

Содержание

Введение.....	4
1. Требования потребителей к СРНС.....	5
2. Концепция ИКАО CNS/АТМ.....	11
2.1. Общие сведения.....	11
2.2. Существующая аэронавигационная система и ее недостатки.....	14
2.3. Будущая аэронавигационная система и мероприятия ИКАО по построению систем CNS/АТМ.....	17
2.3.1. Развитие подсистемы связи.....	18
2.3.2. Развитие подсистемы навигации.....	24
2.3.2.1. Глобальная навигационная спутниковая система.....	24
2.3.2.2. Средства точного захода на посадку.....	25
2.3.2.3. Зональная навигация.....	25
2.3.2.4. Концепция Free Flight.....	26
2.3.2.5. Вывод из эксплуатации средств традиционного навигационного обеспечения.....	27
2.3.3. Развитие подсистемы наблюдения.....	27
2.3.3.1. Режим S ВОРЛ.....	27
2.3.3.2. Автоматическое зависимое наблюдение (АЗН).....	29
2.3.4. Совершенствование ОпВД.....	31
3. Принципы навигационных измерений с помощью ИЗС.....	33
4. Спутниковая радионавигационная система GPS.....	36
5. Спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС.....	41
6. Совместное использование систем ГЛОНАСС и GPS.....	48
7. Режим автоматического зависимого наблюдения.....	50
7.1. Общие принципы режима автоматического зависимого наблюдения.....	50
7.2. Возможности технической реализации режима АЗН.....	59
7.3. Внедрение АЗН за рубежом и в России.....	61
8. Дифференциальный режим работы СРНС.....	64
9. Стандартизация и сертификация в области СРНС.....	70
10. Перспективные СРНС.....	74
Литература.....	76
Список сокращений.....	77

Введение

Существующие и разрабатываемые средства навигации и управления воздушного движения (УВД), основанные на традиционных принципах, имеют ряд существенных ограничений. Средства наблюдения, представляющие собой первичные и вторичные радиолокационные станции (РЛС) наземного базирования, имеют дальность действия, ограниченную прямой видимостью, и, как следствие, возникают трудности создания необходимого радиолокационного поля, особенно на малых высотах. Нарастание зон обслуживания автоматизированных систем (АС) УВД сопровождается установкой дополнительных радиолокационных позиций (РЛП), что затруднительно в экономическом плане.

Средняя квадратическая погрешность измерения местоположения воздушного судна (ВС) на максимальной дальности составляет сотни метров, что не удовлетворяет современным требованиям УВД при введении новых норм эшелонирования. Помехоустойчивость РЛС к пассивным, промышленным и взаимным помехам с ростом интенсивности воздушного движения (ИВД) и увеличением числа близко расположенных РЛП падает.

По этим причинам Международная организация гражданской авиации (ИКАО) сформулировала концепцию CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management – связь, навигация, наблюдение (СНН)/организация воздушного движения (OpВД)), которая формулирует необходимость внедрения в регулярную практику полетов гражданской авиации спутниковых систем навигации.

Применение спутниковых систем для создания поля наблюдения в значительной степени избавляет от перечисленных выше трудностей и дает следующие преимущества:

- возможность создания поля наблюдения в заданном регионе путем соответствующего выбора конфигурации орбит и количества ИСЗ;
- сведение к минимуму влияния условий распространения радиоволн на характеристики каналов наблюдения за счет использования дециметровых и сантиметровых диапазонов длин волн;
- возможность выбора организационной структуры УВД, оптимальной по заданным критериям для выполнения целевых задач;
- возможность повышения точности наблюдения практически на любых высотах полета ВС за счет использования дальномерного и разностно-дальномерного методов.

Учитывая сказанное, для решения задач гражданской авиации (ГА) всего мира широко внедряются и используются спутниковые радионавигационные системы (СРНС). Особенности построения таких систем, их возможности и основные характеристики применительно к решению задач УВД рассматриваются в данном учебном пособии, предназначенном для изучения дисциплины «Спутниковые системы навигации и УВД» в рамках учебного плана специальности 160905 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования».

1. Требования потребителей к СРНС

Общими качественными требованиями со стороны потребителей к СРНС являются: глобальность; независимость от гидрометеорологических условий; от подстилающей поверхности и рельефа местности; от времени года и суток; непрерывность передаваемой информации; неограниченная пропускная способность каналов передачи информации; практическая независимость от высоты размещения объекта над поверхностью Земли и от условий его движения; помехозащищенность и др.

Однако использование СРНС в целях местоопределения и навигации ВС ГА выдвигает более высокие количественные требования, вытекающие из необходимости обеспечения безопасности полетов, что, по рекомендациям ИКАО, является сегодня основной задачей ГА при выполнении полетов.

Таковыми являются требования к точностным характеристикам, например, к среднеквадратическим ошибкам (СКО) определения навигационных параметров и к показателям надежности навигационного обеспечения.

Под последними понимаются требования:

- доступности (готовности), мерой которой является вероятность работоспособности СРНС перед и в процессе выполнения той или иной задачи;
- целостности, мерой которой является вероятность выявления отказа самой системы в течение времени, равного или менее заданного;
- непрерывности обслуживания, мерой которой служит вероятность работоспособности системы в течение наиболее ответственных отрезков времени движения ВС.

Требования к навигационному обеспечению полетов ГА сформулированы в соответствующих документах ИКАО и определяются в первую очередь необходимостью обеспечения безопасности полетов ВС в условиях сложившейся структуры деления воздушного пространства. При этом рассматриваются различные этапы полета, такие как полеты по трассам и вне трасс, в аэродромной зоне, взлет, заход на посадку, посадка, пробег по ВПП (взлетно-посадочная полоса) и руление.

В 2001 году ИКАО была принята поправка 76 к Международным стандартам и Рекомендуемой практике «Авиационная электросвязь», Приложения 10 к Конвенции о международной гражданской авиации (SARPS (Standards and Recommended Practices; Стандарты и рекомендованная практика), том 1, радионавигационные средства), в которой содержится большое количество важных нормативных материалов в части глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).

В 2004 году на 4-м заседании 171-й сессии Совет ИКАО принял поправку 79 к Международным стандартам и Рекомендуемой практике «Авиационная электросвязь», Приложения 10 к Конвенции о международной гражданской авиации (SARPS, том 1, радионавигационные средства), меняющую ряд положений поправки 76.

Текст поправки 79, резолюцию о принятии и уведомление о различиях Совет ИКАО направил государствам-членам ИКАО в марте 2004 года.

Эта поправка или те ее части, которые вступили в силу, начали применяться с 25.11.04 г.

Основным разделом этих документов является раздел «Требования к глобальной навигационной спутниковой системе (ГНСС)». В нем приведены требования к характеристикам сигнала в пространстве, сведенные в табл. 1.

В табл. 2 приведены значения порогов срабатывания для контроля целостности.

В ней уточнены наименования фаз полета на маршруте, а именно:

- на маршруте (океаническое/континентальное воздушное пространство с низкой плотностью движения) - строка 1;
- на маршруте (континентальное воздушное пространство) - строка 2.

Ниже приводятся формулировки основных показателей СРНС.

