

# 1. СПУТНИКОВЫЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

## 1.1. Общая характеристика спутниковых радионавигационных систем

Спутниковые радионавигационные системы представляют собой всепогодные системы космического базирования и позволяют в глобальных масштабах определять текущие местоположения подвижных объектов и их скорость, а как же осуществлять точную координацию времени. В соответствии с концепцией ИКАО спутниковые навигационные системы в ближайшее время становятся единственным средством навигации в авиации.

Принцип действия систем заключается в том, что навигационные спутники излучают специальные электромагнитные сигналы. Аппаратура потребителей, расположенная на объектах, находящихся на поверхности Земли или околоземном пространстве принимает эти сигналы и после специальной обработки выработывает данные о местоположении и скорости объекта.

Спутниковую радионавигационную систему можно рассматривать как высокотехнологичную информационную систему, состоящую из пяти основных сегментов рис. 1.1.

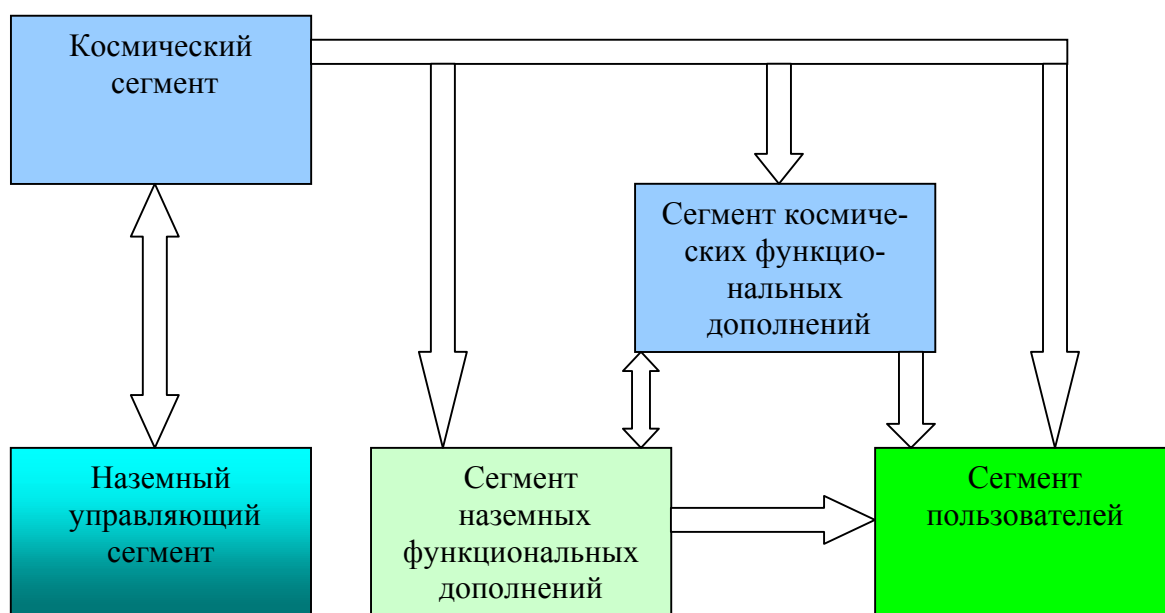


Рис. 1.1. Организация спутниковой радионавигационной системы

Наземный управляющий сегмент включает в себя центр управления космическим сегментом, станции слежения за навигационными спутниками (радиолокационные и оптические), аппаратуру контроля состояния навигационных спутников.

Управляющий сегмент решает задачи определения, прогнозирования и уточнения параметров движения навигационных спутников, формирования и передачи в бортовую аппа

ратуру спутников цифровой информации, а также ряд контрольных и профилактических функций.

Космический сегмент представляет собой систему навигационных спутников, вращающихся по эллиптическим орбитам вокруг Земли. На каждой орбите находятся несколько спутников. Навигационный спутник имеет на борту радиоэлектронную аппаратуру, излучающую в направлении Земли шумоподобные непрерывные радиосигналы, содержащие информацию необходимую для проведения навигационных определений с помощью аппаратуры потребителя.

Благодаря достаточному количеству навигационных спутников и специальным параметрам радиосигналов аппаратура потребителя может в любое время, при любых погодных условиях принимать излученные спутниками сигналы и определять местоположение, скорость и время.

