

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.1787-1
(01/2012)

**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

**Подвижная спутниковая служба, спутниковая
служба радиоопределения, любительская
спутниковая служба и относящиеся к ним
спутниковые службы**



Международный
союз
электросвязи

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 1 МСЭ-R. 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	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая 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 1 МСЭ-R.

Электронная публикация
Женева, 2012 г.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.1787-1

**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 217/4 и МСЭ-R 288/4)

(2009-2012)

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.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- а) 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;
- б) что существует ряд работающих и планируемых к вводу в эксплуатацию систем и сетей РНСС;
- в) что в Рекомендациях МСЭ-R М.1902, МСЭ-R М.1905, МСЭ-R М.1903 и МСЭ-R М.1904 представлены технические и эксплуатационные характеристики и критерии защиты для систем и сетей в приемниках РНСС (космос-Земля и космос-космос) в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц, и 1559–1610 МГц;
- г) что в Рекомендации МСЭ-R М.1318 представлена модель оценки непрерывных помех от источников радиосигналов, не являющихся источниками в РНСС, системам и сетям РНСС, работающим в полосах 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц, 1559–1610 МГц и 5010–5030 МГц;
- д) что в Рекомендации МСЭ-R М.1901 представлено руководство по данной 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;
- е) что в Отчете МСЭ-R М.766 содержится информация, относящаяся к функционированию РНСС в полосе частот 1215–1300 МГц;
- ж) что любая соответствующим образом оборудованная земная станция может принимать навигационную информацию от систем и сетей РНСС на всемирной основе;
- з) что в Рекомендации МСЭ-R М.1831 представлена методика оценки межсистемных помех в РНСС, которая должна использоваться в процессе координации между системами и сетями РНСС,

признавая,

- а) что полосы частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц распределены РНСС (космос-Земля и космос-космос) на первичной основе во всех трех Районах;

- b) что полосы частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц также распределены на первичной основе другим службам во всех трех Районах;
- 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,

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 1 должно рассматриваться как часть настоящей Рекомендации.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – 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

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 триангуляции. Оборудование пользователей системы ГЛОНАСС осуществляет измерение псевдодальности 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

1 Введение

Текущая информация о Глобальной системе определения местоположения (GPS) Navstar бесплатно доступна по адресу: <http://www.navcen.uscg.gov/gps/geninfo/>. Информация о системе GPS, работающей в диапазонах 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц, включена в новейшую версию спецификации интерфейса GPS IS-GPS-200, содержащую уведомления о пересмотрах. Информация о системе GPS, работающей в диапазоне 1164–1215 МГц, включена в новейшую версию спецификации интерфейса GPS IS-GPS-705, содержащую уведомления о пересмотрах. 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 триангуляции. Оборудование пользователя GPS сначала выполняет измерение псевдодальности до четырех спутников, рассчитывает их позиции и синхронизует 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 GPS¹ 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 псевдослучайной помехи (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

¹ Согласно планам в начале 2018 года GPS начнет производство систем РНСС для контроля целостности группировки спутников GPS.

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 BOC. BOC(m,n) означает модуляцию с бинарным разделением несущей частоты, смещение несущей частоты составляет $m \times 1,023$ (МГц), кодовая скорость $n \times 1,023$ (Мчип/с), нормализованная спектральная плотность мощности 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.