Таблица 1

Требования к характеристикам сигнала в пространстве

Типовая операция	Точность в горизонтальной плоскости, м, P=95%	Точность по вертикали, м, P=95%	Целостность	Время предупреждения, с	Непрерывность	Эксплуатационная готовность
На маршруте	3700	Не назначена	$1 \cdot 10^{-7}$ ч	300	От $1 \cdot 10^4$ ч до $1 \cdot 10^8$ ч	От 0,99 до 0,99999
На маршруте, в зоне аэродрома	740	Не назначена	$1 \cdot 10^{-7}$ ч	15	От $1 \cdot 10^4$ ч до $1 \cdot 10^8$ ч	От 0,99 до 0,99999
Начальный, промежуточный и неточный заход, вылет	220	Не назначена	$1 \cdot 10^{-7}$ ч	10	От $1 \cdot 10^4$ ч до $1 \cdot 10^8$ ч	От 0,99 до 0,99999
Заход на посадку с управлением по вертикали I	16	20	$1 \cdot 2 \cdot 10^{-7}$ за заход	10	$1 \cdot 8 \cdot 10^{-6}$ в любые 15 с	От 0,99 до 0,99999
Заход на посадку с управлением по вертикали II	16	8,0	$1 \cdot 2 \cdot 10^{-7}$ за заход	6	$1 \cdot 8 \cdot 10^{-6}$ в любые 15 с	От 0,99 до 0,99999
Точный заход на посадку по категории I	16	От 6,0 до 4,0	$1 \cdot 2 \cdot 10^{-7}$ за заход	6	$1 \cdot 8 \cdot 10^{-6}$ в любые 15 с	От 0,99 до 0,99999

Таблица 2

Пороги срабатывания для контроля целостности

Типовая операция	Порог срабатывания по горизонтали, м	Порог срабатывания по вертикали, м
На маршруте (океаническое/континентальное воздушное пространство с низкой плотностью движения)	7400	Не назначено
На маршруте (континентальное воздушное пространство)	3700	Не назначено
На маршруте в зоне аэродрома	1850	Не назначено
Начальный, промежуточный и неточный заход, вылет	556	Не назначено
Заход на посадку с управлением по вертикали I	40	50
Заход на посадку с управлением по вертикали II	40,0	20,0
Точный заход на посадку по категории I	40,0	От 15,0 до 10,0

Точность определения местоположения

Ошибки службы стандартного определения местоположения СРНС не превышают следующие пределы:

Параметр	Глобальное среднее 95% времени	Наихудшее место 95% времени
Ошибка определения местоположения в горизонтальной плоскости, м	13	36
Ошибка по вертикали, м	22	77

Точность передачи времени

Ошибки при передаче данных времени в СРНС не превышают 40 наносекунд для 95% времени.

Точность определения параметров дальности

Ошибки параметров дальности не превышают следующие пределы:

- 1) ошибка по дальности любого спутника
- 30 м (фут) или 4,42 значения СКО по дальности по радиовещательному сигналу, не превышающая 150 м (490 фут), в зависимости от того, какая из них больше;
- 2) ошибка скорости изменения дальности любого спутника – 0,02 м/с;

- 3) ошибка ускорения изменения дальности любого спутника – $0,007 \text{ м/с}^2$;
- 4) среднеквадратическая ошибка по дальности для всех спутников – 6 м.

Эксплуатационная готовность

Эксплуатационная готовность СРНС составляет:

- $\geq 99\%$ для обслуживания в горизонтальной плоскости и среднего места расположения (95%-е пороговое значение 36 м);
- $\geq 99\%$ для обслуживания в вертикальной плоскости и среднего места расположения (95%-е пороговое значение 77 м);
- $\geq 90\%$ для обслуживания в горизонтальной плоскости и наихудшего случая расположения (95%-е пороговое значение 36 м);
- $\geq 90\%$ для обслуживания в вертикальной плоскости и наихудшего случая расположения (95%-е пороговое значение 77 м).

Надежность

Надежность СРНС соответствует следующим ограничениям:

- 1) частота отказов основного обслуживания для орбитальной группировки в целом – не более чем три за год (глобальное среднее);
- 2) надежность – не менее чем 99,94 % (глобальное среднее);
- 3) надежность – не менее чем 99,97% (среднее значение для отдельного пункта).

Зона действия

Зона действия СРНС охватывает поверхность Земли вплоть до высоты 3000 км.

Еще раз обратим внимание, что рост объемов авиаперевозок предъявляет постоянно возрастающие требования к пропускной способности воздушного пространства (ВП) и обуславливает необходимость его оптимального использования по соответствующим критериям. Эти факторы, в том числе возможность использования спрямленных маршрутов, а также повышенная точность современных навигационных систем, предопределили появление концепции ИКАО RNP (Required Navigation Performance) или требуемых навигационных характеристик (ТНХ).

Концепция RNP определяет характеристики средств навигации в пределах определенного района ВП и поэтому оказывает влияние как на ВП, так и на ВС.

Тип ТНХ определяет точность выдерживания навигационных характеристик всеми пользователями и при любых сочетаниях навигационных систем в пределах некоторого ВП. ТНХ могут устанавливаться для конкретного маршрута, для ряда маршрутов, для определенного района ВП, для некоторого объема ВП, которые определяются специалистами по воздушному планированию или компетентными органами.

Определены 4 типа ТНХ при полетах по маршруту: ТНХ 1 соответствует половине коридора, внутри которого с вероятностью $P=0,95$ должно оставаться

ВС, т.е. 1,85 км (1,0 морская миля (м.м.)), ТНХ 4 – 7,4 км (4,0 м.м.), ТНХ 12,6 – 23,3 км (12,6 м.м.), ТНХ 20 – 37,0 км (20,0 м.м.).

Тип ТНХ 1 предусматривается для обеспечения полетов по маршрутам в результате использования точной информации о местоположении ВС, а также для обеспечения полетов и организации ВП при переходе из зоны аэродрома к требуемому маршруту и в обратном порядке.

Тип ТНХ 4 предназначается для маршрутов и схем ВП, основанных на ограниченном расстоянии между навигационными средствами. Этот тип предназначен для использования в континентальном ВП.

Тип ТНХ 12,6 обеспечивает ограниченную оптимизацию маршрутов в районе с пониженным уровнем обеспечения навигационными средствами в любом контролируемом ВП в любое время.

Тип ТНХ 20 - это минимальный уровень, который должен обеспечиваться любым ВС в любом контролируемом ВП в любое время.

Существуют также ТНХ для операций захода на посадку, посадки и вылета, например, для начального участка захода на посадку или для вылета установлены ТНХ 0,5 (0,5 м.м. или 926м). Общие ТНХ для операций захода на посадку, посадки и вылета приведены в табл. 3.

В табл. 3 сокращение RNP 0,3/125, в частности, предполагает, что самолетовождение должно осуществляться с точностью 0,3 м.м (556м) в плане и 125 футов (38 м) по высоте. RNP 0,003 учитывает невозможность предъявления требований по высоте при выравнивании и пробеге. Поэтому в случае третьей категории ИКАО целесообразно обращаться к данным табл. 1. Для соответствующих RNP в табл. 4 приведены требования к готовности (доступности).

Таблица 3

Тип RNP	Этап полета	Точность с достоверностью 95% (боковая/вертикальная плоскости)	Интервал удерживания (боковая/вертикальная плоскости)	Целостность	Непрерывность и критическое время
RNP 1	Полет по маршруту и участок перехода к заходу на посадку и от этапа вылета	± 1 м.м. (± 1852 м)			
RNP 0,5	Начальный этап захода на посадку. Вылет.	$\pm 0,5$ м.м. (± 926 м)	± 1 м.м. (± 1852 м)	$1 \cdot 10^{-5}$ ч	$1 \cdot 10^{-4}$ ч

