

Анализ направлений и состояния разработок функциональных дополнений к спутниковым радионавигационным системам

Сергей МИХАЙЛОВ
Mikhaylov@geyser.ru
Виктор КУЛЬНЕВ
Kulnev@geyser.ru

Окончание. Начало см. в №3 '2006

Региональные дифференциальные подсистемы

Региональные ДПС СРНС предназначены для навигационного обеспечения отдельных регионов континента, моря, океана. Диаметр рабочей зоны может примерно составлять от 400–500 до 2000 км. Региональные ДПС (РДПС) могут иметь в своем составе одну или несколько ККС, а также соответствующие средства передачи КИ и сигналов целостности.

РДПС Starfix

Примером РДПС являются ДПС Starfix фирмы Fugro. Эти подсистемы имеют дальность свыше 2000 км. Сеть таких ДПС образована 60 наземными ККС и четырьмя КА «Инмарсат» (INMARSAT) и охватывает многие районы всех континентов за исключением части Африки и Азии (Россия), а также акватории прилегающих морей и океанов. Заявленная точность местоопределения (с вероятностью 0,95) 1–2 м на дальностях до 1000 км и 3 м на удаленностях, превышающих 2000 км.

Канал «Инмарсат» работает на частоте около 1600 МГц, обеспечивает скорость передачи 600, 1200, 2400 бод, надежность линий 0,9997, вероятность искажения бита 10–5. Формат данных

соответствует стандарту RTCM-104 версии 2.0. Для системы Starfix (рис. 9) используются сообщения типа 1, 3, 16 (дифференциальные поправки, параметры ККС и специальное сообщение стандарта RTCM-104). Время подготовки сообщения типа 1 — менее 4 с.

В системе Starfix данные от сети ККС собираются в центры управления, расположенные в Хьюстоне, Еике и Пертче, где осуществляется анализ их достоверности и совместная обработка. После обработки корректирующая информация передается пользователям через 4 спутника системы «Инмарсат». Рабочая зона спутников «Инмарсат» располагается между 70-ми параллелями северной и южной широты. Каждый спутник несет данные для 20 контрольно-корректирующих станций. Корректирующие данные передаются со спутников в стандарте «Инмарсат-А». Обеспечиваемая точность навигации по данным сети Starfix (среднеквадратическое отклонение) составляет 1–3 м в зависимости от расположения пользователя.

РДПС SkyFix

Региональная дифференциальная система SkyFix фирмы Racal Survey Limited также охватывает все основные районы мира, в которых ведутся наиболее активные процессы добычи, использования, наблюдения и исследования природных ресурсов. Передача дифференциальных поправок также осуществляется с использованием ГКА «Инмарсат». Принимая сигналы GPS, SkyFix обеспечивает точность порядка 3 м и лучше в широкой области; кроме того, при использовании нескольких ККС точность лучше 1 м. Для обеспечения на этом уровне надежного местоопределения важно также иметь средства наблюдения за функционированием элементов системы, контроля характеристик и целостности. SkyFix реализует эти функции, и данные о любом отклазе GPS быстро становятся известными потребителю. Фирма Racal Survey арендует каналы 4-х ГКА «Инмарсат». Предполагается, что сеть ККС будет насчитывать около 60 станций, разбросанных по всему миру. Система SkyFix должна использовать не только сигналы GPS, но и ГЛОНАСС.

Система включает два центра управления (в шотландском Абердине и Сингапуре), сеть референц-станций (60 станций) по всему миру и несколько мониторов. Для доведения кор-

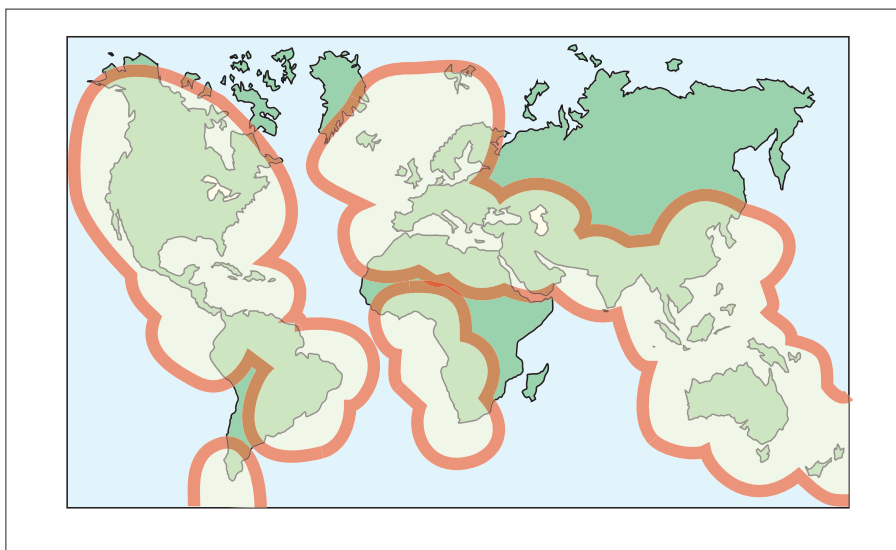


Рис. 9. Зоны действия дифференциальной подсистемы Starfix

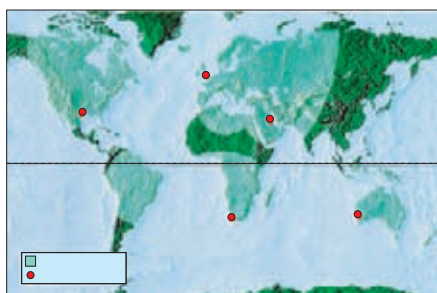


Рис. 10. Зона покрытия системы RACAL

• обеспечение резервирования при отказе работы систем «Лоран-С» / «Чайка» или ГЛО-НАСС/GPS.

Сверхточные определения места по СРНС могут использоваться для калибровки показаний РСДН и компенсации погрешностей, обусловленных особенностями распространения радиоволн. В свою очередь, данные «Лоран-С» / «Чайка» могут использоваться для контроля целостности СРНС.

Станции «Лоран-С» / «Чайка» работают в длинноволновом диапазоне радиоволн на частоте

ции квазисистематических погрешностей и ошибок селективного доступа GPS.

Точность определения координат такой РДПС может составить 5 м.

Широкозонные функциональные дополнения

В настоящее время существует три системы широкозонного дифференциального сервиса: WAAS, EGNOS и MSAS. Зоны покрытия этих систем приведены на рис. 12.

