

М.А. Маркелов

Новые сигналы GNSS и перспективы их использования в бортовом оборудовании ГА

Современное состояние систем и сигналов GPS и ГЛОНАСС

Как известно, система GPS была полностью развернута и принята в эксплуатацию в июле 1995 года. В составе космической группировки в то время насчитывалось 24 спутника, которые излучали сигналы на частотах L1 (1575,42 МГц) и L2 (1227,6 МГц). В системе GPS принято кодовое разделение сигналов. Для гражданского использования правительством США был предоставлен сигнал стандартной точности (C/A), передаваемый на частоте L1 и модулированный псевдослучайной кодовой последовательностью с тактовой частотой 1,023 МГц и навигационным сообщением, передаваемым со скоростью 50 бит/с. Вид модуляции - двухпозиционная фазовая манипуляция (BPSK). Полоса частот, занимаемая сигналом, согласно стандарту ИКАО составляет 20 МГц (± 10 МГц относительно несущей), хотя основной лепесток спектра имеет ширину около 2 МГц. Минимальный уровень сигнала на входе приемника GPS, подключенного к антенне линейной поляризации, имеющей коэффициент усиления 3дБи, составляет минус 160 дБВт.

Вначале сигнал стандартной точности GPS подвергался искусственному загроулению (т.н. режим селективного доступа), увеличивавшему среднеквадратическую погрешность определения местоположения до 50 м, однако 1 мая 2005 года директивой президента США режим селективного доступа был отменен, что привело к снижению среднеквадратической погрешности определения местоположения (в горизонтальной плоскости) по сигналу стандартной точности до 6,5 м. В настоящее время космическая группировка GPS насчитывает 32 спутника, что обеспечивает высокие показатели непрерывности и готовности системы, полностью удовлетворяющие требованиям ИКАО.

Система GPS имеет функциональные дополнения космического базирования WAAS и EGNOS, При этом, рабочая зона WAAS охватывает территорию США, Канады и Мексики и акваторию Атлантического и Тихого океанов, а рабочая зона EGNOS – территорию Европы (за исключением России и стран СНГ) и восточную часть Атлантического океана.

В США использование дифференциальных поправок, передаваемых системой WAAS, позволило реализовать заход на посадку по минимуму категории I ИКАО. Кроме того, во многих странах ведутся работы по внедрению систем функционального дополнения наземного базирования (GBAS), которое, как ожидают, в перспективе

может обеспечить заход на посадку не только по категории I, но также и по II и III категориям ИКАО.

Система ГЛОНАСС, также как и GPS, является системой двойного назначения. Сигналы, излучаемые спутниками ГЛОНАСС, имеют частотное разделение. Сигнал стандартной точности модулирован псевдослучайной кодовой последовательностью с тактовой частотой 511 кГц, меандром с частотой 100 Гц и навигационным сообщением, передаваемым со скоростью 50 бит/с. Также как и в сигнале GPS используется двухпозиционная фазовая манипуляция (BPSK). Номинальные значения несущих частот представлены в таблице 1. Минимальный уровень сигнала на входе приемника ГЛОНАСС, подключенного к антенне линейной поляризации, имеющей коэффициент усиления 3дБи, составляет минус 161 дБВт.

Таблица 1. Несущие частоты ГЛОНАСС в диапазоне L1

Номер литеры	Номинальное значение частоты (МГц)
13*	1 609,3125
12**	1 608,7500
11**	1 608,1875
10**	1 607,6250
09**	1 607,0625
08**	1 606,5000
07**	1 605,9375
06***	1 605,3750
05***	1 604,8125
4	1 604,2500
3	1 603,6875
2	1 603,1250
1	1 602,5625
0	1 602,0000
-1	1 601,4375
-2	1 600,8750
-3	1 600,3125
-4	1 599,7500
-5	1 599,1875
-6	1 598,6250
-7	1 598,0625

* Данная частота может использоваться для технологических целей на территории Российской Федерации до 2006 года, а прекращение использования данной частоты планируется после 2005 года.