Продолжение табл. 3

RNP 0,3	Начальный или промежуточный этапы захода на посадку. Неточный заход на посадку. Вылет.	$\pm 0,3$ м.м. (± 556 м)	$\pm 0,6$ м.м. (± 1112 м)	$1 \cdot 10^{-5}$ ч	$1 \cdot 10^{-4}$ ч
RNP 0,3/125	Заход на посадку по приборам с наведением по вертикали	$\pm 0,3$ м.м./125 фут. (± 556 м/38 м)	$\pm 0,6$ м.м./250 фут. (± 1112 м/76 м)	$1 \cdot 10^{-5}$ ч	$1 \cdot 10^{-4}$ ч
RNP 0,03/50	Точный заход на посадку до высоты 100м (350 фут.). Категория 1	$\pm 0,03$ м.м./50 фут (± 56 м/15 м)	$\pm 0,09$ м.м./150 фут. (± 167 м/46 м)	$1-3,5 \cdot 10^{-7}$ (в течение любой одной операции) время до выдачи предупр. бс.	$1 \cdot 10^{-5}$ для любого 15-сек. интервала времени
RNP 0,02/40	Точный заход на посадку до высоты 60м (200 фут.). Категория 1	$\pm 0,02$ м.м./40 фут (± 37 м/12 м)	$\pm 0,06$ м.м./120 фут. (± 111 м/37 м)	$1-3,5 \cdot 10^{-7}$ (в течение любой одной операции) время до выдачи предупр. бс.	$1 \cdot 10^{-5}$ для любого 15-сек. интервала времени
RNP 0,01/15	Точный заход на посадку до высоты 30м (100 фут.). Категория II	$\pm 0,01$ м.м./15 фут (± 19 м/5 м)	$\pm 0,03$ м.м./45 фут. (± 56 м/14 м)	$1-2,5 \cdot 10^{-9}$ (в течении любой одной операции) время до выдачи предупр. 1с.	$1-6,0 \cdot 10^{-6}$ для любого 15-сек. интервала времени
RNP 0,003	Точный заход на посадку до высоты ниже 30 м (100 фут.), посадка и вылет. Категория III	$\pm 0,003$ м.м. (± 6 м) включая требования к приземлению, пробегу при посадке и разбегу при взлете.	$\pm 0,009$ м.м. (± 17 м)	$1-2,5 \cdot 10^{-9}$ (в течение любой одной операции) время до выдачи предупр. 1с.	$1-6,0 \cdot 10^{-6}$ для любого 30-сек. интервала времени.

Тип RNP	Готовность
RNP 0,5	0,95
RNP 0,3	0,95
RNP 0,3/125	0,95
RNP 0,03/50	0,9975
RNP 0,02/40	0,9985
RNP 0,01/15	0,9985
RNP 0,03	0,999

2. Концепция ИКАО CNS/АТМ

Опишем основные составляющие концепции ИКАО CNS/АТМ. Эти составляющие относятся к перспективным системам связи, навигации и наблюдения.

2.1. Общие сведения

В начале 1980-х годов ИКАО признала обостряющиеся ограничения существующих систем аэронавигации и необходимость их совершенствования для удовлетворения потребностей гражданской авиации в XXI веке. Образованный с этой целью специальный комитет¹, получивший в последующем название комитета FANS (Future Air Navigation System-перспективная аэронавигационная система) - этап I, в своей работе исходил из следующих основных положений:

- во всех регионах мира будет отмечаться увеличение потребности в воздушном движении и в ряде регионов, по истечению определенного времени интенсивность воздушного движения будет превышать уровень, который существующая система в состоянии обеспечить. Этот фактор совместно с мерами по защите окружающей среды будет накладывать все более жесткие ограничения на производство полетов и может привести к серьезным экономическим последствиям;

- решить эту проблему путем простого расширения существующей системы не представляется возможным в силу ограниченных возможностей подсистем связи, навигации и наблюдения по дальности действия, внедрению и эксплуатации в труднодоступных районах, пропускной способности и/или точности и надежности;

¹ В состав этого комитета вошли 22 представителя Договаривающихся государств ИКАО и международных организаций, а также 10 представителей со статусом наблюдателя.

- практическое применение в гражданской авиации имеющихся новых средств и технологий является единственной возможностью преодолеть имеющиеся трудности и удовлетворить потребности в следующем столетии;

- внедрение новых технических средств, многие из которых являются глобальными по своему характеру, будет происходить в различных регионах мира в разное время. Поэтому необходимо проводить согласованную политику и осуществлять переход к новой системе таким образом, чтобы соответствующий уровень ОрВД гарантировался во всем мировом воздушном пространстве, независимо от состояния внедрения в различных районах полетной информации (РПИ).

В процессе формирования новой концепции CNS/ATM комитет исходил из того, что новая система CNS должна обеспечивать:

- связь, навигацию и наблюдение в глобальном масштабе на всех высотах полета (от самых малых до самых больших) и в любых районах (включая удаленные, прибрежные и океанические);

- обмен данными по каналам цифровой связи “воздух - земля” между бортовыми и наземными комплексами в целях максимального использования преимуществ автоматизации;

- навигационное обслуживание и заходы на посадку на ВПП и другие посадочные полосы, которые практически нецелесообразно оборудовать средствами для точного захода на посадку.

В мае 1988 года комитет FANS - этап I завершил свою работу, разработав концепцию систем CNS, основанную на использовании спутников², линий передачи данных и автоматических систем. Одновременно Совету ИКАО было рекомендовано в срочном порядке создать новый комитет (FANS - этап II) для подготовки рекомендаций по контролю и координации разработки, а также планированию перехода к будущей системе на рентабельной основе с учетом интересов конкретных географических районов.

В сентябре 1991 года на десятой аэронавигационной конференции государства-члены ИКАО одобрили концепцию CNS/ATM, реализация которой позволит гражданской авиации преодолеть во всемирном масштабе известные недостатки существующей системы и воспользоваться преимуществами новейших технологий для обеспечения прогнозируемого развития авиации в XXI веке.

Образованный в июле 1989 г. комитет FANS - этап II завершил свою работу в октябре 1993 г., разработав скоординированный на глобальном уровне план перехода к системам CNS/ATM. В 1996 году Совет ИКАО принял решение пересмотреть данный план в направлении его конкретизации с учетом практического уровня готовности отдельных элементов CNS/ATM, акцентирования деятельности на внедрение в регионах, а также рассматривать

² В последующем был определен ряд альтернативных технических средств, включая системы наземного базирования.

глобальный план как “живой документ”, совершенствуемый и обновляемый в соответствии с установленной процедурой.

Для обеспечения внедрения систем CNS/ATM требовался план действий. Первоначальные усилия в этом направлении завершились разработкой ИКАО скоординированного на глобальном уровне плана перехода к системам CNS/ATM (Глобальный координированный план). В 1996 г. Совет ИКАО пришел к выводу, что системы CNS/ATM достигли требуемого уровня готовности, и в этой связи необходим более конкретный план, который охватывал бы все направления деятельности и возможные технические решения, делая акцент на внедрение в регионах. С учетом этого ИКАО пересмотрела Глобальный координированный план, подходя к нему как к «живому» документу, включающему технические, эксплуатационные, экономические, экологические, финансовые, правовые и организационные элементы и обеспечивающему также практические указания и рекомендации группам регионального планирования и государствам в отношении стратегий внедрения и финансирования. В результате был подготовлен пересмотренный материал, именуемый «Глобальный аэронавигационный план применительно к системам CNS/ATM» (Глобальный план, Doc 9750), который является стратегическим документом для руководства в процессе внедрения систем CNS/ATM.

За годы, прошедшие после завершения работы комитетов FANS, в ряде государств и во всех регионах ИКАО было начато осуществление программ внедрения систем ОрВД, призванных повысить эффективность деятельности авиации посредством использования технологий CNS/ATM. Однако позднее было признано, что технология не является самоцелью и что необходимо создать всеобъемлющую концепцию единой и глобальной системы ОрВД, основанной на четко сформулированных эксплуатационных требованиях. Эта концепция, в свою очередь, послужит фундаментом для скоординированного внедрения технологий CNS/ATM на основе четко определенных требований. Разработку этой концепции поручили учрежденной Аэронавигационной комиссией ИКАО Группе экспертов по эксплуатационной концепции организации воздушного движения.

В сентябре-октябре 2003 г. состоялась одиннадцатая Аэронавигационная конференция, на которой был отмечен существенный прогресс во многих аспектах внедрения систем CNS/ATM и рассмотрены конкретные элементы обновленного подхода к организации воздушного движения с учетом развития технологии CNS.