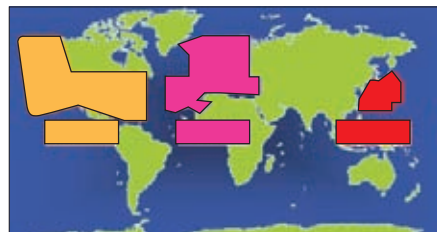


Рис. 12. Зоны покрытия систем WAAS, EGNOS, MSAS

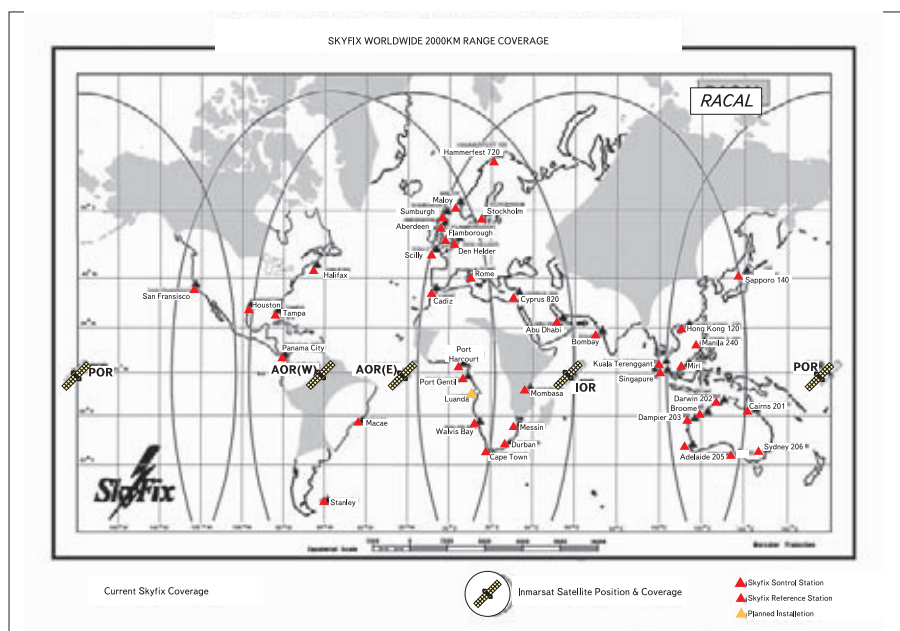


Рис. 11. Зоны действия дифференциальной подсистемы RACAL SkyFix

ректирующей информации до потребителей система SkyFix использует специализированные каналы на 4 геостационарных спутниках системы «Инмарсат» — AORE (Atlantic Ocean Region East), AORW (Atlantic Ocean Region West), IOR (Indian Ocean Region), POR (Pacific Ocean Region), что позволяет обеспечить доступ к очень большой части поверхности Земли и околоземного космического пространства. Зона охвата SkyFix закрывает все главные области деятельности высокоточных геодезических работ по всему миру, включая морские акватории. Зоны покрытия и места размещения контрольно-корректирующих станций приведены на рис. 10–11.

РДПС Eurofix

Важным проектом, над которым работают европейские и российские специалисты, является проект Eurofix («Еврофикс»). Он предполагает создание региональных спутниковых ДПС на основе использования передающих станций радиотехнических систем дальней радионавигации (РСДН) «Лоран-С» / «Чайка» в качестве средств передачи корректирующей информации подсистем ГЛОНАСС/GPS.

Отмечается ряд преимуществ системы Eurofix перед другими вариантами создания РДПС:

- реализация на основе уже существующей структуры;
- охват большой площади при сравнительно невысоких затратах;
- обеспечение улучшенной работоспособности и доступности канала передачи данных в городских и горных районах;

100 кГц. Радиус действия системы с одной станцией порядка 1000 км.

Предварительные оценки показали, что линии передачи данных (ЛПД) на основе станций РСДН могут обеспечить эффективную скорость передачи данных от 15 до 30 бит/с. Поэтому возможно дополнение РДПС Eurofix функцией использования ГЛОНАСС. При этом целесообразно применять асинхронный формат данных DGPS/ДГЛОНАСС. В соответствии с этим форматом сообщение о поправках для одного КА имеет длину 45 бит.

Последние проработки основаны на том, что дифференциальные поправки и сигналы контроля целостности формируются на ККС в виде сообщения RTCM типа 9. Они затем кодируются и модулируют сигнал передатчика РСДН. Используется импульсно-фазовая модуляция. Модулируются только 6 последних импульсов группы (из 8 импульсов). Расчеты показывают, что влияние этой модуляции на работу стандартных приемников РСДН невелико, поскольку эффективное ослабление сигнала составляет не более 0,79 дБ.

Учитывается возможность влияния в этом канале ряда помех: атмосферных шумов, непрерывных помех типа «немодулированной несущей», перекрестных помех и т. д. Поэтому для повышения помехоустойчивости применяются контроль четности и корректирующие коды Рида–Соломона. В результате скорость передачи данных колеблется в диапазоне от 70 до 175 бит/с. В приемнике РСДН сообщение должно демодулироваться, декодироваться и передаваться в приемник СРНС для последующего использования при компенса-

Рассмотрим данные системы более подробно.

Широкозонная дифференциальная подсистема WAAS

WAAS — широкозонная система геостационарного дополнения GPS — по замыслу заказчика, Федеральной авиационной администрации (ФАА) США, предназначена для обеспечения уровня целостности, доступности и точности, который соответствует требованиям, предъявляемым к основным системам для всех фаз полета, вплоть до захода на посадку по 1-й категории в первую очередь на Северо-Американском континенте и, частично, в Северной Атлантике.

По своим характеристикам WAAS может использоваться и наземными объектами, и для высокоточной морской и сухопутной навигации, при проведении работ на шельфе и т. д. Разработчиком системы первоначально (контракт от 3 августа 1995 года) была фирма Wilcox. Затем вследствие отставания работ от графика заказа был передан фирме Hughes (в 1996 году). WAAS должна состоять из космического и наземного сегментов (рис. 13–14).

Космический сегмент включает геостационарные КА (ГКА) GEOS (типа «Инмарсат» или подобные), предназначенные:

- для передачи навигационного GPS-подобного сигнала в диапазоне L1 на частоте 1575,42 МГц, который увеличит доступность, точность и надежность навигационных определений, а также сигналов контроля своей целостности;
- для ретрансляции сформированных на Земле сообщений о целостности КА GPS и ГКА и вектора поправок к эфемеридным данным, шкалам времени и параметрам ионосферной модели.

Наземный сегмент включает

- широкозонные контрольные станции (ШКС, или WRS — WAAS Reference Station) мониторинга, предназначенные для контроля и наблюдения за состоянием навигационного поля;
- широкозонные главные станции (ШГС, или WMS — WAAS Master Station), предназначенные для обработки данных мониторинга и наблюдений ШКС;
- наземные станции передачи данных (НСПД, или GES — Ground Earth Station) космическому