Сегмент пользователей потенциально может состоять из неограниченного количества спутниковых навигационных приемников, которые принимают сигналы навигационных спутников и производят расчеты текущего местоположения, скорости и времени с погрешностями, определяемыми спутниковой навигационной системой и аппаратурой потребителя.

Сегменты наземных и космических функциональных дополнений представляет собой аппаратурно-программные комплексы предназначенные для обеспечения точности навигационных определений, целостности, непрерывности, доступности и эксплуатационной готовности системы. Назначение и функции этих дополнений рассматриваются в последующих разделах.

## **1.2. Спутниковая аэронавигация в системе CNS/ATM**

В начале 1980-х годов ICAO признало, что возможности существующих аэронавигационных систем ограничены. В 1983 году в ICAO был создан Специальный комитет по будущим аэронавигационным системам (FANS). Комитету было поручено, изучить, определить и оценить перспективные аэронавигационные технологии и выработать рекомендации по развитию аэронавигации на 25 лет.

Безопасность и эффективность полетов воздушных судов обеспечивается системами организации воздушного движения. Составными частями этих систем, выполняющими основные функции, являются связь, навигация, наблюдение.

Связь осуществляет обмен информацией между воздушными судами и наземными службами.

Системы навигации предназначены для обеспечения воздушных судов необходимой информацией о местоположении судна.

Системы наблюдения обеспечивают наземные службы, в частности диспетчеров УВД необходимой информацией о местоположении воздушных судов, находящихся в зоне их ответственности.

ICAO рассматривает связь, навигацию и наблюдение как основные функции для обеспечения систем организации воздушного движения.

В современной интерпретации, глобальная система с функциями связи, навигации, наблюдения, организации воздушного движения определяется как система GNS/ATM.

Комитет FANS, изучив существующие системы с функциями GNS/ATM, пришел к выводу, что радионавигационные системы рубежа XX-XXI века могут преодолеть ограничения существующих систем только с использованием принципиально новых концепций и систем CNS, а единственным оптимальным вариантом, на базе которого могут быть реализованы новые системы, являются спутниковые технологии.

Концепция FANS, получившая название “Системы CNS/ATM” есть сочетание спутниковых технологий и систем прямой видимости, в совокупности обеспечивающих оптимальные характеристики аэронавигационного обеспечения с технической и экономической точки зрения.

Принципиальными особенностями системы ATM являются следующие:

1. Вместо разделения на обособленные наземные и бортовые функции ATM, функции и процедуры для производства полетов будут цельной функциональной частью системы ATM. Отсюда следует, что бортовую и наземную аппаратуру нужно рассматривать как единое целое и взаимно увязывать их характеристики в соответствии с требуемыми навигационными характеристиками RNP.

2. К новым основным требованиям, предъявляемым к элементам системы ATM следует отнести:

- в связи – применение высокоскоростных линий передачи данных со специальным видом модуляции;
- в навигации- широкое применение глобальной системы спутниковой навигации GNSS для всех стадий полета, с целью осуществления главного экономического преимущества системы GNS/ATM, а именно, вывода из эксплуатации материалоемкой части существующей навигационной системы;
- в наблюдении- оптимизация РЛС и ADS (автоматизированного зависимого наблюдения) по критериям оптимальной пропускной способности;
- в планировании инфраструктуры: организация воздушного пространства (ASM) будет ориентирована на внедрение требуемых навигационных характеристик (RNP) методов зональной навигации (RNAV), в том числе и методами моделирования;

- в производстве полетов: главная ориентация на оценку эффективности полетов с учетом всех этапов, т.е. от «перрона до перрона»;
- в использовании воздушного пространства- гибкое, скоординированное, а не регламентированное использование воздушного пространства с учетом всех пользователей, включая военных;
- в планировании полетов- внедрение и применение интерактивных и автоматизированных средств;
- в обслуживании воздушного движения (ОВД)- унификация систем обработки данных с целью последующей интеграции в региональные и глобальные сети;
- в организации потока воздушного движения (ОПВД): внедрение методов многопараметрического моделирования с использованием комплексных баз данных и бортовых автоматизированных систем управления полетами.

В системе GNS/ATM спутниковая навигация имеет следующие составляющие:

1. Спутниковые навигационные приемники, устанавливаемые на борту воздушных судов.
2. Спутниковые системы функционального дополнения наземного и космического базирования.
3. Радиоканалы передачи данных между бортовыми навигационными приемниками и функциональными дополнениями.