Итогом работы конференции явилось принятие «Глобальной эксплуатационной концепции организации воздушного движения».

Эксплуатационная концепция, предназначенная для использования в качестве руководства при внедрении технологий CNS/ATM, содержит описание того, как авиационному сообществу переходить от структур управления воздушным движением, характерных для XX века, к интегрированной

кооперативной системе организации воздушного движения, необходимой для удовлетворения потребностей авиации в XXI столетии. Эту работу следует рассматривать как очередной этап в процессе эволюции, началом которого стала концепция FANS, а целью является создание единой глобальной системы ОрВД. Определения специальных терминов, используемых при изложении эксплуатационной концепции, приведены в Приложении.

2.2. Существующая аэронавигационная система и ее основные недостатки

Краткое описание существующей аэронавигационной системы и её основных недостатков приведем применительно к области связи, навигации и наблюдения, а также обслуживания воздушного движения.

Связь. В настоящее время доминирующим видом связи “воздух - земля” между экипажем ВС и диспетчером является речевая связь. Использование приемопередатчиков в диапазоне очень высоких частот (ОВЧ) обеспечивает радиосвязь непосредственно между пилотом и органом УВД в пределах прямой видимости. Для связи в РПИ вне зоны действия ОВЧ - средств используются радиостанции, работающие в диапазоне высоких частот (ВЧ). При этом связь в этом диапазоне ведется диспетчером через оператора радиобюро. Соседние органы УВД взаимодействуют между собой по арендуемым телефонным каналам (тональной частоты), благодаря чему обеспечивается прямая речевая связь между диспетчерами в процессе согласования условий полета и осуществления процедуры приема-передачи управления. Органы УВД, другие авиационные полномочные органы и многие авиакомпании связаны между собой сетью авиационной фиксированной электросвязи (AFTN-Aeronautical Fixed Telecommunication Network), обеспечивающей передачу ориентированных на знаки сообщений (телеграмм), а в некоторых случаях - линиями общей сети обмена данными ИКАО (CIDIN-Common ICAO Data Interchange Network).

Основной недостаток существующей подсистемы связи “воздух - земля” заключается в том, что обмен информацией между ВС и органом УВД в основном ведется по каналам речевой связи без организации автоматизированного (автоматического) обмена данными между бортовым и наземным оборудованием. При этом пропускная способность таких каналов ограничена скоростью произношения речевых сообщений, языковыми особенностями каждого человека и необходимостью повторения сообщений в случае возникновения неблагоприятных условий прохождения сигнала или воздействия помех. По мере увеличения объема воздушного движения каналы речевой связи все больше перегружаются, что обуславливает необходимость выделения дополнительных каналов. По этой же причине в ходе полета по маршруту экипаж вынужден часто менять частоту настройки, что ведет к увеличению рабочей нагрузки по ведению связи.

Другие недостатки существующей подсистемы связаны с дальностью действия в диапазоне ОВЧ, ограниченной зоной прямой видимости. Устранение этого недостатка можно обеспечить путем использования территориально-распределенной сети ОВЧ - станций (наземных ретрансляторов), связанных с органом УВД арендованными каналами связи. Однако в результате этого значительно увеличиваются расходы на организацию и эксплуатацию такой сети связи. Кроме того, в ряде случаев установка наземных ретрансляторов может быть затруднена или невозможна. Связь в диапазоне ВЧ подвержена аномалиям распространения волн, помехам и затуханиям сигнала. Вследствие этих физических ограничений воздушная радиосвязь в этом диапазоне ведется с помощью специально подготовленных радиооператоров, что значительно снижает своевременность доведения сообщений.

В наземном сегменте подсистемы связи при использовании сети AFTN на конечном этапе доведения сообщений обеспечивается только низкоскоростная передача с использованием телетайпов. При этом некоторые центры коммутации сообщений по-прежнему работают в ручном режиме. Все это задерживает обмен авиационной информацией и приводит к снижению качества ОрВД.

Навигация. Навигация над сушей в основном осуществляется по ненаправленным радиомаякам в рамках структуры маршрутов, охваченных зоной действия всенаправленных ОВЧ-радиомаяков (VOR-Very High Frequency Omni directional Range) и дальномерного оборудования (DME-Distance Measuring Equipment), а также станций радиотехнических систем ближней навигации (РСБН) в Европейском регионе ИКАО. Дальняя навигация обеспечивается с помощью таких систем, как OMEGA, LORAN-C, или автономных навигационных систем, таких как инерциальные навигационные системы (ИНС).

При использовании всенаправленных маяков диапазона ВЧ вследствие условий распространения волн возникают такие же помехи, как и при работе ВЧ радиосвязи. Поэтому точность навигации в этом случае и зона действия ограничены. Хотя при передаче сигналов VOR/DME и/или РСБН не возникает особых помех, тем не менее, обеспечить ближнюю навигацию во всем требуемом объеме воздушного пространства не всегда удается по причине географических или экономических ограничений, так как эти средства работают в зоне прямой видимости.

Кроме того, сам принцип самолетовождения, основанный на маркировании определенных наземных точек и привязке воздушных трасс к местоположению навигационных средств в этих точках, ограничивает возможности выбора маршрутов движения и вызывает появление чрезмерно перегруженных областей воздушного пространства.

Наблюдение. Применение в конкретном воздушном пространстве тех или иных процедур ОВД в огромной степени зависит от методов наблюдения. Как правило, в континентальных и прибрежных районах для наблюдения

применяются первичные и вторичные радиолокаторы (ВРЛ), а в океанических и удаленных районах с этой целью используются донесения, передаваемые по каналам речевой связи согласно установленным правилам.

Основной недостаток подсистемы наблюдения связан с ограниченной дальностью действия первичного и вторичного радиолокаторов и аналогичен вышеописанному для организации ОВЧ - связи с ВС.

Обслуживание воздушного движения (ОВД). Цель ОВД заключается в обеспечении соблюдения эксплуатантами ВС установленного графика убытия и прибытия ВС и выбора наиболее предпочтительных для них профилей полета с минимальными ограничениями при сохранении требуемого уровня безопасности полетов. Для выполнения сформулированной цели используются имеющаяся система CNS и наземные центры УВД, которые несут ответственность за управление воздушным движением и обеспечение безопасности полетов. Поэтому ограничения существующих систем ОВД находятся в прямой зависимости от недостатков элементов CNS .

Вследствие этих недостатков на некоторых участках существующих воздушных трасс иногда невозможно получить информацию о фактическом местоположении ВС в реальном масштабе времени и о прогнозируемой траектории полета в краткосрочной и долгосрочной перспективе, в результате чего приходится прибегать к процедурным методам УВД. Применение же процедурных методов УВД не позволяет выбирать наиболее эффективные профили полета и в полной мере использовать пропускную способность системы, так как в этом случае полеты, как правило, приходится планировать с увеличенными интервалами между ВС и с пролетом промежуточных контрольных точек (пунктов обязательного донесения). Это также ограничивает возможность изменения разрешенного профиля полета. В результате потенциал современных бортовых систем в полной мере не реализуется, а ОВД не всегда можно обеспечить на эффективной и рентабельной основе.

Кроме того, нехватка цифровых систем обмена данными "воздух - земля", а также отсутствие общепринятых стандартов и несогласованность действий различных органов УВД не позволяют в полной мере автоматизировать обработку связанной с ОВД информации. Вследствие такого неравномерного развития ОВД существующие системы ОрВД не позволяют добиться наиболее эффективного использования воздушного пространства. Для устранения этих недостатков необходимо в кратчайшие сроки обеспечить согласованное внедрение автоматизированного взаимодействия между бортовым и наземным оборудованием и элементами системы. В целом это позволит пользователям воздушного пространства выполнять полеты по наиболее предпочтительным для них траекториям и быть более свободными в их выборе.