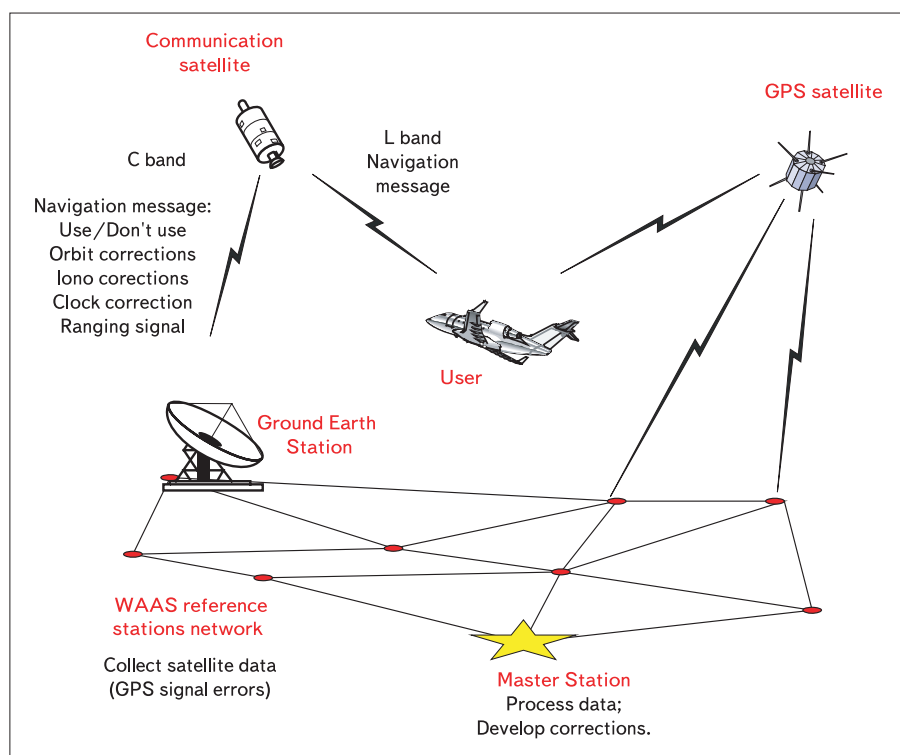


Рис. 13. Структура системы WAAS

сегменту, которые должны осуществлять связь между ШГС и ГКА.

ШКС, ШГС и НСПД объединяются в сеть посредством соответствующих линий передачи и обработки данных.

Система WAAS выполняет следующие функции:

1. Сбор данных о состоянии навигационного поля.
2. Определение ионосферных коррекций.
3. Определение и уточнение параметров орбит спутников.
4. Определение коррекций орбит и временных поправок для КА.
5. Контроль целостности КА.
6. Обеспечение независимой верификации (контроля или подтверждения) выходных данных для функций 1-5 перед их использованием потребителями.
7. Обеспечение потребителей корректирующей информацией и дополнительными измерениями псевдодалностей, позволяющими повысить надежность и точность навигационных определений.
8. Обеспечение работоспособности и собственного нормального функционирования.

При сборе данных на ШКС (функция 1) входной информацией являются: наблюдения за сигналами НКА GPS и ГКА, наблюдения за состоянием тропосферы, данные о местонахождении приемного оборудования и о калибровке этого оборудования. В результате получаются: измерения ПД по сигналам с С/А-кодом GPS, разностные измерения по сигналам L1/L2 GPS, навигационные данные НКА GPS, измерения ПД по сигналам с С/А-кодом ГКА, навигационные данные ГКА, тропосферные данные, координаты фазовых центров антенн, смещения разностных измерений по сигналам L1/L2, данные для форматирования выходной информации.

При определении ионосферных коррекций на ШГС (функция 2) используются разностные

измерения по сигналам L1/L2 GPS, смещения разностных измерений по сигналам L1/L2, координаты фазовых центров антенн, навигационные данные НКА GPS, определение сетки ионосферных данных. В результате на выходе получаются данные, которые передаются на НСПД и далее на ГЛ для закладки их в GPS-подобный сигнал для формирования соответствующих дифференциальных поправок.

При определении и уточнении параметров орбит НКА и ГКА на ШГС (функция 3) используются: измерения ПД по сигналам с С/А-кодом GPS, разностные измерения по сигналам L1/L2 GPS, навигационные данные НКА GPS, измерения ПД по сигналам с С/А-кодом ГКА, навигационные данные ГКА, тропосферные данные, координаты фазовых центров антенн, смещения разностных измерений по сигналам L1/L2, ионосферные дан-

ные для ГКА и данные о планируемых маневрах ГКА и НКА GPS. В результате получаются данные: орбит НКА GPS и ГКА, для эфемеридного сообщения ГКА, альманаха ГКА.

Эти же входные данные используются для определения коррекции параметров орбит и временных поправок к «часам» КА (функция 4). В результате получаются: долгосрочные и краткосрочные коррекции, оценка ошибок этих коррекций с вероятностью 99,9%, верифицированный фактор ухудшения этой оценки и прогнозируемая СКО определения ПД.

Для контроля целостности сигналов КА и ионосферных коррекций (функция 5) должны использоваться навигационные и ионосферные данные для всех КА, а также соответствующие коррекции и сопутствующие параметры, получаемые при их определении. В результате получаются данные, которые позволяют сигнализировать о том, что тот или иной сигнал или корректирующее сообщение не должны использоваться. Контроль (верификация) всей информации, передаваемой затем потребителю (функция 6), выполняется путем сравнения контролируемых данных с данными независимых наблюдений или посредством их комбинации с данными независимых измерений и сравнения получаемых и ожидаемых результатов.

Для последующего обеспечения потребителей корректирующей информацией на основе верифицированных сведений формируются блоки данных, которые затем будут использоваться в GPS-подобном сигнале ГКА (функция 7).

Обеспечение работоспособности и собственного нормального функционирования системы (функция 8) должно осуществляться автономно без вмешательства человека посредством выполнения следующих подфункций: выполнение операций подсистем и управление сбором данных, наблюдение за состоянием системы и управление системой, обслуживание по состоянию, профилактическое обслуживание.

Особое внимание уделено обеспечению технической и информационной безопасности в соответствии с документом FAA Order 1600.54B. Среднее время передачи сообщения об отказе не должно превышать 5 с (максимальное 8 с). Основные требуемые характеристики WAAS приведены в таблице 16.

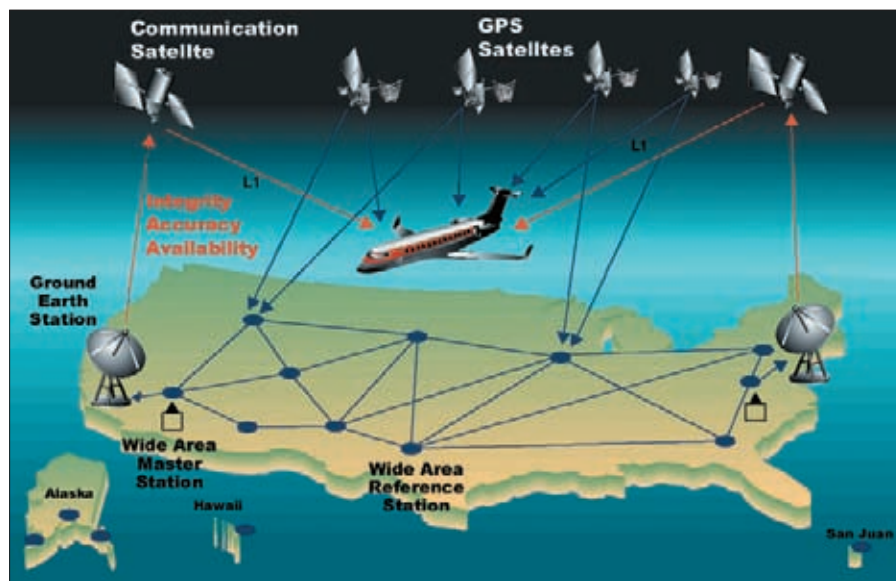


Рис. 14. ШДПС WAAS

Т а б л и ц а 16. Требуемые характеристики WAAS при обеспечении маршрутного полета и точного захода на посадку