Использование перечисленных аппаратурных средств позволяет реализовать следующие навигационные функции:

1. Навигация на маршруте.
2. Посадка воздушного судна по I категории метеоминимума (в перспективе до 2010 года по II и III категориям).
3. Наблюдение за летным полем.

### **1.3. Стратегия ИКАО**

Временные рамки внедрения спутниковых технологий в систему GNS/ATM иллюстрируются диаграммой (рис. 1.2).

Рассмотрение диаграммы позволяет заключить, что каких-либо препятствий для внедрения спутниковых технологий нет. Нормативные документы в виде Стандартов и рекомендуемой практики ИКАО в целом разработаны. Имеется достаточная готовность к использованию систем GPS и ГЛОНАСС. С 2000 года началось оснащение воздушных судов функциональными дополнениями ABAS, SBAS и аппаратурой для приема сигналов с наземных функциональных дополнений GBAS.

По определению ИКАО совокупность всех составляющих технологий спутниковой навигации называется глобальной навигационной спутниковой системой (GNSS).

Основу спутниковых технологий составляют два созвездия среднеорбитальных навигационных спутников: глобальной системы определения местоположения (GPS), принадлежащей США, и глобальной навигационной спутниковой системы (ГЛОНАСС), принадлежащей Российской Федерации. Космические сегменты обеих систем содержат по 24 (без учета резервных) навигационных спутника, непрерывно излучающих радионавигационные сигналы. Сигналы навигационных спутников, принятые специальным приемником (обычно именуемым приемо-индикатором), позволяют определять местоположение, скорость и время,

Год		96	97	98	99	00	2001	2	3	4	5	6	7	8	9	2010	
Разработка SARPS	R N P	Полеты по маршруту															
		Полеты в зоне аэродрома/ неточный заход на посадку															
		Точный заход на посадку															
Разработка SARPS	G N S S	Критерии характеристик GNSS для выполнения эксплуатационных требований															
		Разработка процедур неточного захода на посадку на основе GNSS															
		Использование GNSS с дополнительными системами															
		Спутниковая навигационная система долгосрочной перспективы															
		Линия передачи данных для целей навигации															
Готовность	GPS																
	ГЛОНАСС																
	ИНМАРСАТ																
	SBAS																
	GBAS																
Оснащение воздушных судов	GNSS+ABAS																
	GNSS+ABAS/SBAS/GBAS																

Рис. 1.2

а также получить информацию о работоспособности спутниковых систем. Для определения местоположения и скорости в трехмерном пространстве необходимо, чтобы в зоне радиовидимости приемо-индикатора находились 4 спутника, принадлежащих одному созвездию, или 5 спутников, принадлежащих разным созвездиям.

Созданные для удовлетворения нужд вооруженных сил США и СССР, среднеорбитальные спутниковые навигационные системы GPS и ГЛОНАСС имеют глобальный характер. Они обеспечивают возможность высокоточного и непрерывного определения местоположения и скорости мобильных объектов в любой точке земного шара и/или околоземного пространства и являются результатами развития как наземных, так и локальных низкоорбитальных спутниковых радионавигационных систем, а именно: Лоран, Омега, Чайка, Транзит, Цикада и др. После полномасштабного ввода в эксплуатацию в середине 90-х годов спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС, правительства США и России приняли решение о возможности их использования гражданскими потребителями. За прошедшие годы средства спутниковой навигации прочно вошли в практику землеустроительных работ, мореплавания, как в открытом море, так и в прибрежной зоне, и начинают все более широко использоваться в аэронавигации. Федеральное авиационное управление (ФАУ) США одобрило аппаратуру спутниковой навигации в качестве основного средства навигации при полетах над океанами и в качестве дополнительного средства навигации при полетах в национальном воздушном пространстве США. В Европе бортовая аппаратура спутниковой навигации одобрена для полетов в системе зональной навигации, введенной в Европе с 1998 г.

Стратегия ИКАО, заключается в эволюционном переходе к 2015 году к спутниковой навигации как к единственному средству навигации на основе Глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS). Элементами GNSS являются созвездия навигационных спутников GPS и ГЛОНАСС, космическое функциональное дополнение (SBAS), наземное функциональное дополнение (GBAS), бортовой спутниковый навигационный приемник, обеспечивающие уменьшение погрешности измерений местоположения.