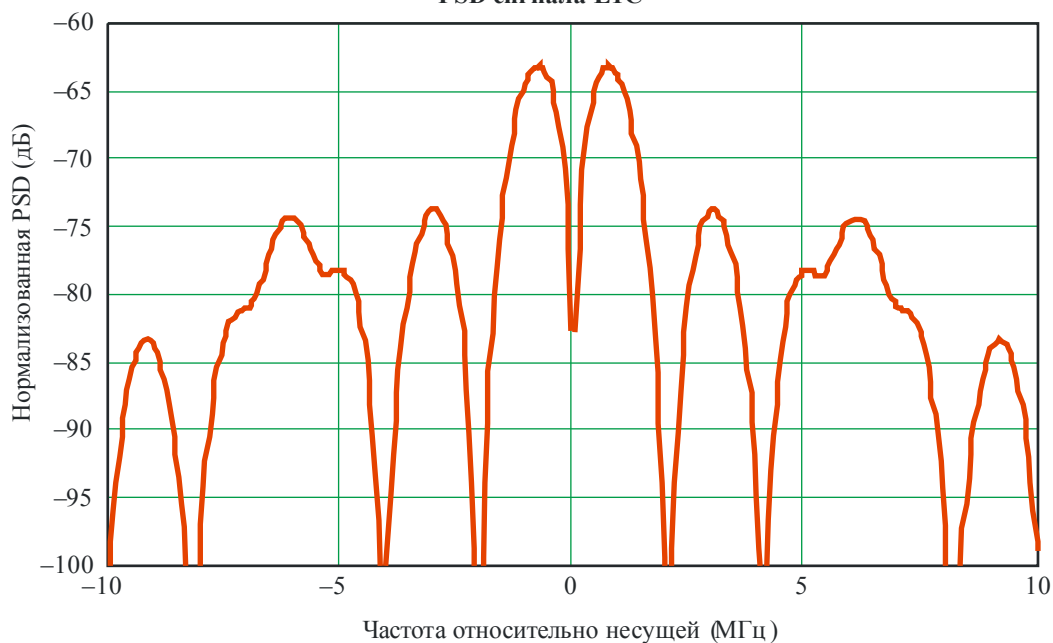
Для L1C_D используется модуляция ВОС(1,1), для L1C_P используется модуляция, называемая МВОС, и он мультиплексируется в период времени между ВОС(1,1) и ВОС(6,1). МВОС имеет нормализованную плотность спектральной мощности (PSD), определяемую выражением:

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

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) МВОС (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

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для параметров GPS PHCC BPSK-R(n) означает бинарную фазовую манипуляцию с использованием прямоугольных чипов, скорость передачи которых составляет $n \times 1,023$ (Мчип/с). ВОС(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 МВОС описана в разделе, предшествующем настоящей таблице.

6.2 Параметры передачи сигналов L2 GPS

GPS использует для работы несколько сигналов в полосе PHCC 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	RHCP
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 PHCC BPSK-R(n) означает бинарную фазовую манипуляцию с использованием прямоугольных чипов, скорость передачи которых составляет $n \times 1,023$ (Мчип/с). ВОС(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 PHCC 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)	1176,45 $\pm$ 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 RHCC 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

1 Введение

Систему Galileo образует группировка из 30 спутников (27 основных спутников и три запасных находящихся на орбите) по десять спутников в каждой из трех равно разнесенных орбитальных плоскостей, угол наклонения которых составляет 56° . Каждый спутник передает одинаковые несущие частоты для навигационных сигналов. Эти навигационные сигналы модулированы структурированной 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 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. Для работы системы Galileo используются четыре канала: каждый спутник Galileo постоянно передает четыре когерентных, но независимо используемых РЧ сигнала, 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). Сигналы E5a и E5b мультиплексируются с одной модуляцией, которая называется AltBOC (альтернативный сигнал BOC), в котором используется одна несущая частота 1191,795 МГц. Вся совокупность десяти сигналов, мультиплексированных и модулирующих три вышеупомянутые несущие, передается и разделяется на разные службы.

Эти три передачи содержат компоненты, которые могут быть преобразованы для обеспечения служб "определение местоположения/навигация/синхронизация" (PNT) в различных конфигурациях. Многообразие конфигураций приемников обеспечит прием одного или несколько компонентов, соответствующих применениям и конкретным потребностям пользователя. Все компоненты сигналов (несущие, поднесущие, цифровые скорости передачи данных) когерентно выводятся по бортовым общим атомным часам.

Такое разнесение частот и ширина полосы, используемые в системе Galileo, увеличивают точность дальности при определении задержки распространения в направлении космос-Земля и улучшают подавление многолучевости для повышения общей точности.

2 Обзор системы

Система Galileo – 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 работает по принципу пассивной триангуляции. Оборудование пользователя Galileo сначала выполняет измерение псевдодальности до четырех спутников, рассчитывает их позиции и синхронизирует их сигналы времени с системным временем Galileo с помощью полученных эфемерид и параметров коррекции времени. Затем оборудование 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

"Спасание жизни" (SoL)

Служба "спасания жизни" Galileo доступна для имеющих критическое значение применений в авиации (от функций навигации на маршруте до точных заходов на посадку), железнодорожном и морском транспорте.