Требуемая характеристика	Общая система	Навигационная система	Сигнал GPS/ WAAS	Воздушное судно
Доступность	0,99999	0,99999	0,99999	не определена
Точность: места в плане, м, p=95% p=99,999% по вертикали, p=95% псевдодальность, м, p=95%	не определена не определена — —	100 500 не определена	не определена не определена — не определена	не определена не определена — 1,2
Целостность: вероятность искаженной информации задержка сигнала оповещения об отказе, с предел тревоги, м	не определена 10 556	не определена 10 не определен	10 ⁻⁷ /ч 8 *	не определена 2 не определена
Непрерывность: функции навигации обнаружения отказа**	1-10 ⁻⁵ /ч 1-2×10 ⁻⁵ /ч	1-10 ⁻⁵ /ч 1-2×10 ⁻⁵ /ч	1-10 ⁻⁸ /ч 1-10 ⁻⁵ /ч	1-10 ⁻⁵ /ч 1-10 ⁻⁵ /ч

Примечание:

p – доверительная вероятность при определении точности;

* определяется специальными соотношениями на основе прогнозируемых точностных характеристик;

** исключая перерывы в приеме длительностью менее 5 мин.

Т а б л и ц а 17. Координаты границ рабочей области

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
В, град	50	50	70	70	68	20	17	17	30	16	16	50
Л, град	61	122	140	165	169	164	160	155	120	75	61	61

Примечание: В – северная широта в градусах, Л – западная долгота в градусах.

Рабочая зона WAAS представляет собой пространство над поверхностью Земли высотой до 30 км над уровнем моря. При этом на земной поверхности рабочая область ограничивается координатами, сведенными в табл. 17.

Требования по точности и целостности должны выполняться во всей зоне ГКА, охватывающей контролируемое воздушное пространство США, когда WAAS в состоянии наблюдать НКА GPS и ГКА.

Требования к точному заходу на посадку приведены в таблице 18.

Точный заход должен обеспечиваться на высотах до 3000 м в воздушном пространстве 48 континентальных штатов, Гавайских островов, Пуэрто-Рико и Аляски, исключая территорию полуострова Аляска западнее 160°, и вне пределов рабочей области ГКА.

Фазовые центры антенн для приема сигналов GPS и ГКА должны быть привязаны к местным опор-

ным геодезическим знакам с точностью (95%) 1 и 2 см в плане и по вертикали соответственно.

Все сигналы с кодом C/A должны иметь мощность между -161 и -153 дБВт при углах места от 5 до 90° и температуре 100 К, а все сигналы L1/L2 с кодами P и P (Y) GPS должны восприниматься без знания P (Y) -кода. Мощность L1 сигнала с кодом P (Y) должна находиться в пределах от -163 до -155 дБВт, L2 сигнала — между -166 и -154 дБВт. При этом сигналы KA при углах места менее 5° не используются.

Требованиями предусмотрены возможности подавления помех. В частности, антенны приемников должны иметь по крайней мере три «нуля» в диаграмме направленности, которые могут направляться на помехи и подавлять их по крайней мере на 30 дБ. При этом скорость перемещения «нуля» при слежении за движением помехи должна быть в диапазоне до 0,3 рад/с. Должны быть предусмотрены также меры временного,

в том числе адаптивного, подавления до 30 дБ при времени адаптации 20 мс.

Отметим также ряд важных требований к надежности наземного оборудования. Так, каждая подсистема WAAS должна характеризоваться средним временем наработки на отказ 2190 ч. Среднее время восстановления должно быть не более 30 мин, включая исключение отказа, ремонт и проверку. Отказ программного обеспечения системы должен предусматривать время реинициализации каждого компонента не более 10 мин. Минимальный интервал между сеансами профилактического обслуживания должен быть не менее 2190 ч (ежеквартально), которое ограничивается уборкой, проверкой, регулировкой и заменой блоков в соответствии со сроками их службы и состоянием. Общее время перерывов или ухудшения характеристик не должно превышать при этом 8 ч в год на одну подсистему.

Шкала системного времени сети WAAS должна быть привязана к системному времени GPS с точностью не хуже 50 нс. При этом ее показания не должны отличаться от показаний шкалы UTC более, чем на 20 нс. Временная стабильность сигнала ГКА должна быть не хуже 2*E-13 за 24 ч. При расчетах приняты следующие характеристики возможных временных отключений КА (табл. 19).

Т а б л и ц а 18. Требования к точному заходу на посадку ВС

Требуемая характеристика	Общая система	Навигационная система	Сигнал GPS/ WAAS	Воздушное судно
Доступность	не определена	не определена	0,999****	не определена
Точность: места в плане, м, p=95% по вертикали, p=95% псевдодальность, м, p=95%	33,5 9,8 —	7,6 7,6 не определена	не определена не определена не определена	не определена не определена 1,2
Целостность: вероятность искаженной информации задержка сигнала оповещения об отказе, с предел тревоги, м	не определена не определена *	не определена не определена *	4×10 ⁻⁷ /заход 5,2 **	не определена не определена не определена
Непрерывность: непрерывность функции навигации непрерывность обнаружения отказа	1-10 ⁻⁴ /заход 1-10 ⁻⁵ /ч не определена	1-10 ⁻⁴ /заход 1-10 ⁻⁵ /ч не определена	1-5,5×10 ⁻⁵ /заход*** не определена не определена	1-10 ⁻⁵ /ч 1-10 ⁻⁵ /ч не определена

Примечание:

* * определяется в соответствии с документом [7];

** определяется специальными соотношениями на основе прогнозируемых точностных характеристик;

*** длительность точного захода полагается равной 150 с;

**** доступность с вероятностью 0,999 определяется в том случае, если соответствующая суммарная погрешность не превосходит 19,2 м.

Т а б л и ц а 19. Временные характеристики отключений КА

Режим	Интенсивность, год ⁻¹	Средняя длительность
НКА режим 1	1,65	12,2 ч
НКА режим 2	0,16	1,25 месяца
ГКА режим 1	0,083	19,8 ч
ГКА режим 2	0,014	3 года

Навигационное сообщение формируется на ГКА со скоростью 500 символов в секунду и добавляется по модулю 2 к 1023-битовому PRN-коду, который затем модулирует несущую. Кратковременная стабильность несущей должна быть не хуже 5×10^{-11} за время от 1 до 10 с, включая эффект ионосферы и доплеровский сдвиг.

Передаваемый сигнал имеет круговую поляризацию. Мощность принимаемого сигнала ГКА на линейно поляризованную антенну с усилением 3 дБ, находящуюся на или вблизи поверхности Земли, больше или равна 161 дБВт при углах места более 5°. Максимум мощности сигнала равен 155 дБВт.