Однако позиция США привела к модернизации понятия GNSS в рамках ИКАО и размыванию самого понятия GNSS. В настоящее время ИКАО в качестве элемента GNSS допускает не только объединенное созвездие навигационных спутников GPS и ГЛОНАСС, но и отдельные созвездия навигационных спутников GPS и ГЛОНАСС. Что касается позиции США, то в качестве навигационных спутников будущей GNSS рассматривается только созвездие навигационных спутников GPS, то есть только созвездие навигационных спутников, управляемое исключительно США.

Как упоминалось выше, ИКАО включила в состав GNSS два функциональных дополнения SBAS и GBAS. Эти функциональные дополнения должны обеспечить режим дифференциальной спутниковой навигации. Дело в том, что без таких дополнений погрешность определения местоположения составляет десятки метров. В результате являются невыполнимыми точные заходы на посадку, то есть заходы на посадку в условиях плохой видимости. Помимо высокой точности местоположения должен также обеспечиваться непрерывный

контроль целостности (нормального функционирования) навигационных спутников. Дифференциальный режим спутниковой навигации позволяет в десятки раз уменьшить погрешность местоопределения и обеспечить непрерывный контроль целостности, эксплуатационной готовности и доступности. В результате внедрения дифференциального режима спутниковая навигация может претендовать на роль единственного средства аэронавигации. Следует отметить, что имеющийся научно-технический задел фирм США и Европейского Союза обеспечивает темпы внедрения концепции ИКАО по спутниковой навигации, как единственного средства аэронавигации, превышающие запланированные ИКАО. Согласно планам Европейского Союза и Федерального авиационного управления США с 2008 г. после введения в эксплуатацию европейского созвездия навигационных спутников Galileo, космических и наземных дополнений начинается ускоренный переход к спутниковой навигации как к единственному средству аэронавигации. Согласно стратегии Европейского сообщества эволюционный переход на использование средств спутниковой навигации в аэронавигации начнется с 2001 года путем исключения из состава наземного (аэродромного) навигационного оборудования традиционных средств и расширяющегося применения средств спутниковой навигации и дифференциальной спутниковой навигации.

#### **1.4. Глобальная навигационная спутниковая система (GNSS)**

Глобальная навигационная спутниковая система (GNSS), как навигационный элемент систем управления воздушным движением CNS/ATM включает в себя сочетания комбинаций следующих составляющих, размещенных на земле, спутниках и на борту воздушного судна:

- GPS;
- ГЛОНАСС;
- бортовая система функционального дополнения (ABAS);
- спутниковая система функционального дополнения (SBAS);
- наземная система функционального дополнения (GBAS);
- бортовой приемник GNSS.

В таблице 1.1 приведены основные конфигурации навигационной системы GNSS.

Бортовое дополнение ABAS по сути является усовершенствованием системы автоматического контроля целостности спутникового созвездия в бортовом приемнике GNSS, обычно именуемой RAIM, путем использования информации других систем самолета. При достаточном количестве наблюдаемых пользователем навигационных спутников (не менее 6 спутников) процедуры RAIM позволяют определять те спутники, информацию с которых нельзя использовать при расчетах навигационных характеристик. При недостаточном коли

честве наблюдаемых спутников процедуры RAIM не обеспечивают контроля 100% работоспособности навигационных спутников, но его обеспечивает дополнение ABAS .

Спутниковая и наземная системы функционального дополнения к созвездию навигационных спутников обеспечивают дифференциальный режим навигационных определений воздушными судами. Сущность дифференциального режима состоит в том, что координаты местоположения, вычисляются на борту воздушного судна с использованием не только радионавигационных сигналов навигационных спутников GNSS, но и с использованием корректирующей информации, поступающей с SBAS и/или GBAS.

Принципиальное отличие SBAS и GBAS состоит в способах получения и доставки корректирующей информации, а также зоне действия систем. GBAS – локальная система, функционирующая в зоне действия до 50 км, SBAS- глобальная система с зоной действия до нескольких тысяч км.