** Прекращение использования данных частот планируется после 2005 года.

*** После 2005 года эти частоты могут использоваться для технологических целей на территории Российской Федерации.

Для гражданского использования был предоставлен сигнал стандартной точности, излучаемый в диапазоне L1. Полоса частот, занимаемая этим сигналом, составляет около 17,4 МГц и согласно стандарту ИКАО ограничена частотами от примерно

1592,925 МГц до 1609,36 МГц. В отличие от GPS режим селективного доступа в системе ГЛОНАСС не использовался. Среднеквадратическая погрешность определения местоположения (в горизонтальной плоскости) составляет 14 м. Космическая группировка системы ГЛОНАСС была также полностью развернута в 1995 году (в тот момент в её составе насчитывалось 24 спутника), однако в дальнейшем для её поддержания не отпускалось достаточно средств и к 2002 г. численность группировки сократилась до 7 спутников. На момент подготовки данного материала группировка насчитывала 19 спутников, из которых 3 были запущены 25 сентября и находились в стадии испытаний и ввода в эксплуатацию, 14 использовались по целевому назначению, 1 был временно выведен на техническое обслуживание, а 1 находился на этапе вывода из системы. Согласно результатам мониторинга, публикуемым ЦУП ЦНИИМАШ, по показателям непрерывности и эксплуатационной готовности система ГЛОНАСС в её теперешнем состоянии не соответствует минимальным требованиям ИКАО даже для условий полета по маршруту ($1 - 1 \times 10^{-4}/ч$ и 0,99 соответственно).

Системы GPS и ГЛОНАСС постоянно совершенствуются, и этот процесс охватывает, в частности, характеристики сигналов, передаваемых системами.

Поправка №83 к Приложению 10 ИКАО, внесла следующие изменения в параметры сигналов:

- Минимальный уровень сигнала на входе приемника GPS, подключенного к антенне линейной поляризации, имеющей коэффициент усиления 3дБи, повышен до минус 158,5 дБВт (вместо действующего в настоящее время значения минус 160 дБВт);
- Внесены изменения в таблицу рабочих частот ГЛОНАСС, согласно которым исключены литерные частоты с 13 по 7, а также исключены примечания к таблице, устанавливающие ограничения на использование литерных частот 5 и 6.

Поправка №83 к тому I Приложения 10 ИКАО (Принята Советом ИКАО 10 марта 2008 г.)

Таблица В-16. Несущие частоты поддиапазона L1

Номер литеры	N _n ^A (см. п. 3.2.1.3.4)	Номинальное значение частоты в поддиапазоне L1 (МГц)
13*	13	1 609,3125
12**	12	1 608,7500
11**	11	1 608,1875
10**	10	1 607,6250
09**	9	1 607,0625
08**	8	1 606,5000
07**	7	1 605,9375
06***	6	1 605,3750
05***	5	1 604,8125
4	4	1 604,2500

...

* — Данная частота может использоваться для технологических целей на территории Российской Федерации до 2006 года, а прекращение использования данной частоты планируется после 2005 года.

** — Прекращение использования данных частот планируется после 2005 года.

*** — После 2005 года эти частоты могут использоваться для технологических целей на территории Российской Федерации.

Увеличение на 1,5 дБ уровня сигнала GPS мотивировалось уточнением методики расчета ослабления сигнала в атмосфере, а изменения рабочих частот ГЛОНАСС – реализацией ранее принятого частотного плана. Эти изменения поставили перед разработчиками системы ГЛОНАСС ряд новых вопросов, требующих безотлагательного решения:

- Необходимость соответствующего увеличения уровня сигнала ГЛОНАСС (т.к. потери в атмосфере должны быть одинаковы для обеих систем);
- Получение одобрения Международного союза электросвязи (МСЭ) на неограниченное использование 5 и 6 литерных частот;
- Обоснование возможности и путей обеспечения обратной совместимости ранее изготовленных приемников ГЛОНАСС с сигналами, передаваемыми на 5 и 6 литерных частотах;
- Изменение верхней границы рабочей полосы на кривой, описывающей требования по устойчивости к гармонической помехе.

Ни один из этих вопросов пока не решен.