Основная скорость передачи данных 250 бит/с. При этом используются сверточные коды с исправлением ошибок. Все сообщения имеют блочную структуру. Объем одного блока составляет 250 бит. В нем имеется поле данных объемом 212 бит, идентификатор сообщения из 6 бит, преамбула из 8 бит. Замыкают блок 24 бита кодовой корректирующей группы для контроля четности.

Предусмотрено два типа корректирующих данных: быстрые и медленные. Быстрые коррекции проводятся с целью компенсации быстро меняющихся ошибок, таких как быстрые уходы «часов» НКА, тогда как медленные коррекции предусматриваются для компенсации стабильных уходов «часов» КА и эфемеридных погрешностей.

Предусмотрено 64 типа сообщений (табл. 20). Дальнейшее развитие WAAS связано с увеличением числа станций и спутников до 70 ШКС, 6 ШГС и 8 ГКА. Предполагается дальнейшее расширение WAAS на другие районы и континенты. При этом возможны следующие 5 уровней:

- 1) использование на другой независимой территории (ДНТ) сигналов контроля целостности WAAS без каких-либо дополнительных затрат;
- 2) на другой независимой территории может размещаться одна ШКС, наблюдения которой передаются на ШГС США или Канады;
- 3) на ДНТ размещается несколько ШКС, наблюдения которых передаются на ШГС США (Канады);

Т а б л и ц а 20. Типы сообщений

Тип	Содержание	Тип	Содержание
0	Не использовать этот ГКА	17	Альманах ГКА
1	Обозначения PRN-кодов	18	Данные ионосферной сетки
2-5	Быстрые коррекции	19-23	Резервируется для будущих сообщений
6	Информация контроля целостности	24	Смешанные быстрые/медленные члены для коррекции КА
7	Фактор ухудшения оценки точности коррекций	25	Длительные коррекции КА
8	Оцененная СКО сообщения	26	Коррекции ионосферных задержек
9	Навигационное сообщение ГКА (координаты X, Y, Z, время и т. д.)	27	Резервируется (служебное сообщение WAAS)
10-11	Резервируется для будущих сообщений	28-61	Резервируется для будущих сообщений
12	Параметры расхождения шкал времени WAAS и UTC	62	Резервируется (внутреннее тестовое сообщение)
13-16	Резервируется для будущих сообщений	63	Ноль-сообщение

- 4) на ДНТ размещается несколько ШКС и одна ШГС, которая передает данные обработки на НСПД США (Канады);
- 5) на ДНТ размещается несколько ШКС, одна ШГС и одна НСПД, передающая соответствующую информацию на ГКА WAAS.

Считается, что максимально в состав такой расширенной WAAS может входить до 490 ШКС, 42 ШГС, 36 НСПД и 18 ГКА.

На ШКС осуществляются двухчастотные измерения псевдодалностей до КА. Результаты наблюдений передаются на главную станцию, где они обрабатываются с целью определения поправок к параметрам КВО КА и параметрам ионосферной модели.

В настоящее время идут работы по уточнению процедур функционирования WAAS, а также стандартов и требований к ее рабочим характеристикам.

Одновременно проводятся работы по созданию бортовых приемников, работающих в системах GPS и WAAS. При этом RTCA разработан соответствующий стандарт по их минимальным рабочим характеристикам.

В настоящее время функции использования сигналов WAAS внедрены во многих профессиональных, и даже бытовых навигационных приемниках, например Garmin eTex Vista, Magellan Meridian и др.

К настоящему времени создана испытательная основа WAAS — National Satellite Test Bed (NSTB), включающая 29 ШКС с номинальными взаимными удалениями порядка 500–600 км. Проведены испытательные полеты.

В ходе полетов на самолете Learjet 35A с системой управления полетом (FMS) было продемонстрировано выполнение требований к точностным характеристикам захода по категории I (ошибки по боку и высоте не более 7,6 м).

Однако появлялись сообщения о том, что программа создания широкозонной дифференциальной подсистемы WAAS находится под угрозой срыва. Как известно, первоначальной оперативной способности WAAS должна была достичь в 1999 году. Угроза срыва была обусловлена превышением почти вдвое стоимости работ, проводимых фирмой Hughes (\$483,5 млн). Превышение стоимости было аргументировано неопределенностью исходных данных на начальном этапе работ и недооценкой трудностей при создании системы, в том числе при создании ее космического сегмента, базирующегося на использовании геостационарных спутников. Не было определено, в частности, будут ли эти спутники собственно-

стью ФАА США, заказчика WAAS, или они будут использоваться системой на правах аренды. В конце октября 1998 года финансирование программы WAAS было приостановлено и его продолжение зависело от решения ряда политических, экономических и технических вопросов (например, от того, действительно ли можно рассчитывать на WAAS, как на «единственное средство навигации»). При этом общая стоимость жизненного цикла системы оценивалась в \$2,5 млрд.

Широкозонная дифференциальная подсистема EGNOS

EGNOS создается по заказу и под наблюдением так называемой Европейской тройственной группы (European Tripartite Group — ETG), объединяющей представителей Европейского космического агентства, Евроконтроля и Европейского Сообщества.

Европейское космическое агентство, Европейская комиссия и Европейская организация по безопасности воздушной навигации (EUROCONTROL) совместно разрабатывают Европейскую систему функционального дополнения спутниковой навигации EGNOS. Для наземных, морских и воздушных гражданских потребителей систем GPS и ГЛОНАСС этот проект обеспечит улучшение характеристик точности, целостности и доступности. Упомянутые организации работают совместно в рамках Европейской трехсторонней группы. Всего в проекте участвует 11 государств: Австрия, Франция, Германия, Италия, Нидерланды, Норвегия, Португалия, Испания, Швейцария, Великобритания и Канада. Большое значение для реализации проекта EGNOS имеет участие в нем таких лидирующих европейских провайдеров услуг по управлению воздушным движением, как AENA (Испания), ANA (Португалия), DFS (Германия), DGAC (Франция), ENAV (Италия), NATS (Великобритания), Swisscontrol (Швейцария), а также Национального космического агентства Франции (CNES) и Управления картографии Норвегии (NMA).

ETG подписала контракт на использование двух первых навигационных транспондеров для передачи сигналов EGNOS потребителям. Эти транспондеры установлены на двух спутниках INMARSAT-III — IOR с координатами 64,5° в. д. (район Индийского океана) и AOR-E с координатами 15,5° з. д. (восточный район Атлантики). Работая вместе, они обеспечат покрытие не только всей Европы, но и Африки, Южной Америки, а также большей части Азии. Спутник IOR был запущен 3 апреля 1996 года и начал функционировать с 12 мая. Спутник AOR-E запущен в августе 1996 года. Кроме спутников INMARSAT-III в состав орбитального сегмента входит геостационарный спутник Европейского космического агентства ARTEMIS (точка 21,5° в. д.), на борту которого также установлен навигационный транспондер. В зону обслуживания EGNOS войдет большинство европейских государств, Турция, Северное море и восточная часть Атлантического океана. В дальнейшем она может быть расширена на такие регионы, как Африка, Южная Америка, СНГ, Ближний Восток.