Коммерческие

Система Galileo осуществляет коммерческое распространение данных, упрощающих разработку профессиональных применений и обеспечивающих повышение производительности по сравнению с базовыми услугами, в частности в аспекте гарантий обслуживания.

Массовый рынок

Система Galileo предоставляет открытую бесплатную базовую службу, в основном включающую применения для общего пользования и услуги общего характера. Эта служба обслуживает сообщества пользователей, аналогичные обслуживаемым системой GPS SPS. Система совместима с GPS.

Государственный сектор

Система Galileo предоставляет зашифрованную управляемую государством службу (PRS), пользоваться которой могут только государственные органы, ответственные за гражданскую оборону, национальную безопасность и охрану правопорядка.

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 27 спутников (плюс три запасных спутника), находящиеся на 14-часовых орбитах, большая полуось которых составляет около 30 000 км. Спутники размещены в трех орбитальных плоскостях, наклонение которых относительно экватора составляет 56°. В каждой плоскости размещено по десять спутников.

3.2 Наземный сегмент

Наземный сегмент системы Galileo осуществляет управление всей группировкой Galileo, контролируя состояние "здоровья" спутников и загружая данные для их последующей широкополосной передачи пользователям. Основные элементы этих данных, сигналов для синхронизации часов и орбитальных эфемерид вычисляются на основании измерений, выполняемых охватывающей весь мир сетью станций.

Наземный сегмент выполняет следующие функции:

- управление группировкой и контроль состояния спутников;
- обработка и контроль навигационной информации и целостности;
- служебное обеспечение и контроль характеристик космических аппаратов (ТТС);
- передача на спутники полетных данных.

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 Galileo, компьютера и устройств ввода-вывода. Эта установка захватывает навигационные сигналы от всех спутников, находящихся в зоне видимости, преобразует их в значения псевдодальности и скорости изменения псевдодальности и определяет пространственное положение, скорость и системное время.

4 Структура сигнала Galileo

Ниже приведено краткое описание сигналов Galileo, доступных для использования в применениях навигации и синхронизации.

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), службы спасения жизни (SoL) и государственной службы (PRS), которые – все – включают навигационное сообщение. 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 SoL, и методом косинусной модуляции BOC(15,2.5) (включающим компонент E1-A) для PRS. Поток данных E1-B также содержит сообщения о целостности.

Модуляция BOC – это способ создания 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:

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

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

Модуляция MBOC такова, что спектр $G_{MBOC}(f)$ сигнала вычисляется как:

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

где:

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

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)	1 559–1 594
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)

ТАБЛИЦА 3-1 (окончание)

Параметр	Значение параметра
Метод модуляции сигнала	МВОС (OS/SoL) $BOC_{\cos}(15,2,5)$ (PRS)
Поляризация	RHCP
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на выходе эталонной антенны (дБВт)	-157,25 (МВОС) (См. ПРИМЕЧАНИЕ 2)

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

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Минимальная принимаемая мощность у поверхности Земли измеряется на выход 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 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 (BSK(5)) (См. ПРИМЕЧАНИЕ 1)

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – 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 (прием на разнесенных частотах) для открытой службы (OS), включая сообщения, содержащие навигационные данные.

Сигнал E5a является сигналом с открытым доступом и передается в полосе E5, включающей канал данных и пилотный (не содержащий данных) канал.

Верхний боковой лепесток сигнала E5 Galileo называется сигналом E5b Galileo и обеспечивает обе службы – открытую службу (OS) и "спасание жизни" (SoL), включая навигационные сообщения с сообщением, содержащим информацию о комплексной целостности.

Сигнал E5b является сигналом с открытым доступом и передается в полосе E5, включающей канал данных и пилотный (не содержащий данных) канал.

Спектральная плотность мощности сигнала 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:

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

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)

1 Введение

Квазизенитную спутниковую систему (QZSS) образуют три спутника, размещенные по одному в каждой из трех равноразнесенных орбитальных плоскостях, угол наклона которых составляет 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 экспериментальный сигнал (LEX) с центральной частотой 1278,75 МГц (LEX).

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 один экспериментальный сигнал, содержащий сообщения с более высокой скоростью передачи данных.