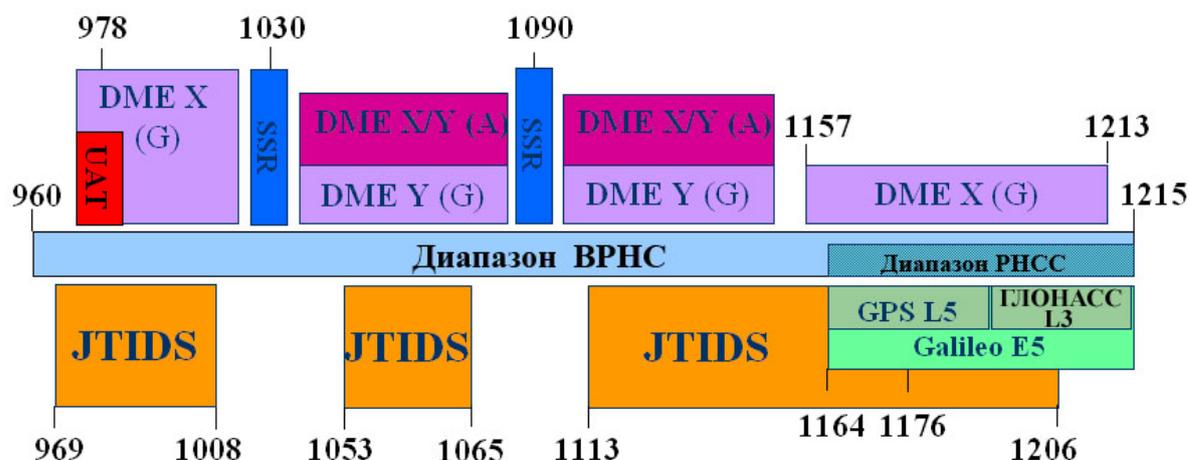
Внедрение новых сигналов GNSS в диапазоне 960 – 1215 МГц.

На Всемирной конференции радиосвязи 2000 г. было принято решение о распределении части полосы частот 960 – 1215 МГц радионавигационной спутниковой службе (РНСС). Ранее согласно Регламенту радиосвязи МСЭ полоса

частот 960 - 1215 МГц во всех районах мира была распределена на первичной основе воздушной радионавигационной службе (ВРНС). Вопрос о дополнительном распределении был включен в повестку дня указанной конференции по инициативе Администрации связи США. Планы США по предоставлению двух дополнительных частот GPS для гражданских потребителей, в том числе одной (1176,45 МГц) – в диапазоне частот, занимаемом системой DME, являющейся стандартным радионавигационным средством ИКАО – были впервые обнародованы в начале 1999 г., одновременно было опубликовано официальное заявление Федеральной авиационной администрации (FAA) США от 29 января 1999 г. о намерении использовать систему GPS с функциональными дополнениями в качестве единственного средства навигации для гражданской авиации.

Использование второй частоты, находящейся в защищенной полосе частот, используемой воздушной радионавигационной службой позволяет обеспечить:

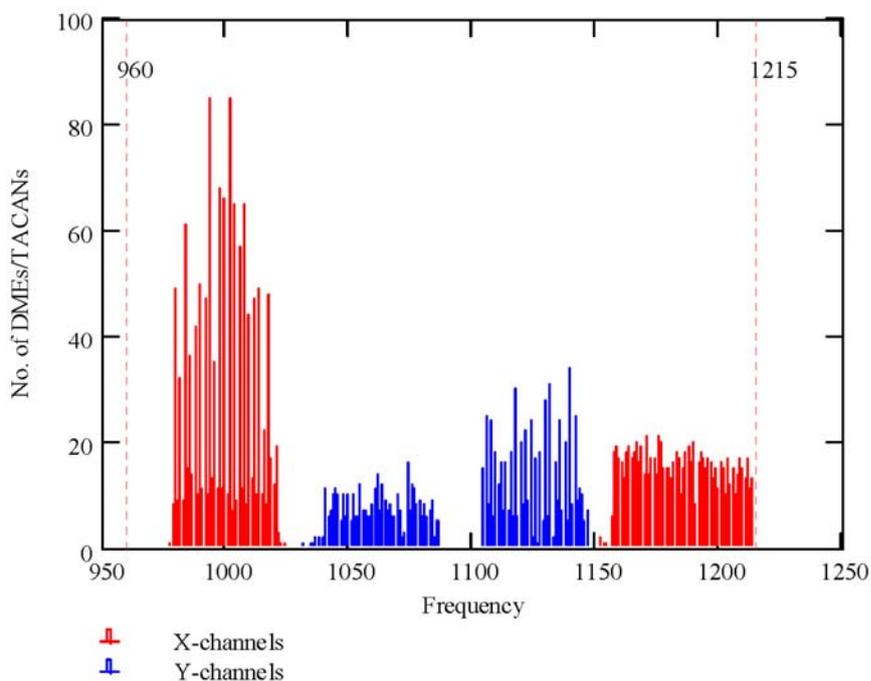
- прямые измерения ионосферных погрешностей;
- более высокую помехоустойчивость;
- меньшую зависимость от функциональных дополнений.