Исходя из изложенного, основные недостатки существующей аэронавигационной системы (ANS-Aeronautical System) ИКАО формулирует следующим образом:

- нарушения расписания полетов по причине недостаточной пропускной способности системы УВД, не позволяющей удовлетворять потребности воздушного движения в отдельные периоды пиковых нагрузок;
- различия в эксплуатационных принципах и процедурах, недостаточная координация действий между регионами и РПИ вызывают увеличение рабочей нагрузки, как диспетчеров УВД, так и членов летного экипажа;
- подсистема организации потоков воздушного движения (ОПВД) не обеспечивает баланс между имеющейся пропускной способностью и потребностями в ней по всему маршруту полета, поэтому ВС зачастую вынуждены подолгу летать в зоне ожидания в тех районах, где существуют наиболее жесткие ограничения пропускной способности;
- негибкость систем с фиксированной структурой маршрутов препятствует наиболее эффективному использованию воздушного пространства и осуществлению полетов наиболее рентабельным образом;
- отсутствие возможности расширять систему на эволюционной основе в целях учета новых потребностей, обусловленных ростом объема воздушного движения;
- неспособность в полной мере использовать возможности такого современного бортового оборудования, как новые системы управления полетом;
- рост эксплуатационных расходов, связанных с работой существующей системы ОрВД и необходимостью увеличения ее пропускной способности, которая без внедрения автоматизации достигается только путем уменьшения размеров существующих диспетчерских районов и увеличения количества диспетчеров.

Если существующая аэронавигационная система не будет улучшена, то международная авиация столкнется с новыми проблемами в связи с постоянным увеличением перегрузки аэропортов и воздушного пространства, которые по мере роста объема воздушного движения будут обостряться. В результате может начаться рост эксплуатационных расходов и снижение активности рынка авиатранспортных услуг.

2.3. Будущая аэронавигационная система и мероприятия ИКАО по построению систем CNS/АТМ

Главная задача будущей CNS заключается в обеспечении выполнения основной цели перспективной концепции АТМ, заключающейся в удовлетворении потребностей пользователей в наиболее предпочтительных траекториях полета. В этой системе, основанной на идее высокоточного определения местоположения ВС и организации эффективного автоматизированного и автоматического взаимодействия бортового и наземного оборудования для обеспечения во всем мировом воздушном

пространстве безопасного воздушного движения по выбранным маршрутам полетов, существующее разграничение элементов CNS будет сведено к минимуму. Тем не менее, характеристику будущей аэронавигационной системы и мероприятий ИКАО по построению систем CNS/ATM целесообразно по-прежнему давать применительно к функциям связи, навигации, наблюдения и организации воздушного движения.

2.3.1. Развитие подсистемы связи

По взглядам экспертов ИКАО при реализации концепции CNS/ATM требуемый уровень эффективности, пропускной способности и гибкости будущей системы ANS может быть достигнут только при использовании цифровых средств передачи данных. Поэтому для новой подсистемы связи будет характерна усовершенствованная передача данных и глобальная зона действия.

Хотя потребность в речевой связи сохранится, тем не менее, возможности передачи данных между всеми абонентами подвижной и фиксированной служб связи в сочетании с использованием межсетевых обмена, шлюзов или трассировщиков позволят создать однородную сеть передачи данных в условиях применения различных технических и административных решений, обеспечивающую решение большинства задач по взаимодействию. Инфраструктурой для обеспечения такого информационного обмена гражданской авиации в глобальном масштабе станет сеть авиационной электросвязи (ATN-Aeronautical Telecommunications Network), которая включает прикладные объекты и службы связи, обеспечивающие взаимодействие наземных сетей передачи данных, подсетей передачи данных “воздух-земля” и бортовых сетей передачи данных путем принятия общих интерфейсных служб и протоколов, основанных на эталонной модели взаимосвязи открытых систем Международной организации по стандартизации (ИСО). Структура сети ATN показана на рис. 1, а ее концептуальная модель - на рис. 2.

Ниже приведем взгляды ИКАО на использование и развитие различных видов связи в будущей АНС, а также краткую характеристику соответствующих мероприятий.

Речевая воздушная связь. Речевая связь диапазона ОВЧ будет оставаться основным видом связи с ВС еще достаточно длительный срок. Однако использование цифровых каналов обмена данными будет расширяться и применяться для передачи большинства рутинных сообщений “воздух - земля” в зависимости от операционных требований. При этом речевая связь будет по-прежнему доступна для передачи нерутинных и аварийных сообщений.

Спутниковая речевая связь будет, по всей видимости, ограничиваться теми областями, где отсутствует поле связи диапазона ОВЧ, но она не заменит ОВЧ речевую связь до тех пор, пока не будут достигнуты существенные

преимущества по соотношению производительности и стоимости. Спутниковая речевая связь может использоваться для передачи нерутинных и чрезвычайных сообщений или дублирования там, где канал передачи данных является основным средством связи.

Радиосвязь в диапазоне ВЧ по-видимому будет сохранена, в первую очередь для обеспечения связи над полярными районами, которые не охвачены действием геостационарных спутников. Более того, применение современных технических средств позволит устранить большую часть недостатков, связанных с непредсказуемым характером прохождения волн в диапазоне ВЧ.