Система работает по принципу пассивной триангуляции. 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 трех спутников, функционирует на 24-х часовых орбитах, апогей которых составляет 39 970 км, перигей – 31 602 км. Каждый из трех спутников размещен в собственной отдельной орбитальной плоскости, наклонение которых относительно экватора составляет 45° . Орбитальные плоскости имеют равное разнесение (т. е. на 120° по фазе) и спутники так разнесены по фазе, что в каждый текущий момент видимым всегда является спутник, находящийся на высоком угле места относительно Японии.

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 LEX 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 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 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 развертывающимся кодом L2C. Код L2C имеет тактовую частоту 1,023 МГц с альтернативными развертывающимися 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°. Сигналы в обоих каналах – I и Q – модулируются двумя разными развертывающимися кодами L5. Оба развертывающиеся 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").

Сигнал LEX 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 LEX. 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 LEX 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 LEX передаются в частотном сегменте 1215–1300 МГц и сигнал L5 передается в частотном сегменте 1164–1215 МГц, которые распределены RHCC.

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 RHCC в направлении космос-Земля в четырех полосах частот, параметры передач QZSS представлены в четырех таблицах по четырем полосам RHCC, в которых осуществляется передача навигационных сигналов QZSS.

8.1 Параметры передачи сигналов L1 QZSS

Система QZSS использует несколько сигналов в полосе RHCC 1559–1610 МГц. Это сигналы L1 C/A, L1C и L1-SAIF. *Параметры сигнала L1C окончательно еще не определены, поэтому представленные в таблице 4-1 значения L1C могут измениться.*

ТАБЛИЦА 4-1

Передача сигналов QZSS в полосе частот 1559–1610 МГц

Параметр	Значение параметра
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 (L1-SAIF), 25 (L1C)
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	50 (C/A), 500 (L1-SAIF), 50 (L1C)
Метод модуляции сигнала	BPSK-R(1) (C/A и L1-SAIF) BOC(1,1) (L1C) (См. ПРИМЕЧАНИЕ 1)
Поляризация и эллиптичность (дБ)	RHCP; максимально 1,2
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на входе антенны (дБВт)	–158,5 (C/A), –163 (L1C содержит данные), –158,25 (L1C не содержит данных), –161 (L1-SAIF) (См. ПРИМЕЧАНИЕ 2)
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	32

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – 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 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.

8.2 Параметры передачи сигналов L2 QZSS

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

ТАБЛИЦА 4-2

Передача сигналов L2 QZSS в полосе частот 1215–1300 МГц

Параметр	Описание параметров RHCC
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)	RHCP; 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 RHCC 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 LEX QZSS в полосе частот 1215–1300 МГц

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

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.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – 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 два навигационных сигнала 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.

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)
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	100 (L5I)
Метод модуляции сигнала	BPSK-R(10) (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) (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).

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)

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):

- а) Глобальная система определения местоположения (GPS).
- б) Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС).
- в) Бортовая система дифференциальных поправок (ABAS).
- г) Спутниковая система дифференциальных поправок (SBAS).
- д) Наземная система дифференциальных поправок (GBAS).
- е) 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 широкоэмиттерную 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 PHCC, 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 Хитахи-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 PHCC 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****1 Введение**

В состав сетей LM-RPS входят спутники с полезной нагрузкой многочастотной РНСС, находящиеся на геостационарной орбите, и две станции связи по 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 FAA (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 ширококвещательная 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 ширококвещательная служба, использующая как линии вверх ФСС, так и линии вниз РНСС, что делает ее несколько более сложной по сравнению со службой ФСС, выполняющей обычные ширококвещательные 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 ширококвещательную 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 ширококвещательной передачи сообщения WAAS на навигационную полезную нагрузку, и какая станция является дублирующей GUS. Дублирующая GUS осуществляет ширококвещательную 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 ширококвещательной 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 широковещательную 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 широковещательной передачи L1 LM-RPS более подробно описан в спецификации WAAS для L1 (FAA-E-2892B), а формат сигнала для широковещательной передачи LM-RPS L5 определен в спецификации сигналов, составленной RTCA для L5 (RTCA/DO-261).