Между тем, результаты исследований выполненных ИКАО, показали, что оборудование DME, работающее в этой полосе частот может создавать помехи приемникам GNSS. Другими потенциальными источниками помех являются тактическая навигационная система (TACAN) и единая тактическая система передачи информации (JTIDS) используемые вооруженными силами США и стран НАТО, система вторичной радиолокации, а также ряд других систем. Ввиду того, что в будущем ожидается рост числа систем спутниковой навигации и функциональных дополнений космического базирования, возможно мешающее воздействие их сигналов

на приемники бортового оборудования DME. Распределение рабочих каналов радиомаяков DME и TACAN в Европе показано на рисунке.

Количество частотных присвоений на канал радиомаякам DME/TACAN в Европе



Модернизация системы GPS

В результате модернизации системы GPS авиационные пользователи получат дополнительный сигнал стандартной точности на частоте L5 (1176,45 МГц), спектр которого будет занимать полосу 24 МГц (± 12 МГц относительно несущей). Сигнал будет иметь две составляющих, сдвинутых по фазе на 90 град., при этом минимальная мощность каждой составляющей на выходе приемной антенны по последним данным будет минус 157 дБВт [5]. Таким образом, суммарная мощность нового сигнала будет более чем вдвое превышать уровень сигнала стандартной точности, передаваемого на частоте L1.

На частоте L1 GPS помимо сигнала, модулированного C/A кодом передаваться дополнительные гражданские сигналы, использующие новые виды модуляции. Сохранение старого C/A сигнала обеспечивает полную обратную совместимость. На частоте L2 также будет передаваться сигнал, предназначенный для гражданских потребителей, однако его не предполагается использовать в ГА.

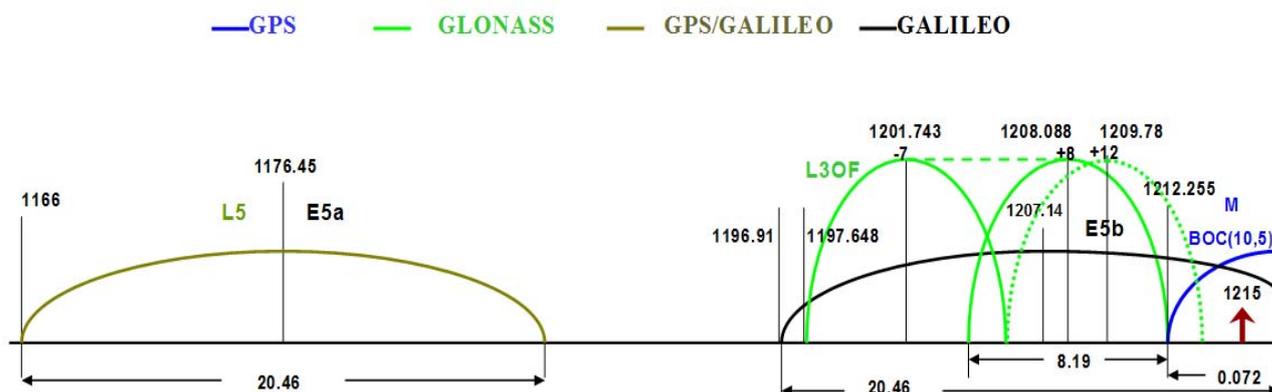
Модернизация системы ГЛОНАСС

Значения литерных частот системы ГЛОНАСС в поддиапазоне L3, предложенные Россией для включения в стандарт ИКАО представлены в таблице 2.