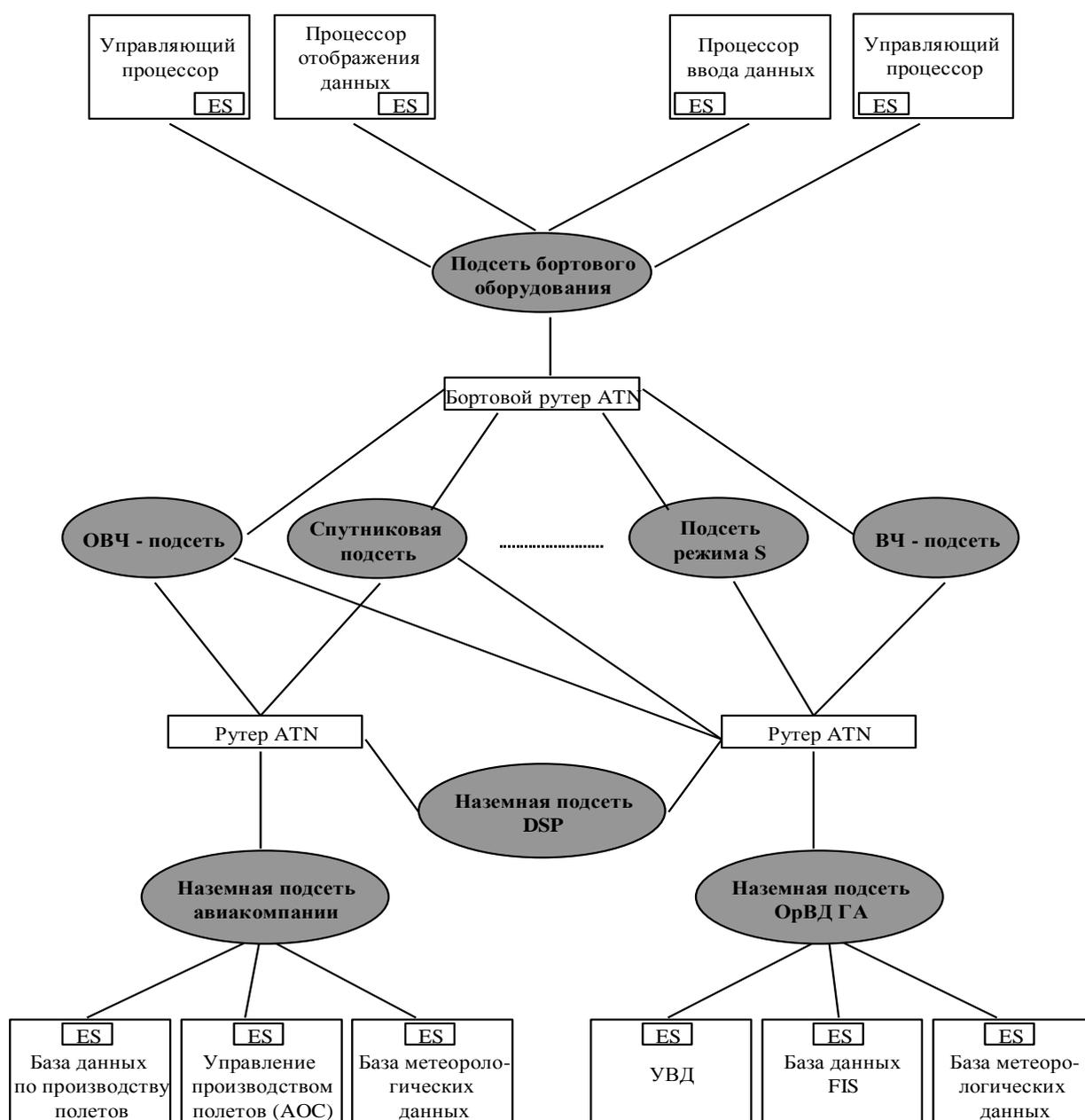
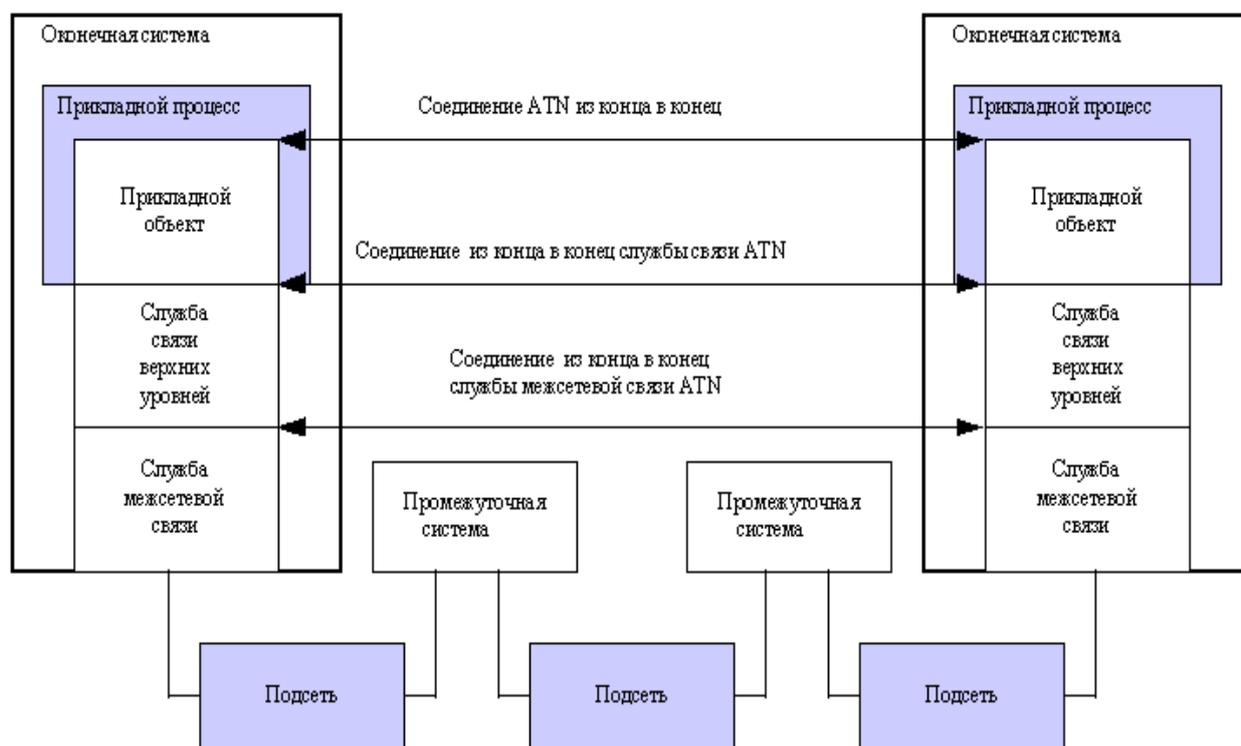


Рис. 1. Структура сети ATN



Примечание. Затенением обозначены элементы, выходящие за сферу применения SARPS
Требования пользователей определяют интерфейс между объектом прикладного уровня и пользователем и обеспечивают функциональные возможности и взаимную совместимость ATN.

Рис. 2. Концептуальная модель ATN

Для преодоления дефицита ОВЧ - радиочастот в перегруженном верхнем воздушном пространстве Европы ИКАО приняло решение об обязательном наличии на борту ВС радиооборудования, способного работать в диапазоне ОВЧ на частотных каналах с шагом сетки частот 8,33 кГц, при выполнении полетов в воздушном пространстве Австрии, Бельгии, Германии, Люксембурга, Нидерландов, Швейцарии и Великобритании с эшелона выше 8000 м, а также с эшелона выше 5700 м в воздушном пространстве Франции.

ВС государственной³ авиации, не отвечающие требованию по работе на частотных каналах с шагом 8,33 кГц, будут допускаться к выполнению полетов в указанном воздушном пространстве Европейского региона ИКАО, если возможности органов УВД, публикуемые в национальных сборниках аэронавигационной информации, и бортовое оборудование ВС позволяют вести радиосвязь в диапазоне ВЧ. Использование в Европе 8,33 кГц разделения каналов в диапазоне ОВЧ волн лишь временно облегчит решение проблемы

³ К государственным воздушным судам ИКАО относят ВС, используемые на военной, таможенной и полицейской службах (статья 3 Конвенции). В России к государственной авиации относится авиация, используемая для осуществления военной, пограничной, милицейской, таможенной и другой государственной службы, а также для выполнения мобилизационно-оборонных задач (статья 22 Воздушного Кодекса).

загруженности. Долговременным решением этой проблемы, одобренным ИКАО, является использование цифровой радиосвязи, такой как связь в диапазоне ОВЧ с использованием многостанционного доступа с временным разделением каналов (TDMA-Time Division Multiple Access).

Несмотря на это, считается, что использование 8,33 кГц разделения каналов обеспечит основную часть Европы достаточным количеством дополнительных частот для того, чтобы справиться с растущим воздушным движением. Однако цифровой TDMA будет применяться во многих регионах, в частности в США, без промежуточного внедрения 8,33 кГц разделения каналов. Таким образом, некоторые страны, включая США, изучают вопрос использования 8,33 кГц и TDMA совместимого радиооборудования.

Речевая наземная связь. Несмотря на то, что все возрастающий объем информации будет передаваться по каналам передачи данных, речевая связь будет использоваться, возможно, и далее, особенно для передачи нерутинных и чрезвычайных сообщений.

Передача данных “воздух-земля”. Обмен данными с ВС предполагается осуществлять с использованием следующих мобильных подсетей АТН:

- ОВЧ - линии цифровой связи (VDL-Very High Frequency Digital Link);
- линии передачи данных режима S (Selective-Адресный);
- линии передачи данных авиационной подвижной спутниковой службы (AMSS-Aeronautical Mobile Satellite Service);
- ВЧ - линии передачи данных.

В настоящее время известны четыре версии VDL (режимов 1 - 4). VDL режима 1 представляет собой линию передачи данных широко распространенной системы связи для адресации и передачи сообщений ACARS(Airborne Communication Addressing and Reporting System), разработанной и введенной в эксплуатацию в конце 1970-х годов фирмой ARINC(Aeronautical Radio Incorporated) для обеспечения обмена данными между ВС и их эксплуатационными агентствами (авиакомпаниями). Особенности данной линии обусловлены использованием существующего аналогового радиооборудования ОВЧ - связи для передачи данных в байтоориентированном формате и заключаются в применении двухступенчатой модуляции с амплитудной модуляцией несущей и минимальной частотной манипуляции на поднесущей (AM-MSK-Minimal Shift Keying), а также многостанционного доступа с контролем несущей (CSMA-Carrier Selecting Multiple Access). Скорость передачи данных в VDL режима 1 составляет 2400 бит/с.