Система EGNOS предназначена для выполнения следующих функций:

1. Увеличение числа навигационных спутников за счет использования геостационарных КА, пе-

редающих GPS-подобные сигналы. Тем самым увеличивается доступность спутниковой навигации с применением RAIM.

2. Передача информации о целостности. Это увеличит доступность навигационной службы GPS/ГЛОНАСС/EGNOS до уровня, соответствующего требованиям неточного (грубого, некатегоризованного) захода на посадку.
3. Передача корректирующих поправок, что позволит обеспечить точность до уровня, соответствующего требованиям точного захода на посадку по I категории.

Система EGNOS будет предоставлять пользователям следующие возможности:

Дальномерный сервис (R-GEO) — передача GPS-подобных навигационных сигналов с трех геостационарных спутников (INMARSAT-III AOR-E, INMARSAT-II IOR и ESA ARTEMIS) для улучшения общей доступности навигационного сервиса. Для определения своих координат потребителю необходимо принять сигналы от четырех спутников. Ни GPS, ни ГЛОНАСС не могут обеспечить постоянного стопроцентного выполнения этого требования в любой точке земного шара. EGNOS поможет восполнить недостаток видимых спутников, что позволит потребителям повысить надежность навигации за счет реализации режима автономного мониторинга целостности в приемнике (RAIM).

Сервис целостности (GIC) — передача оценок дальномерных погрешностей для каждого навигационного сигнала GPS, ГЛОНАСС или EGNOS. При отсутствии этого сервиса EGNOS информация об аномальных характеристиках или отказах GPS и ГЛОНАСС дойдет до потребителя с задержкой более 15 минут. Сервис целостности позволит потребителю принимать решение о достоверности навигационного сигнала со спутника до возникновения какой-либо критической ситуации.

Широкозонный дифференциальный сервис (WAD) — передача поправок для улучшения точности спутниковой навигации. Для гражданских потребителей сигналы GPS преднамеренно загроуляются для снижения точности в реальном времени примерно с 16 до 100 метров. Данный сервис позволит повысить точность до 5–10 метров.

Система EGNOS будет включать в себя:

1. Орбитальный сегмент: два транспондера INMARSAT-III и один транспондер ARTEMIS (координаты соответственно 64,5° в. д., 15,5° з. д. и 21,4° в. д.); Основу EGNOS составляют геостационарные спутники связи INMARSAT-III (в будущем ARTEMIS), на которых установлен прозрачный ретранслятор навигационных сигналов С/Л-диапазона (6,4/1,5 ГГц) с полосой $1575,42 \pm 2,2$ МГц. Он обеспечит передачу С/А кода, навигационного сообщения и сообщения о целостности созвездия спутников.. Ретранслятор обеспечивает передачу: дальномерного псевдощумового С/А-кода; навигационного сообщения; сообщения о целостности сигналов спутников GPS, ГЛОНАСС и INMARSAT-III; вектора корректирующих поправок (три составляющие эфемеридной ошибки, сдвиг шкалы времени КА относительно ионосферной модели) для спутников GPS, ГЛОНАСС и INMARSAT-III.
2. Наземный сегмент:

- Сеть станций измерения дальности и мониторинга целостности (RIMS), рассредоточенные в обслуживаемой зоне. Станции будут связаны с главными центрами управления (МСС).
- Главные центры управления, где будут формироваться сигналы EGNOS (дифференциальные поправки, информация о целостности, ионосферные задержки эфемериды геостационарных спутников).
- Наземные навигационные станции (NLES), предназначенные для закладки информации EGNOS и дальномерного GEO-сигнала на геостационарные спутники (которые затем ретранслируют эту информацию на Землю на частоте L1 GPS с модуляцией и кодированием по образцу GPS-сигнала).

Все компоненты наземного сегмента взаимосвязаны с широкозонной сетью связи EGNOS (EWAN). На этапе начального функционирования EGNOS наземный сегмент будет включать:

- примерно 40 RIMS, распределенных по всей зоне обслуживания;
- 4 МСС: Торрехон (Испания), Гэвтик (Великобритания), Ланген (Германия), Чиампино (Италия);
- 6 NLES: Оссагель (Франция), Гунхилли (Великобритания), Райштинг (Германия), Фучино (Италия), Торрехон (Испания) и Синтра (Португалия), а также дополнительное оборудование, размещенное в Тулузе (Франция) — PACF (пункт оценки эксплуатационных характеристик и проверки системы) и Торрехоне (Испания) — ASQF (пункт квалификации для конкретных задач применения), и DVP (платформа верификации разработок). Дополнительные средства предназначены для обеспечения системных разработок, эксплуатации и квалификации.
- 3. Сегмент потребителей: стандартные приемники EGNOS.

Основные элементы наземного сегмента EGNOS

1. Центр управления системой EGNOS (МСС) выполняет две основные функции: расчет, размножение, проверка и передача информации о дальности и целостности геостационарных спутников, а также широкозонных дифференциальных поправок. Данную функцию выполняет центральный процессор (CPF).
2. Управление и мониторинг системы EGNOS. Эту функцию выполняет центральный контроллер (CCF).
3. Центральный процессор CPF формирует широкозонные дифференциальные поправки на основе данных, накопленных RIMS, а также данных об ионосфере в зоне обслуживания. Поправки формируются к эфемеридам и ЧВП всех спутников (GPS, GEO, ГЛОНАСС). Поправки передаются в виде стандартных сообщений в международном согласованном формате (стандарт RTCA MOPS DO-229) на станции закладки NLES для последующей передачи потребителям через геостационарные спутники. Независимая вычислительная линейка использует данные RIMS для расчета целостности полученных результатов. Обе линейки полностью автоматизированы и не требуют постоянного участия операторов.

Основными функциями процессора являются:

- Проверка входных данных перед началом обработки.
- Формирование информации о дальности.
- Формирование информации о целостности.

- Формирование широкозонных поправок.
- Проверка информации, формируемой элементами наземного сегмента.
- Формирование навигационного сообщения.
- 4. Центральный контроллер CCF принимает от элементов системы всю информацию о состоянии и вырабатывает решение по управлению, направленное на поддержание заданного уровня сервиса EGNOS. В задачи CCF также входят взаимодействие с другими центрами управления и сбор всей измерительной информации для последующего архивирования.

Основными функциями контроллера являются:

- Системный и сетевой мониторинг.
- Устранение сбоев в работе системы и планирование технического обслуживания.
- Управление системой и сетью передачи данных.
- Управление внешними интерфейсами.
- Архивирование информации.
- Системное моделирование и прогнозирование эксплуатационных характеристик.

Станции измерения дальности и мониторинга RIMS

Станции измерения дальности и мониторинга RIMS действуют как накопители информации — пункты сбора информации. Они накапливают измерения дальности по спутникам GPS, ГЛОНАСС и EGNOS и направляют их в центр управления системой МСС. Для этого каждая RIMS оснащена приемником GNSS, способным принимать и обрабатывать сигналы GPS, ГЛОНАСС и EGNOS на частотах L1 и L2, а также высокоточными атомными часами. RIMS передают накопленную информацию во все центры управления EGNOS ежесекундно. Пункт RIMS состоит из двух каналов А (поставщик исходных данных для расчета широкозонных поправок) и В (поставщик исходных данных для формирования информации о целостности).