Таблица 1.1

Конфигурация	GNSS						Применение
	GPS	ГЛОНАСС	ABAS	SBAS	GBAS	Бортовой приемник GNSS	
1	+	+	+			+	Навигация на маршруте
2	+	+	+	+		+	Навигация на маршруте, заход на посадку
3	+	+	+		+	+	Навигация на маршруте, точный заход на посадку по 1 категории (в перспективе по 2 и 3 категориям)

Структура SBAS изображена на рис. 1.3. Система содержит наземные контрольные

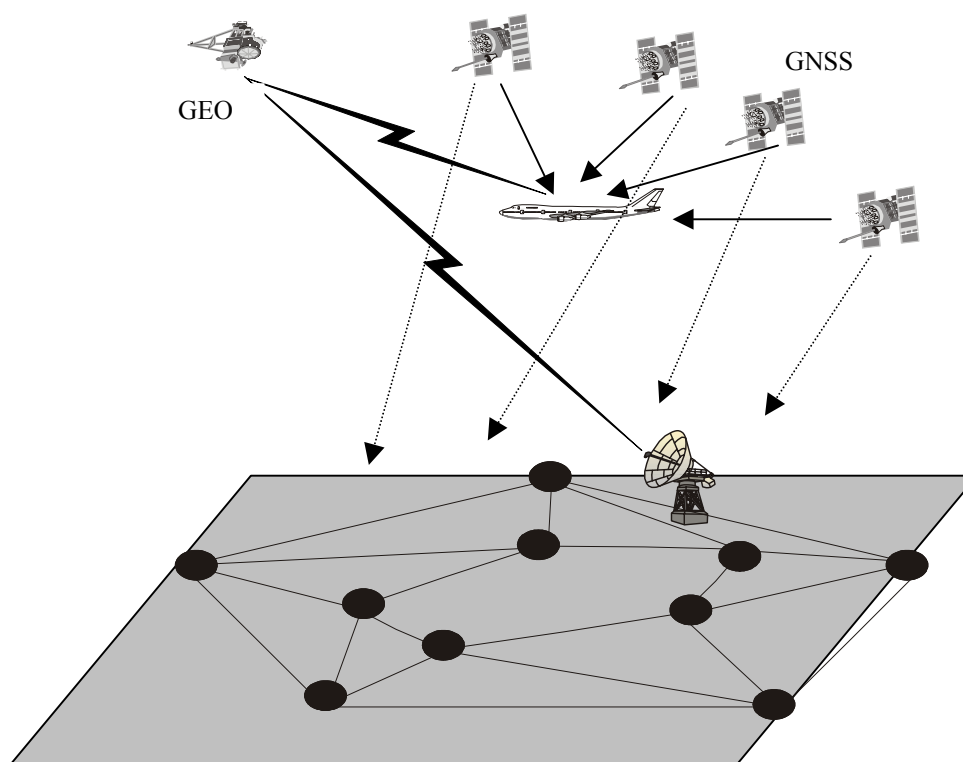




Рис. 1.3. Структура SBAS

станции, распределенные на достаточно обширной территории, одной из основных задач которых является выработка корректирующей информации из сигналов спутников GNSS и информации о целостности. Корректирующая информация со всех контрольных станций, информация о целостности навигационных спутников обрабатывается по определенным алгоритмам и в виде сообщения, содержащего широкозонные дифференциальные поправки к сигналам навигационных спутников, информацию о целостности и другую служебную информацию по каналам связи "земля-спутник связи – воздушные суда" передается в бортовые приемники GNSS посредством геостационарных спутников. Геостационарный спутник при этом выполняет роль и навигационного, увеличивая количество радиовидимых потребителю навигационных спутников.