Уровни сигналов широковещательной 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 C1 LM-RPS-133W, который транслируется в L1, в качестве несущей используется частота 6639,27 МГц, а C5, который транслируется в L5, передается на частоте 6690,42 МГц. Сигнал LM-RPS-107.3W C1 передается на частоте 6625,45 МГц, а сигнал C5 – 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 широкоэвещательными 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 РНСС в направлении космос-Земля в двух полосах частот, параметры передачи LM-RPS представлены в двух таблицах по двум полосам РНСС, 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)

ТАБЛИЦА 6-2 (окончание)

Параметр	Значение параметра
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 RHCC 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)	$1\,176,45 \pm 12$
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 RHCC 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

1 Введение

Систему COMPASS образует группировка из 30 негеостационарных спутников и пяти геостационарных спутников в позициях 58,75° в. д., 80° в. д., 110,5° 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 триангуляции. 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° в. д., 80° в. д., 110,5° в. д., 140° в. д. и 160° в. д., а два неактивных запасных спутника размещены в позициях 144,5° 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 MBOC(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:

$f_s = 15 \times 1,023$ МГц – частота поднесущей;

$f_c = 10 \times 1,023$ МГц – чиповая скорость.

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.

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

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 1. – 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 широковещательными 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

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
C1-линия вверх	6 698,42	LHCP	4 МГц
C5-линия вверх	6 639,45	LHCP	20 МГц
L1-линия вниз	1 575,42	RHCP	4 МГц
L5-линия вниз	1 176,45	RHCP	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 RHCC 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 RHCC, 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), Индийской системы SBAS, GAGAN (вспомогательная корректировочная навигационная система, улучшающая прием GPS сигналов) и Глобальной индийской навигационной системы (GINS)

1 Введение

Индия внедряет свою региональную навигационную спутниковую систему (IRNSS), охватывающую полуостров Индостан и соседние территории. IRNSS будет работать в полосе L5 (1164–1215 МГц) и, возможно, в полосе L1 (1559–1615 МГц). IRNSS является самостоятельной региональной навигационной спутниковой системой, в состав которой входят 7/11 спутников. Базовая группировка IRNSS состоит из трех ГСО и четырех НГСО спутников с углом наклона 29° в. д. к экватору. Система предназначена для обеспечения службы точного местоположения, навигации и синхронизации. На более позднем этапе Индия планирует разработать Глобальную индийскую навигационную систему (GINS), состоящую из 24 спутников и работающую в полосах L1 и L5.

Индия внедряет спутниковую систему дифференциальных поправок (SBAS), GAGAN (вспомогательная корректировочная навигационная система), над индийским воздушным пространством.

Международная организация гражданской авиации (ИКАО) одобрила глобальную навигационную спутниковую систему (ГНСС) в качестве будущей аэронавигационной системы (FANS) для авиации.

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, GAGAN и GINS

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. Два канала, имеющие центр на частоте 1176,45 МГц (полоса L5) и частоте 1575,42 МГц (полоса L1), передают один узкополосный и один широкополосный сигнал, каждый.

В системе IRNSS, в полосе L5, для узкополосного сигнала применяется модуляция BPSK 1 МГц, а для более широкополосного сигнала – модуляция BOC(5,2). В полосе L1 для узкополосного сигнала применяется модуляция BOC(1,1), а для более широкополосного сигнала – модуляция BOC(5,2).

В индийской системе SBAS GAGAN сигналы дифференциальных поправок GPS передаются в полосах L1 (1575,42 МГц) и L5 (1176,45 МГц).

Для системы GINS предложены схемы модуляции BPSK(1) и BOC(5,2) в полосе L5 и схемы BOC(1,1) и BOC(5,2) в полосе L1.

2 Обзор системы

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

Планируется, что в будущем система GINS станет глобальной системы, работающей в полосах L1 и L5 и обеспечивающей службы определения местоположения, радионавигации и передачи сигналов времени аналогично IRNSS.

Система работает по принципу пассивной триангуляции. 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 будет размещена на трех индийских спутниках связи. Полезная нагрузка корректировочной системы GAGAN передает значения поправки относительно базовой системы GPS для повышения точности, целостности, готовности и непрерывности.

2.1 Применение систем IRNSS, GAGAN и GINS

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

3 Сегменты системы

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 7/11 спутников, три ГСО и 4/8 НГСО, 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.

Сегмент индийской системы SBAS GAGAN образуют три геостационарные навигационные полезные нагрузки, передающие сигналы, подобные сигналам GPS, в полосах частот L1 и L5.