Наземные навигационные станции NLES частично выполняют функции RIMS, а также используются для закладки навигационной информации на борт и управления спутниками GEO. Передаваемые навигационные сообщения GEO должны быть точно синхронизированы с системным временем GPS. При закладке информации на борт GEO одна станция NLES является основной, а вторая — резервной.

Основные функции NLES:

- Формирование сообщений.
- Синхронизация сигналов.
- Закладка информации на геостационарные спутники.

В работе над системой принимают участие Франция, Германия, Испания, Великобритания, Италия, Норвегия, Австрия, Швейцария, Португалия. Разработка EGNOS ведется с учетом перспективы ее интеграции и унификации с аналогичными региональными и национальными системами WAAS и MSAS (Япония).

С учетом международного сотрудничества при создании GNSS-1, как совокупности национальных дополнений к GPS и ГЛОНАСС, проводятся работы по стандартизации сигналов, оборудования потребителей и интерфейсов систем. Рассматривается возможность оптимизации совместного использования национальных станций мониторинга и геостационарных спутников-ретрансляторов. Поэтому построение и принципы функционирования ИДПС EGNOS аналогичны построению и принципам работы WAAS, описанным выше. В таблице 21 приведены требуемые характеристики EGNOS.

Т а б л и ц а 21. Требуемые характеристики с использованием сигналов GPS и ГЛОНАСС

Этап FOC	Неточный заход, функция навигации*	Точный заход до высоты 105 м, функция навигации**	Точный заход по категории I, функция навигации***	Определение псевдодальности до ГКА
Точность P=95%, м	100	10 (высота) 10 (в плане)	6 (высота) 6 (в плане)	—
NSE при $P=(1-10^{-7})/4$, м	556	25 (высота) 25 (в плане)	15 (высота) 15 (в плане)	150
Риск потери целостности	$10^{-7}/4$	$10^{-7}/\text{заход}$	$10^{-7}/\text{заход}$	—
Задержка сигнала оповещения об отказе, с	6	6	6	5,2
Риск потери непрерывности	$10^{-5}/4$	$10^{-4}/\text{заход}$	$10^{-4}/\text{заход}$	—
Доступность	0,9999	0,999	0,999	—
Общее обслуживаемое пространство	ECAC	ECAC вблизи поверхности Земли	ECAC вблизи поверхности Земли	GBA IOR GBA AORE

Примечания:

- * Неточный заход может быть осуществлен как при использовании, так и без использования ГЛОНАСС.
- ** Точный заход до высоты 105 м предполагает использование только GPS.
- *** Точный заход по категории I предполагает использование сигналов GPS и ГЛОНАСС; NSE — ошибка навигационной системы.

Программа развертывания EGNOS разбита на два этапа:

1. Обеспечение начальной эксплуатационной способности (IOC).
2. Обеспечение полномасштабной эксплуатационной способности (FOC).

В свою очередь, этап IOC планировалось реализовать в виде подэтапов 1, 2 и 3, а этап FOC — как подэтапы 4 и 5:

Подэтап 1: обеспечение навигационной функции путем передачи дополнительных GPS-подобных сигналов через геостационарные спутники-ретрансляторы INMARSAT-III AOR-E (Атлантический океан — Европа) и IOR (Индийский океан).

Подэтап 2: обеспечение навигационной функции и передачи информации о целостности спутников GPS и ГЛОНАСС в составе навигационного сообщения.

Подэтап 3: обеспечение службы навигации, целостности и передачи широкозонных поправок в составе навигационного сообщения.

Подэтап 4: улучшение результатов подэтапа 2 (в основном улучшение доступности).

Подэтап 5: улучшение результатов подэтапа 3 (в основном улучшение доступности и расширение зоны обслуживания).

Соответственно, осуществляется наращивание технических средств и последовательный переход от EGNOS начального состава (EGNOS-2) к полномасштабной EGNOS-4/5. Укажем составы средств:

EGNOS-1: 2 ГКА, 2 ШГС, 4 ШКС, 2 НСПД;
EGNOS-2: 2 ГКА, 2 НСПД, 2 ШГС, 18 ШКС;
EGNOS-3: 2 ГКА, 2 НСПД, 2 ШГС, 33 ШКС.

На втором этапе, решение о реализации которого должно быть окончательно принято по результатам этапа 1, планируется развертывание EGNOS в составе 3-4 ГКА, 9 НСПД, 3 ШГС и до 50 ШКС. После завершения подэтапа 3 система может использоваться в зонах покрытия как основная навигационная система для всех фаз полета ВС, включая точный заход на посадку по категории I.

В EGNOS предусматриваются следующие зоны:

- зоны геостационарного покрытия спутниками INMARSAT-III AOR-E и IOR при угле маски 5° (зона GBA);
- зоны Европейской гражданской авиационной конференции (ECAC), охватывающей воздушные пространства государств-участниц ECAC (большая

На этапе обеспечения полной эксплуатационной способности (FOC) EGNOS может рассматриваться в качестве основного средства для терминальной фазы полета, неточного захода на посадку и точного захода на посадку по 1-й категории в зоне ECAC.

Необходимо особо отметить, что ГКА EGNOS IOR имеет зону покрытия, охватывающую европейскую и часть азиатской зоны России. Поэтому существуют, например, предложения по усилению взаимодействия при создании и использовании системы, которые должны приниматься во внимание при проведении соответствующих работ (рис. 15–16).

Зона приема тест-сигнала EGNOS в январе 2001 года расширена за счет начала передач через спутник INMARSAT IOR и теперь охватывает Европу, Ближний Восток, Россию, Центральную Азию и Индию. В прошлом году другой спутник, INMARSAT AOR, ретранслировал тест-сигнал на территорию Западной Европы. Расширение зоны приема позволяет пользователям принимать сигналы с двух различных направлений, обеспечивая сравнение трасс прохождения и избыточность.

Вещание через INMARSAT IOR стало возможно благодаря взаимодействию со Средиземноморским испытательным полигоном (MTV), построенным совместно с ENAV (итальянским поставщиком услуг по управлению воздушным движением) и компанией Telespazio. Полигон состоит из станций мониторинга, собирающих информацию о целостности орбитального сегмента GPS, и станции в Фучино (Италия), передающей сигнал, модулированный информацией о целостности, на спутник IOR. При введении в эксплуатацию дополнительную станций мониторинга зона приема тест-сигнала будет еще шире.

Испытательный полигон системы EGNOS (ESTV) обеспечивает уникальную возможность испытаний новых приложений в реальных условиях, включая подготовку к началу работы EGNOS. ESTV может использоваться любой компанией или организацией, заинтересованной в проведении испытаний и продвижении EGNOS, а также навигационных приложений в целом.