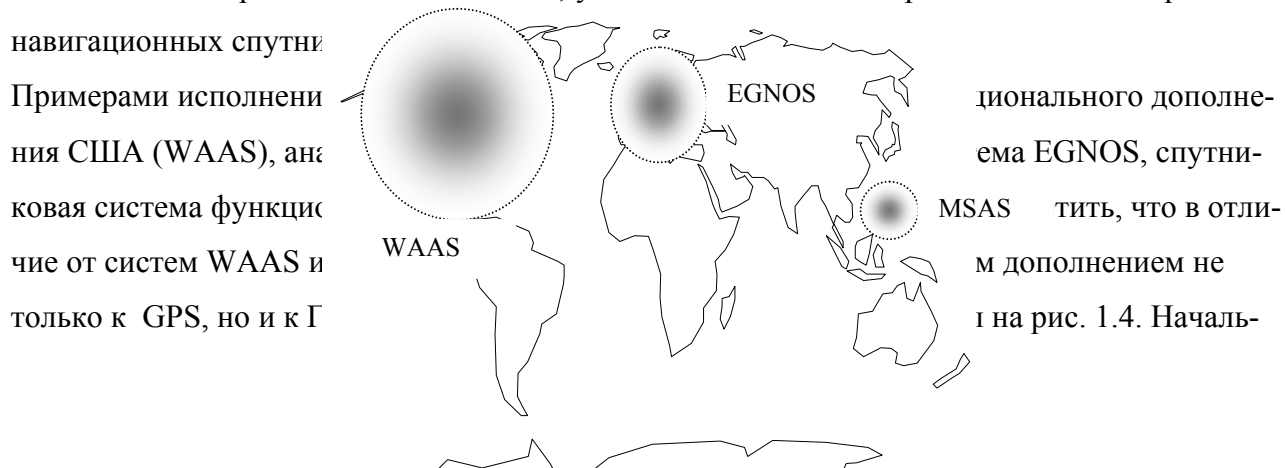


Рис. 1.4. Зоны действия и обслуживания систем SBAS

Начальная эксплуатация функционального дополнения WAAS должна начаться с 2001г., а функционального дополнения EGNOS - с 2003г. Зону действия EGNOS предполагается распространить на Ближний Восток, Центральную Азию, Африку и Латинскую Америку.

Дополнение GBAS (рис. 1.5) содержит контрольно-корректирующую станцию (ККС), антенна для приема радионавигационных сигналов которой установлена в точке с координатами измеренными с высокой (сантиметровой) точностью. Радионавигационные сигналы спутников GNSS принимаются ККС и после их обработки по радиоканалу ОВЧ диапазона в бортовой приемник GNSS передаются дифференциальные коррекции, информация о целостности системы и другие служебные сообщения.

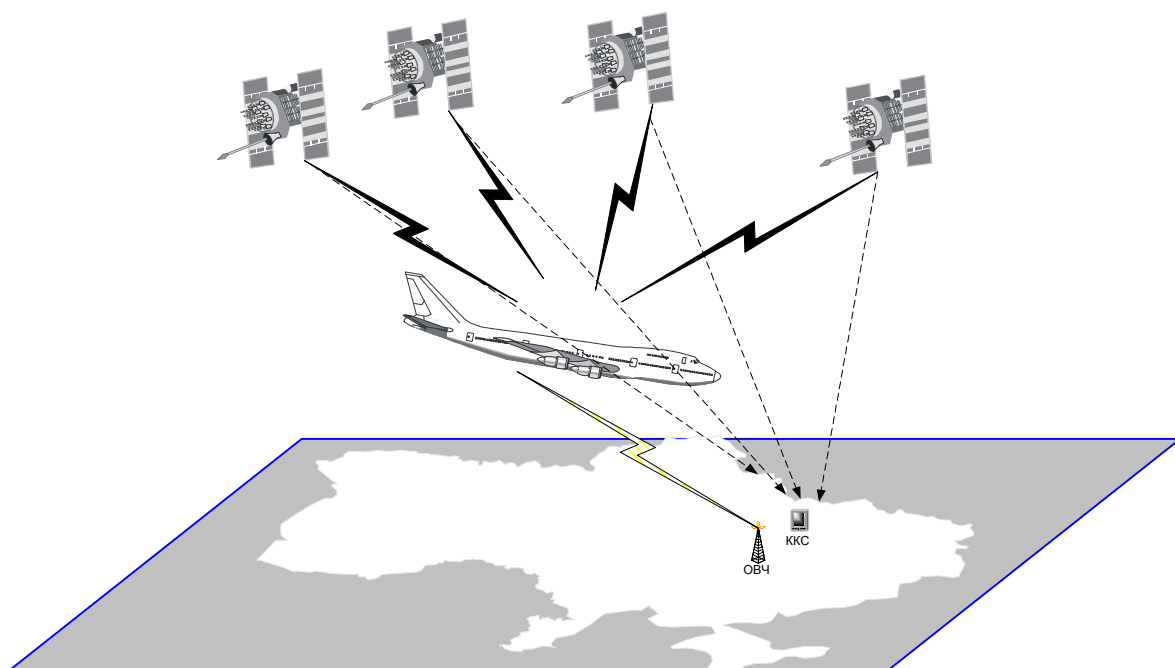


Рис. 1.5. Структура GBAS

Расположение GBAS в зоне аэродрома создает условия для расширения ее функций. Предоставляется возможность осуществлять контроль и управление всеми объектами, движущимися по аэродрому. Для этого аэродромные транспортные средства оборудуются спутниковыми навигационными приемниками и по радиоканалу передают координаты своего местоположения в рабочую станцию диспетчера. Имея полную картину расположения и движения по аэродрому транспортных средств и воздушных судов диспетчер осуществляет оперативное управление ими.