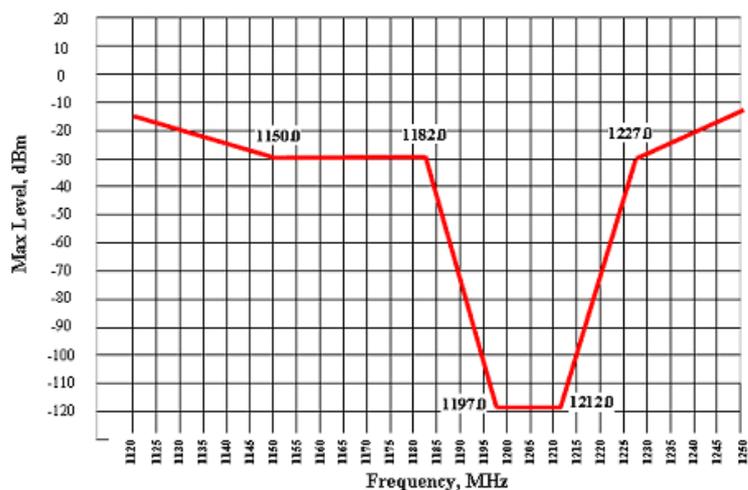
Таблица 2. Несущие частоты ГЛОНАСС в диапазоне L3

Номер литеры	Номинальное значение частоты (МГц)
06	1207,2420
05	1206,8190
04	1206,3960
03	1205,9730
02	1205,5500
01	1205,1270
00	1204,7040
-01	1204,2810
-02	1203,8580
-03	1203,4350
-04	1203,0120
-05	1202,5890
-06	1202,1660
-07	1201,7430

Как видно из таблицы, какие-либо примечания в отношении литерных частот 5 и 6 отсутствуют. Минимальный уровень сигнала на выходе приемной антенны должен составлять -160 дБВт. Новый сигнал ГЛОНАСС будет иметь более широкую полосу по сравнению с существующим (тактовая частота модулирующей псевдослучайной последовательности увеличена в четыре раза и будет равняться 4,095 МГц). Кроме этого, будет использоваться вспомогательный модулирующий сигнал в виде меандра с частотой 250 Гц, а частота навигационных данных составит 125 Гц. Вид модуляции – двухпозиционная фазовая манипуляция (BPSK). Взаимное расположение сигналов ГЛОНАСС, GPS и Galileo в диапазонах L3/L5E5 показано на рисунке.



На следующем рисунке представлен проект требований к помехоустойчивости приемника ГЛОНАСС, рассчитанного на работу по сигналу L3.

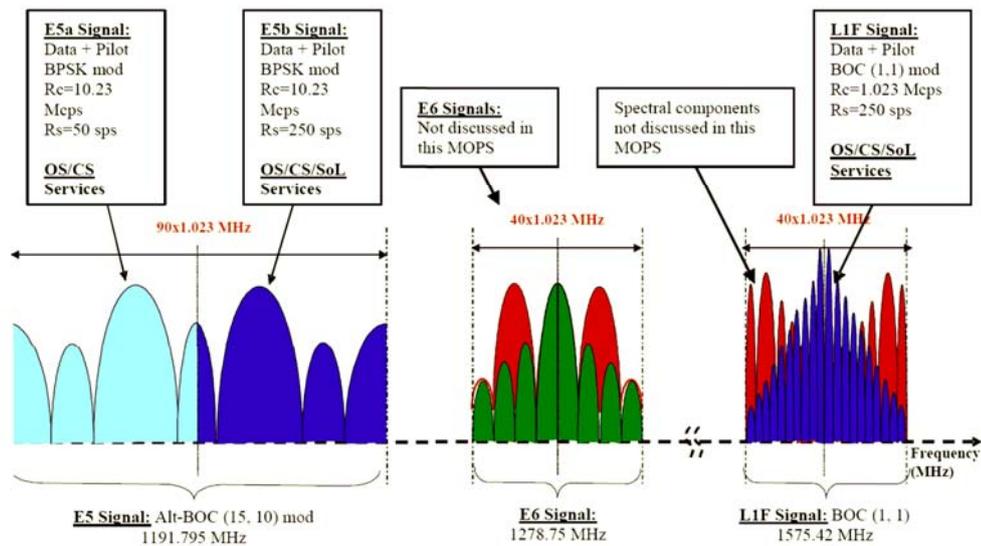


Как видно из рисунка, новый сигнал занимает полосу частот от 1197 до 1212 МГц, при этом верхняя и нижняя границы этой полосы отстоят от несущих частот 6 и -7 литегов на примерно 10,24 МГц, что вдвое превышает значение, имеющее место в диапазоне L1 (5,11 МГц).