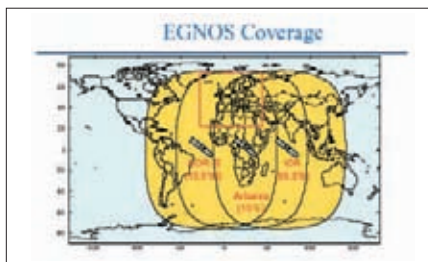


Рис. 15. Зоны покрытия системы EGNOS

часть европейских стран, Турция, Северное море и восточная часть Атлантического океана).

EGNOS/IOC рассматривается как основное средство навигации в зоне GBA для фазы океанического полета, как основное средство для континентальных маршрутов в зоне ECAC и как дополнительное средство для терминальной фазы полета, грубого захода на посадку и точного захода на посадку по 1-й категории для части зоны ECAC.

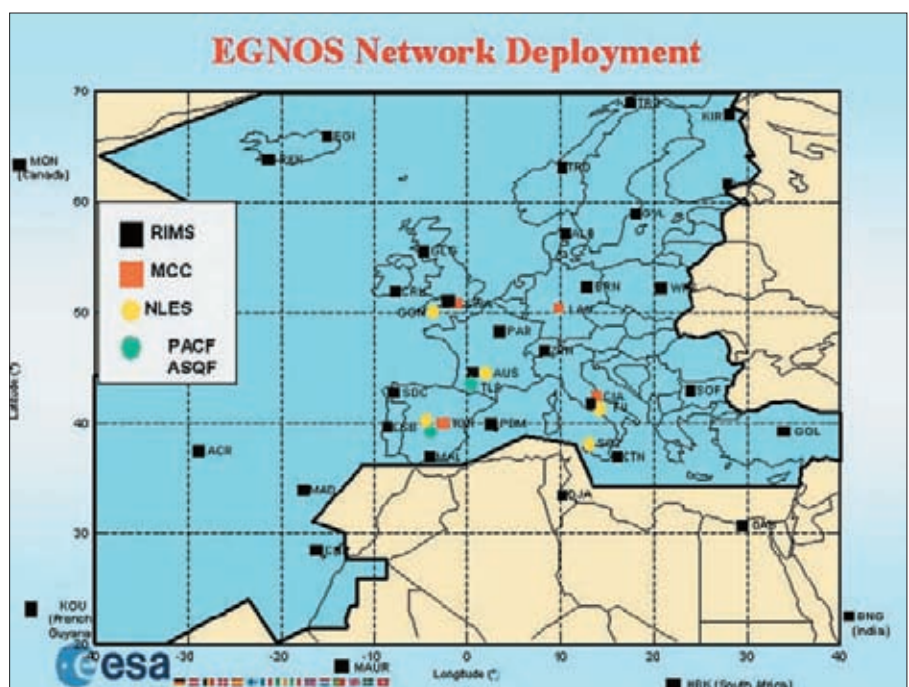


Рис. 16. Размещение элементов функциональной структуры системы EGNOS в Европе

Широкозонная дифференциальная подсистема MSAS

Прогнозируемый рост интенсивности воздушного движения в северном районе Тихого океана в 2,9 раза к 2010 году обуславливает принятие и Японией концепции CNS/ATM (связь, навигация, наблюдение в УВД) на основе перспективных спутниковых технологий. Выражением этого роста является программа создания японской широкозонной системы MSAS, аналогичной системам WAAS и EGNOS (рис. 17).

Многофункциональная система MSAS должна состоять из трех основных частей: космического сегмента, наземного сегмента и сегмента потребителей. MSAS должна использовать в качестве основы космического сегмента разрабатываемый в Японии многофункциональный транспортный КА (МТКА) MSAT. Первый МТКА (MSAT-1) плани-

Наземный сегмент включает: наземные станции мониторинга (первоначально в районах Токио, Фукуока, Саппоро и Наха), главные станции (аэрокосмические центры в Кобе и Хита-Чиота), наземные станции мониторинга и определения дальности в Австралии и на Гавайских островах для определения и уточнения орбит КА, сети передачи данных и НСПД.

Зона действия MSAS должна охватывать в первую очередь воздушные трассы северной части Тихого океана между Азией и Америкой, а также регион островов Японии. MSAT, помимо обычной зоны ГКА в диапазоне L, имеет также 6 лучей для связи в более высокочастотном диапазоне для наиболее тяжелых условий УВД. Особо отметим, что зона ГКА MSAT охватывает практически большую часть азиатской территории России, а также прилегающие акватории морей и Тихого океана.



Рис. 17. Структура системы MSAS

ровалось вывести на геостационарную орбиту японской ракетой Н-2 уже в 1999 году и разместить его над экватором в точке 140° восточной долготы. Однако, по сообщениям, первый MSAT был разрушен 15.11.1999 при запуске ракетой Н-2. Стоимость MSAT составляла \$97 млн. Это был второй неудачный пуск ракеты Н-2 (массой 263 т). Предшествующий неудачный пуск спутника-ретранслятора стоимостью \$375 млн произошел в феврале 1998 г. Эти неудачи являются серьезным препятствием в развертывании ШДПС.

Каждый МТКА представляет собой ГКА с управляемой по трем осям ориентацией со сроком существования в системе 10 лет. Он будет выполнять аэронавигационные и метеорологические функции, обеспечивать экипажи ВС и авиадиспетчеров информацией автоматического зависимо наблюдения (АЗН), обеспечивать передачу данных и голосовую связь. Как элемент системы широкозонного дополнения GPS, МТКА будет излучать GPS-подобный сигнал и передавать информацию контроля целостности и корректирующую информацию, состав которой аналогичен составу передаваемой информации в системах WAAS и EGNOS. Предполагается, что MSAS будет использовать в каждый данный момент времени 2 МТКА, 2 наземные станции и 2 станции слежения, телеметрии и управления.

Сегмент потребителя навигационного дополнения MSAS предполагает помимо работы с НКА GPS определение ПД по GPS-подобному сигналу ГКА, учет сигналов контроля целостности и дифференциальной коррекции.

Ответственным за создание системы является Бюро гражданской авиации Японии (JCAB) с аэронавигационными спутниковыми центрами, расположенными в Кобе и Ибараки в 500 км западнее и 100 км севернее Токио соответственно. Контракт на создание MSAS выдан группе компаний во главе с NEC в феврале 1997 года. Контракт на MSAT подписан с группой разработчиков во главе с Space Systems/Loral в марте 1995 года. Контрактом на наземные станции, станции слежения, телеметрии и управления с февраля 1996 года владеет группа, возглавляемая MELCO и Toshiba. Среди разработчиков фигурируют также такие известные фирмы, как Raytheon и Lockheed Martin. В ходе создания MSAS обеспечивается взаимодействие с ФАА и ETC.

Предполагаемая точность определения координат (СКО) ШДПС находится в пределах 2,5–5 м, что значительно лучше точности номинального режима ГЛОНАСС и тем более GPS. В целом, учитывая провозглашенную унификацию рассматриваемых ШДПС, точностные и надежностные характеристики MSAS должны удовлетворять требованиям ИКАО. Б