) – это два типа реализации МВОС. В сигнале ТМВОС мультиплексируются по времени два сигнала ВОС. В сигнале СВОС мощность сигнала разделяется между двумя сигналами ВОС.

Сигнал ТМВОС(6,1,1/11) включает (i) модуляцию ВОС(6,1) для 1/11 времени и (ii) модуляцию ВОС(1,1) для 10/11 времени.

Сигнал СВОС(6,1,1/11) включает сумму (i) 1/11 мощности модуляции ВОС(6,1) и (ii) 10/11 мощности модуляции ВОС(1,1).

$$s(t) = \frac{\alpha * boc(t) - \alpha * bpsk(t) * \cos(2\pi f_{sc} t) - (\beta * pilot(t) + \gamma * boc(t) * pilot(t) * bpsk(t)) * \sin(2\pi f_{sc} t)}{}$$

4.2 Передачи GAGAN

ТАБЛИЦА 10-3

Передачи GAGAN L1 в полосе 1559–1610 МГц

Параметр	Значение параметра
Частотный диапазон сигнала (МГц)	1 575,42 ± 9 (С/А)
Чиповая скорость кода PRN (Мчип/с)	1,023 (С/А)
Скорость передачи битов навигационных данных (бит/с)	250 (С/А)
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	500 (С/А)
Метод модуляции сигнала	BPSK-R(1) (С/А)
Поляризация	Правая круговая (RHCP)
Эллиптичность (дБ)	Максимально 2,0
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на выходе эталонной антенны (дБВт)	-157,37 (С/А)
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	18

ТАБЛИЦА 10-4

Передачи GAGAN L5 в полосе 1164–1215 МГц

Параметр	Значение параметра
Частотный диапазон сигнала (МГц)	1 176,45 ± 12
Чиповая скорость кода PRN (Мчип/с)	10,23
Скорость передачи битов навигационных данных (бит/с)	250 (L5I)
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	500 (L5I)
Метод модуляции сигнала	BPSK-R(10)
Поляризация	Правая круговая (RHCP)
Эллиптичность (дБ)	Максимально 2,0
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на выходе эталонной антенны (дБВт)	-156,3 (L5I)
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	24