Модернизация аэронавигационной системы Украины затрагивает как бортовое оборудование воздушных судов, так и наземную аэродромную инфраструктуру.

Из рассмотрения рис. 1.3 следует, что Украина будет находиться в зоне действия SBAS "EGNOS". Если Украина будет пользователем системы EGNOS, то ее воздушные суда должны быть оборудованы бортовыми приемниками GNSS, принимающими сигналы EGNOS. Но

это не означает, что все аэронавигационные вопросы будут решены. Опыт экспериментальной эксплуатации системы WAAS показал, что ее использование не всегда обеспечивает погрешность определения координат необходимую для точного захода на посадку. Поэтому в дополнение к WAAS США разрабатывают и внедряют сеть локальных ККС (система LAAS), устанавливаемых на каждом аэродроме. Т.е. по существу создается функциональное дополнение GBAS. Представляется, что это наиболее рациональный путь модернизации и аэронавигационной системы Украины.

Таким образом, внедрение спутниковых аэронавигационных технологий в Украине должно быть ориентировано на создание наземных функциональных дополнений GBAS на аэродромах и оборудование воздушных судов аппаратурой, принимающей сигналы GPS и ГЛОНАСС (GALILEO), EGNOS, WAAS.

Переход к спутниковой навигации как к единственному средству навигационного обеспечения авиации открывает рынок спутниковой навигационной аппаратуры, емкость которого по оценкам Комиссий Европейского Союза составит не менее 50 миллиардов долларов к 2005 году в Европе и более 600 миллиардов долларов в мире. Это обусловило начало жесткой конкуренции между США и Европейским сообществом за ведущие позиции на этом рынке и находит отражение в конкуренции двух концепций Глобальной спутниковой навигационной системы: концепции США и концепции Европейского сообщества (проект GALILEO). Концепция США заключается в том, что GPS находится под безраздельным контролем США и в будущем представляет собой единственное созвездие навигационных спутников GNSS. Эта концепция обеспечивает США в будущем доминирующее положение на рынке средств спутниковой навигации. Исходя из экономических причин, а также соображений безопасности, Европейский Союз выдвинул и претворяет в жизнь свою концепцию, согласно которой основой GNSS должны быть GPS и Европейское созвездие навигационных спутников GALILEO. При этом не исключается возможность преобразования навигационных спутников ГЛОНАСС в навигационные спутники GALILEO, но под совместным управлением Российской Федерации и Европейского Союза.

Концепция ИКАО о переходе к системам CNS/ATM ориентирована на постепенный, но достаточно быстрый переход к новой системе, исходя из анализа затрат/выгод при модернизации существующих в государствах аэронавигационных систем.

Рассматривая экономические аспекты внедрения спутниковых технологий в аэронавигацию, следует подчеркнуть, что их можно отнести к категории энергосберегающих технологий по двум основным показателям.

Во первых, энергопотребление контрольно-корректирующей станции составляет около 2,5 квт, что более чем на порядок меньше радиолокационных систем. Во вторых, погреш