VDL режима 2 стандартизована ИКАО и предусматривает использование методов цифровой радиосвязи с набором протоколов для различных эксплуатационных прикладных процессов. Применение модема с 8-позиционной относительной фазовой модуляцией (D8PSK-Differential 8 Phase Shift Keying) обеспечивает номинальную скорость передачи данных в 31,5

кбит/с. Однако применение CSMA по-прежнему приводит к появлению недетерминированной задержки доведения сообщений.

VDL режима 3 строится на использовании TDMA и будет представлять собой комплексную систему цифровой речевой связи и передачи данных, улучшающую использование ОБЧ - спектра радиочастот за счет обеспечения четырех отдельных радиоканалов на одной несущей.

VDL режима 4 обобщила в себе основные преимущества предыдущих версий. Однако в отличие от VDL режима 3, в которой для обеспечения канальной синхронизации и доступа к каналу требуется наличие наземных станций, VDL режима 4 является самосинхронизирующейся⁴, что обеспечивает возможность ее применения и для автономной организации передачи данных между ВС. VDL версии 4 является наиболее эффективной цифровой линией передачи данных для использования в сети АТН, поддерживающей все известные приложения ОпВД:

- автоматическое зависимое наблюдение в режиме радиовещания (ADS-B-Automatic Dependent Surveillance-Broadcasting);
- связь между диспетчером и экипажем ВС по цифровой линии (CPDLC-Controller Pilot Digital Link Communication), управляемая пилотом;
- передача на борт ВС данных полетно-информационного обслуживания (FIS-Flight Information Service), службы информации о воздушном движении (TIS-Traffic Information Service), метеоданных и другой радиовещательной информации;
- ответ на частоте запроса глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS-Global Navigation Satellite System), содержащий информацию о качестве сигналов GNSS и данных, подлежащих уточнению;
- система наблюдения за наземной обстановкой и управления трафиком ВС и наземных транспортных средств в аэропортах (SMGCS- Surveillance Moving Ground Control System).

В настоящее время группа экспертов ИКАО по авиационной подвижной связи завершила разработку SARPS для VDL режима 4. Проводимые в различных регионах ИКАО интенсивные испытания линий передачи данных направлены на обеспечение их применения в соответствии с требованиями АТН.

Линии передачи данных режима S предполагается использовать в первую очередь для обеспечения расширенного наблюдения, поэтому более подробно они рассмотрены ниже. Линии передачи данных режима S нашли уже применение в воздушном пространстве стран Европейской конференции гражданской авиации (ЕКГА). Последующее развитие в направлении более широкого применения зависит от сравнительного анализа со спутниковыми и ОБЧ - каналами связи по критерию стоимость / производительность.

⁴ Для этого типа доступа в литературе часто используют сокращение STDMA (Self organizing TDMA).

Линии передачи данных AMSS уже находят применение в ряде регионов в ходе работ по внедрению автоматического зависимого наблюдения. Однако на начальных этапах из-за высокой стоимости спутникового оборудования, услуг связи и увеличения времени задержки передачи сообщений использование AMSS будет, по всей видимости, ограничиваться только межконтинентальными ВС, совершающими полеты в океанических РПИ и зонах с низкой интенсивностью воздушного движения, а также в зонах, где отсутствует поле связи VDL или режима S.

Как отмечалось выше, ВЧ - линии передачи данных будут сохранены для обеспечения дальней связи, особенно в полярных районах, где спутниковая связь может быть недоступна. Из мероприятий по совершенствованию ВЧ - связи отметим интернациональный проект (с участием России) по созданию распределенных по континентальной части поверхности земли сети приемо-передающих радиоцентров диапазона ВЧ, сопрягающейся с наземными подсетями ATN, направленной на обеспечение глобальной достаточно надежной адаптивной связи в диапазоне ВЧ между наземными, а также между наземными и воздушными абонентами.

Передача данных «земля – земля»

Передача данных между наземными абонентами будет организовываться с помощью наземных подсетей ATN, основанных на сетях следующего типа:

- сети интегрированной связи ОрВД;
- сети АФСС (Авиационная фиксированная сеть связи);
- сети CIDIN (Common ICAO Data Interchange Network – СИДИН сеть обмена данными ИКАО);
- сети передачи данных авиакомпаний и аэропортов (ADNS – Aeronautical Data Network System);
- сети передачи ARINC;
- сети передачи данных SITA (Society International of Telecommunications in Aeronautics – сеть с коммутацией пакетов Международного общества телесвязи для авиации);
- сети передачи данных общего пользования (при условии заключения соответствующих договоров об уровне обслуживания).

ADNS является главным средством предоставления ARINC связанного обслуживания и состоит из 13 узловых пунктов, расположенных в крупных городах США и в Лондоне. Кроме того, к этим узлам сети подсоединены оконечные станции и процессоры многих других стран мира. Сеть обеспечивает коммутационный интерфейс между сетями авиакомпаний, AFTN, центрами управления воздушным движением на маршрутах и службами погоды. ADNS используются для пересылки сообщений системы ACARS. Отмечается, что ежедневно по сети ADNS передается более 6 миллионов сообщений, связанных с деятельностью воздушного транспорта.

В настоящее время членами компании SITA являются более 530 организаций. Сеть охватывает более 146000 терминалов в 1850 городах более

чем 210 стран посредством арендуемых среднескоростных и высокоскоростных каналов, включая так называемые каналы T1 для межконтинентальных связей. Суммарная пропускная способность системы превышает 20 МГбит/с, а коммутационная пропускная способность превышает 150 миллионов операций с данными и сообщениями в день. Сеть передачи данных (СПД) компании SITA состоит из 30 центров коммутации. С введением в 1991 году новой мегасети пересылки данных (МПД), функции СПД перешли к МПД.

2.3.2. Развитие подсистемы навигации

2.3.2.1. Глобальная навигационная спутниковая система

Центральным звеном в навигационной концепции ИКАО является использование системы GNSS, которая в настоящее время в состоянии обеспечивать потребности навигации на маршрутах и неточных заходах на посадку, а со временем в сочетании с функциональными дополнениями локального применения будет удовлетворять всем требованиям точных заходов на посадку.

Действующими спутниковыми навигационными системами в настоящее время являются глобальная система определения местоположения (GPS-Global Positioning System) США и глобальная орбитальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС – Глобальная Навигационная Спутниковая Система) России. ИКАО предложено использовать обе системы для поэтапного создания GNSS на основе соответствующих обращений США и России в отношении применения своих спутниковых навигационных систем. Космический сегмент Глобальной системы определения местонахождения (GPS) состоит из 24 функционирующих спутников. Соединенные Штаты Америки разработали план модернизации GPS. Одной из основных целей модернизации является предоставление дополнительных закодированных гражданских сигналов. Вторым гражданским сигналом, известным как L2C, будет передаваться на частоте 1227,6 МГц, а третий гражданский сигнал, известный как L5, будет на частоте 1176,45 МГц. Третий гражданский сигнал (L5) предназначен для авиации и других служб, связанных с обеспечением безопасности жизни.

Космический сегмент системы ГЛОНАСС включает 14 спутников, 12 из которых функционируют без ограничений. В августе 2001 года правительство Российской Федерации приняло рассчитанную на 10 лет федеральную целевую программу поддержания и дальнейшего развития ГЛОНАСС. Программа включала создание спутников нового поколения ГЛОНАСС-М, первый из которых был запущен вместе с двумя спутниками ГЛОНАСС в четвертом квартале 2003 года. В дальнейшем планировалась разработка усовершенствованного спутника ГЛОНАСС-К со сроком службы 10-12 лет, улучшенными точностными характеристиками, который значительно легче

существующих модификаций, что позволяет в несколько раз снизить затраты на развертывание и поддержание орбитального сегмента системы.