Система GINS будет состоять из 24 спутников в трех орбитальных плоскостях, наклонение которых относительно экватора составляет 42°. Действующая группировка из 24 спутников будет иметь орбиту длительностью 14 час. 4 мин. и 42 сек. с длиной полуоси около 23 222 км.

3.2 Наземный сегмент

Наземный сегмент системы IRNSS осуществляет управление всей группировкой IRNSS, контроль состояния "здоровья" спутников и загрузку данных для их последующей широкополосной 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.

Наземный сегмент выполняет следующие функции:

- управление группировкой и контроль состояния спутников;
- обработка и контроль навигационной информации и целостности;
- служебное обеспечение и контроль характеристик космических аппаратов;
- передача полетных данных на спутники.

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 (МСС), а необходимые корректирующие значения загружаются на навигационную полезную нагрузку GAGAN.

Наземный сегмент системы GINS будет осуществлять управление группировкой GINS, контролируя состояние "здоровья" спутников и загружая данные для их последующей широкополосной передачи пользователям. Основные элементы этих данных, сигналов для синхронизации часов и орбитальных эфемерид вычисляются на основании измерений, выполняемых сетью расположенных далеко друг от друга станций. Наземный сегмент будет также выполнять функции управления группировкой и контроля состояния спутников, обработки и контроля навигационной информации и целостности, служебного обеспечения космических аппаратов, телеметрии, слежения и управления, а также передачи на спутники полетных данных.

3.3 Пользовательский сегмент

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

4 Структура сигналов IRNSS, GAGAN и GINS

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 ВОС 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:

$$\begin{aligned} n f_s &= 5 \times 1,023 \text{ МГц} - \text{частота поднесущей}; \text{ и} \\ f_c &= 2,0 \times 1,023 \text{ МГц} - \text{чиповая скорость.} \end{aligned}$$

4.1.1 Описание сигнала IRNSS

ТАБЛИЦА 10-1

Параметры сигнала L5 IRNSS

Параметр	Описание параметра РНСС
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) ВОС (5,2)
Поляризация	Правая круговая (RHCP)
Эллиптичность (дБ)	Максимально 1,8
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на выходе эталонной антенны (дБВт)	−156,37
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	24

ТАБЛИЦА 10-2

Параметры сигнала IRNSS L1

Параметр	Описание параметра РНСС
Частотный диапазон сигнала (МГц)	1 575,42 ± 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	BOC(1,1) BOC(5,2)
Поляризация	Правая круговая (RHCP)
Эллиптичность (дБ)	Максимально 1,8
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на выходе эталонной антенны (дБВт)	–156,37
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	24

Комбинированные РЧ сигналы в линии вниз в полосах L5 и L1 могут быть представлены в следующей форме:

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

где:

α, β, γ : коэффициенты усиления для определения распределения мощности.

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 ± 12 (C/A)
Чиповая скорость кода PRN (Мчип/с)	1,023 (C/A)
Скорость передачи битов навигационных данных (бит/с)	250 (C/A)
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	500 (C/A)
Метод модуляции сигнала	BPSK-R(1) (C/A)
Поляризация	Правая круговая (RHCP)
Эллиптичность (дБ)	Максимально 1,8
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на выходе эталонной антенны (дБВт)	–157,37 (C/A)
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	24

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 2,4
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на выходе эталонной антенны (дБВт)	–156,3 (L5I)
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	24

4.3 Структура сигнала GINS

ТАБЛИЦА 10-5

Параметры сигнала GINS L5

Параметр	Значение параметра
Частотный диапазон сигнала (МГц)	1 176,45 ± 12
Чиповая скорость кода PRN (Мчип/с)	1,023 и 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
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	24

ТАБЛИЦА 10-6

Параметры сигнала GINS L1

Параметр	Значение параметра
Частотный диапазон сигнала (МГц)	1 575,42 ± 12
Чиповая скорость кода PRN (Мчип/с)	1,023 и 2,046
Скорость передачи битов навигационных данных (бит/с)	25
Скорость передачи символов навигационных данных (символ/с)	50
Метод модуляции сигнала	BOC(1,1) BOC(5,2)
Поляризация	Правая круговая (RHCP)
Эллиптичность (дБ)	Максимально 1,8
Минимальный уровень мощности принимаемого сигнала на выходе эталонной антенны (дБВт)	-156,37
Ширина полосы по уровню 3 дБ РЧ фильтра передатчика (МГц)	24