Развертывание системы Galileo

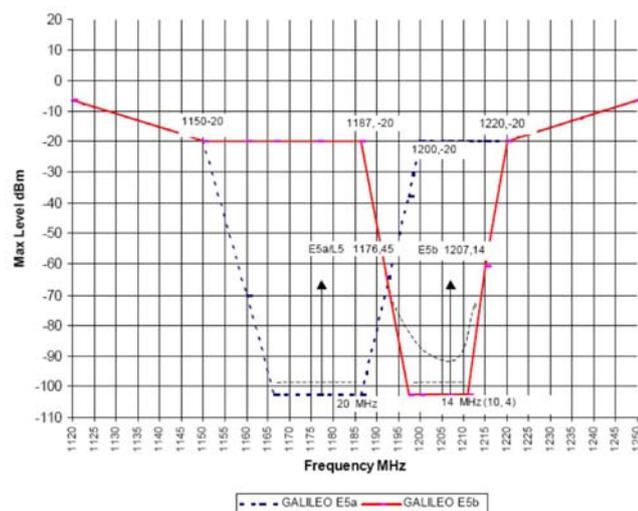
Европейская система Galileo, находящаяся в стадии развертывания, будет излучать целый набор сигналов для различных категорий пользователей. Определен широкий диапазон возможных видов применения с различными эксплуатационными требованиями, которые сгруппированы вокруг пяти опорных служб: открытая служба – OS, применения, связанные с повышенными требованиями к безопасности – SoL (в том числе гражданская авиация), коммерческая служба – CS, публичная зарегистрированная служба – PRS, и поддержка поиска и спасания – SAR.

В системе Galileo, подобно GPS, применяется кодовое разделение сигналов. Общее представление о спектре частот, занимаемом сигналами системы Galileo, дает следующий рисунок.