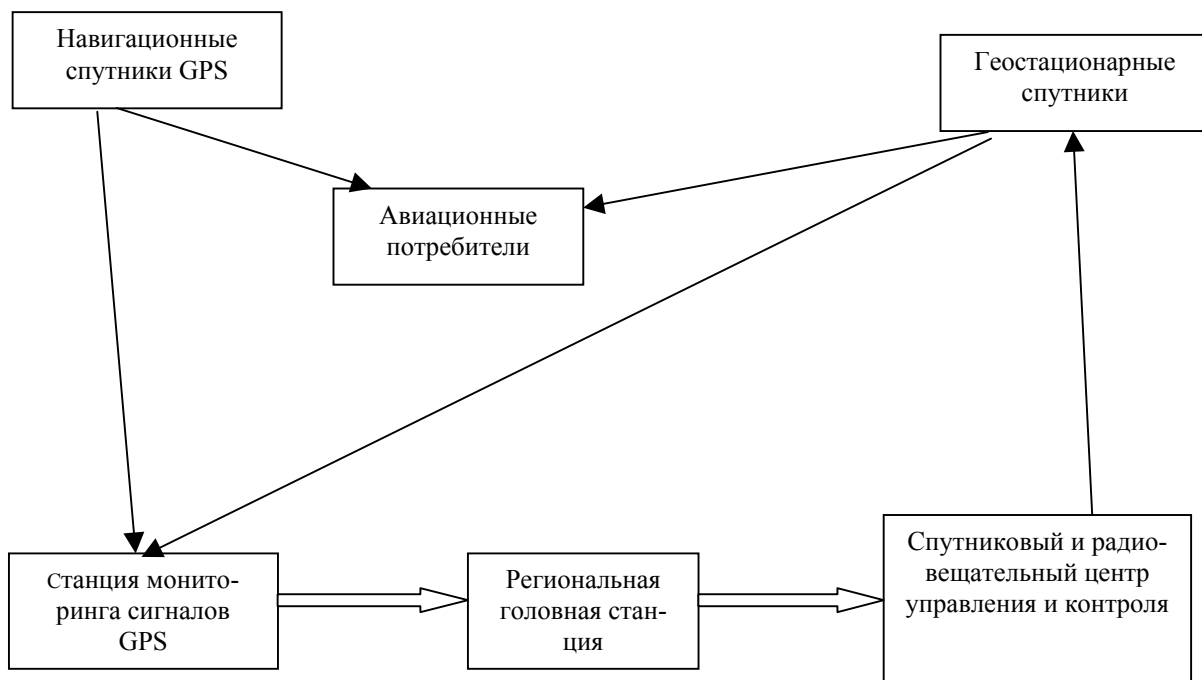
ность определения местоположения воздушного судна в зоне действия ККС, настолько высокая, что маневрирование при заходе на посадку сводится до минимума, что дает существенную экономию топлива.

Как уже отмечалось, западные производители активно готовятся к внедрению спутниковых технологий в авиацию. На сегодняшний день практически готово к серийной поставке оборудование для передачи данных (радиоканал передачи корректирующей информации), очень многими западными фирмами разработаны и продаются бортовые авиационные спутниковые навигационные приемники, в опытной эксплуатации стали появляться контрольно-корректирующие станции, создано и продается программное обеспечение.

### 1.5. Пример внедрения GNSS

Одним из лидеров в области организации воздушного движения является корпорация Lockheed Martin. Показав, что переход от традиционных средств УВД к средствам, основанным на спутниковых технологиях, дает огромные экономические и технические выгоды корпорация сделала коммерческое предложение, названное региональной системой позиционирования (RPS). Структура RPS изображена на рис. 1.6 и функционирует следующим образом.

Имеется сеть наземных станций дистанционного мониторинга GPS сигналов [ Remote monitoring stations (RIMS)], распределенных в заданном регионе. Станции принимают радиосигналы навигационных спутников GPS, координаты фазовых центров их приемных антенн измерены с высокой точностью. RIMS измеряют свои координаты, сопоставляют их с координатами фазовых центров антенн, определяют среднеквадратические ошибки, влияющие на точность определения местоположения и передают эту информацию на региональную главную станцию [Regional master stations (RMS)]. На RMS производится обработка информации поступившей со всех RIMS и в виде интегрированного сообщения содержащего данные о местоположении, времени, коррекции, целостности системы передается на спутниковый и радиовещательный центр управления [Satellite and broadcast control centers (SBC)].



### Рис. 1.6. Региональная система позиционирования

SBC управляет геостационарными радиовещательными спутниками (RPS GEO broadcast satellites), которые одновременно являются дополнительными навигационными спутниками. Радионавигационная информация спутников GEO поступает в RIMS и обрабатывается совместно с сигналами GPS. Спутники GEO также выполняют функцию приема навигационной интегрированной информации из SBC и транслируют ее потребителям соответствующего региона. Таким образом, аппаратура потребителя принимает радионавигационную информацию с GPS спутников, радионавигационную скорректированную информацию, информацию о целостности здоровья спутников с RPS GEO и после ее совместной обработки определяет местоположение с высокой точностью.

Идеологически RPS близка к WAAS. Предполагается, что RPS будет иметь глобальный характер и будет совместима с другими функциональными дополнениями (WAAS, MSAS, EGNOS).

Услуги RPS платные, распространяются на условиях аренды и распределяются между службами гражданской авиации.