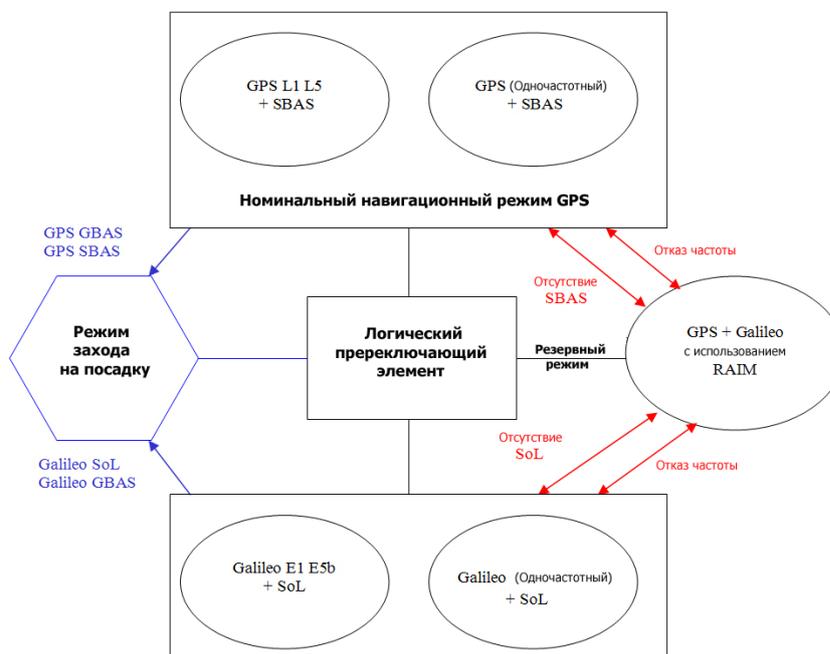


27 апреля 2008 г., был выведен на орбиту второй экспериментальный спутник системы Galileo GIOVE-B, 7 мая он начал передачу унифицированного сигнала GPS-Galileo согласно достигнутым ранее договоренностям о стандартизации спутникового сигнала между ЕС и США. В проекте стандарта EUROCAE на приемник Galileo отмечается, что одной из целей стандартизации является ограничение количества вариантов построения приемника некоторым разумным минимумом. В целях упрощения приемника для нужд гражданской авиации предполагается использовать только сигналы L1F и E5. Несущие частоты сигналов L1F и E5a совпадают с частотами L1 (1575,42 МГц) и L5 (1176,45 МГц) GPS, а несущая частота сигнала E5b составляет около 1207 МГц. Сигналы E5a и E5b будут модулированы псевдослучайными кодовыми последовательностями с тактовой частотой 10,23 МГц, а тактовая частота модулирующей последовательности сигнала L1F будет равна 1,023 МГц.

Применительно к диапазону E5 в проекте предложены требования по устойчивости приемника Galileo к воздействию гармонической (CW) помехи, показанные на следующем рисунке.



Следует отметить, что в проекте стандарта оговаривается возможность работы приемника по сигналам, передаваемым системами GPS и SBAS, однако работа по сигналам ГЛОНАСС не предусматривается. Уместно напомнить, что 11-я Аэронавигационная конференция ИКАО, состоявшаяся в 2003 году, приняла Рекомендацию 6/12, согласно которой ИКАО должна была разработать инструктивный материал по применению новых элементов GNSS и их сочетаний. Согласно этой Рекомендации при разработке стандартов на новые элементы и сигналы GNSS должны рассматриваться вопросы, связанные с использованием нескольких сигналов и их сочетаний, а также разрабатываться инструктивные материалы по наиболее перспективным сочетаниям элементов GNSS. Однако, за прошедшие пять лет эта задача так и не была решена, хотя в Группе экспертов ИКАО по навигационным системам (NSP) время от времени обсуждаются различные предложения по этому вопросу. В документах, представляемых США и европейскими государствами, использование сигналов ГЛОНАСС не предусматривается. Вариант построения комбинированного приемника GPS/Galileo, предложенный на одном из последних совещаний Группы экспертов ИКАО по навигационным системам (NSP), предложенный рядом европейских организаций, показан на следующем рисунке.



Такое отношение объясняется, прежде всего, состоянием системы ГЛОНАСС, а также тем, что использование сигнала с частотным разделением в дополнение к сигналу с кодовым разделением усложняет и удорожает приемник. Кроме того, существенным фактором, сдерживающим использование сигналов ГЛОНАСС за рубежом, является отсутствие требований приемнику ГЛОНАСС в международно-признанных промышленных стандартах.

В заключение хотелось бы отметить, что в появившемся недавно проекте «Концепции внедрения систем глобальной спутниковой навигации в транспортном комплексе Российской Федерации» (редакция 2007 года) в качестве одного из основных направлений развития навигации в гражданской авиации предусматривается переход, начиная с 2009 – 2010 г.г., на многочастотную (L1+L2) навигацию по системам ГЛОНАСС и GPS. Передача гражданского сигнала в диапазоне L2 (1215 – 1300 МГц) в дополнение к военному сигналу уже предусмотрена в новых спутниках ГЛОНАСС и GPS. В том случае, если такой подход получит одобрение, потребуется пересмотр действующих распределений указанной полосы частот (введение дополнительного распределения для воздушной радионавигационной службы) и разработка дополнений к действующим нормативным документам, определяющим требования к бортовому оборудованию.

Вопросы, требующие решения

По сигналу L1 ГЛОНАСС

1. Обеспечение международно-правовой защиты верхних литерных частот (выше 4-го литеры);
2. Обеспечение обратной совместимости;
3. Внесение изменений в стандарты ИКАО (в части уровня полезного сигнала и верхней границы рабочей полосы на кривой, описывающей требования по устойчивости к гармонической помехе).

По сигналу L2 ГЛОНАСС

1. Проведение анализа преимуществ, обеспечиваемых за счет использования дополнительного сигнала в бортовом оборудовании ГА;
2. Распределение полосы частот L2 для воздушной радионавигационной службы;
3. Разработка дополнений к техническим требованиям на бортовое оборудование.

По сигналу L3 ГЛОНАСС

1. Разработка дополнений к техническим требованиям на бортовое оборудование;
2. Разработка дополнений к стандартам ИКАО.