Постепенный перевод работы системы в нижнюю часть занимаемых в настоящее время диапазонов будет продолжаться в соответствии с существующими договоренностями по обеспечению электромагнитной совместимости со средствами радиоастрономии и подвижной спутниковой службой.

Европейские государства, признавая стратегическое значение спутниковой навигации, потенциальные виды ее применения и существующие недостатки GNSS, приняли решение создать европейскую структуру GNSS на основе двухэтапного подхода путем внедрения SBAS, известной как Европейская геостационарная навигационная оверлейная служба (EGNOS – European Geostationary Navigation Overlay Service), для удовлетворения кратко- и среднесрочных потребностей, а так же созвездие навигационных спутников (ГАЛИЛЕО) для обеспечения мультимодальных потребностей пользователей на более длительную перспективу. Программа ГАЛИЛЕО предусматривает развертывание под гражданским контролем полномасштабного европейского созвездия спутников, которое повысит надежность спутниковой навигации, снимет ряд организационных вопросов и будет дополнительно содействовать полному переходу на спутниковую навигацию. Более подробно GNSS ГАЛИЛЕО рассматривается в разделе 10.

2.3.2.2. Средства точного захода на посадку

В настоящее время для обеспечения навигации на этапе захода на посадку и посадки рассматривается возможность использования дифференциальной GNSS (DGNSS).

DGNSS является дальнейшим развитием системы GNSS и ее назначение заключается в определении ошибок местоположения ВС в зоне действия контрольно - корректирующей станции (ККС). В настоящее время активно ведутся работы по испытанию DGNSS и проводятся демонстрации использования дифференциального режима при заходах на посадку и посадке, основной результат которых состоит в том, что данный режим позволяет определить местоположение ВС с высоким уровнем точности, обеспечивающим заход на посадку по категории I. Авиационной радиотехнической комиссией США (RTCA-Radio Technical Commission for Aeronautical) разработаны стандарты (DO-217) по минимальным характеристикам к DGNSS при заходе на посадку по категории I. Более подробно DGNSS рассматриваются в разделе 8.

2.3.2.3. Зональная навигация

Зональная навигация (RNAV-Area Navigation) представляет собой такой метод навигации, который позволяет воздушным судам выполнять полет по

любой желаемой траектории в зоне действия навигационных средств или в пределах возможностей автономных навигационных средств, а также в условиях применения обоих типов навигационных средств. При внедрении RNAV полет может выполняться в любом воздушном пространстве в пределах установленных допусков по точности выдерживания заданной траектории без необходимости в непосредственной привязке к наземным навигационным средствам. Это, в свою очередь, позволит государствам - пользователям RNAV отказаться от традиционного наземного навигационного обеспечения и снять с эксплуатации соответствующее оборудование.

В рамках концепции RNP зональная навигация применяется только для навигации в горизонтальной плоскости, хотя есть возможность применять RNAV и для навигации в вертикальной плоскости. По точности соблюдения RNAV подразделяется на базовую и точную:

- базовая RNAV (B-RNAV) характеризуется как соблюдение трековой точности лучшей или равной ± 5 морским милям (RNP-5) для 95% полетного времени. Такой уровень навигационной точности аналогичен тому, который достигнут в настоящее время для ВС, с традиционным навигационным оборудованием, полеты которых на маршрутах обслуживаются существующим наземным оборудованием VOR, когда радиомаяки разнесены друг от друга менее, чем на 100 морских миль;

- точная RNAV (P-RNAV) характеризуется соблюдением трековой точности лучшей или равной ± 1 морской миле (RNP-1) для 95% полетного времени. В настоящее время единственным средством, с помощью которого может быть достигнут такой уровень точности, является двухканальный или многоканальный DME.

-

2.3.2.4. Концепция Free Flight

В 20-30-е гг. самолёты летали без помощи диспетчера, выбирая трассу произвольно. Далее стали вводиться трассы, коридоры, эшелоны. Теперь всё воздушное пространство в мире расписано однозначно по эшелонам и коридорам. В конце 90-х гг. стало понятно, что жёсткое расположение трасс тормозит увеличение пропускной способности в мире.

Выходом из положения может стать возвращение к ситуации 20-30-х гг., но на более высоком уровне. Экипаж выбирает трассу, как лететь, но, располагает данными с КА о своём местоположении, получает полную информацию о всех судах в регионе. Возникает другая дисциплина связи с диспетчером – вопрос о выборе маршрута последним решает пилот, хотя есть команды диспетчера, обязательные для пилота (предпосылки к конфликтным ситуациям).

2.3.2.5. Вывод из эксплуатации средств традиционного навигационного обеспечения

Введение в действие концепции CNS/ATM в части навигационного обеспечения позволит вывести из эксплуатации следующие системы:

- импульсная радиотехническая система дальней навигации OMEGA;
- импульсно – фазовая радиотехническая система дальней навигации LORAN-C.

В 1994г. США закончили поддержку станций LORAN-C за пределами континентальной части США, а оставшиеся цепи прекратили функционирование в 2000г. Однако в 1992г. Дания, Франция, Германия, Ирландия, Нидерланды и Норвегия договорились об установке гражданской системы LORAN-C для Северо - Западной Европы. В настоящее время LORAN-C успешно функционирует в этом регионе и будет функционировать в обозримом будущем;

- приводные радиостанции (ПРС) не планируется полностью выводить из эксплуатации, однако, по мере того, как радиомаяки вырабатывают свой ресурс, гражданские власти примут решение о целесообразности их замены. Ожидается, что в обозримом будущем ПРС будут функционировать, однако их количество постепенно уменьшится;

- радиотехническая система ближней навигации TACAN.
- азимутально-дальномерные радиомаяки VOR/DME. Планируется, что многоканальные DME повсеместно заменят VOR/DME, поскольку действующая структура системы ОрВД постепенно переходит к средствам зональной навигации.

2.3.3. Развитие подсистемы наблюдения

Для целей наблюдения, согласно разработанной ИКАО концепции CNS/ATM, предусматривается применение радиолокационного метода с использованием ВРЛ в режимах А/С/S и метода автоматического зависимого наблюдения (АЗН – ADS – Automatic Dependent Surveillance) .

2.3.3.1. Режим S ВОРЛ

ВРЛ будет использоваться в континентальном воздушном пространстве с высокой плотностью воздушного движения и в районах аэродромов. Предусматривается, что точность и качество информации о местоположении ВС, получаемой в режимах А/С системы УВД RBS и УВД отечественной системы ВРЛ, будут улучшены применением моноимпульсных методов обнаружения и/или использованием антенн с большим вертикальным раскрытием. Усовершенствованный ВРЛ с режимом S (Selective – Адресный) обеспечит возможность использования избирательных адресных линий

передачи данных, более надежное опознавание ВС и передачу дополнительной (полетной) информации. Это позволит существенно повысить эффективность наблюдения и безопасность полетов.

По своим функциональным возможностям все приемоответчики, работающие в режиме S, подразделяются на 5 уровней. Приемоответчики уровня I обеспечивают:

- предоставление данных опознавания в режиме A и барометрической высоты в режиме C;
- приемо - передачи по межрежимному запросу и запросу общего вызова режима S;
- адресные приемо-передачи наблюдения с передачей данных абсолютной высоты и опознавания;
- обеспечение протоколов блокировки;
- обеспечение протоколов основных данных, за исключением сообщений о возможностях линии передачи данных;
- приемо - передачи по линии связи “воздух-воздух”.

Приемоответчики уровня II дополнительно к перечисленным обеспечивают:

- * передачи сообщений стандартной длины;
- * передачи сообщений о возможностях линии передачи данных;
- * сообщение данных опознавания воздушного судна.

Приемоответчики уровня III и уровня IV расширяют возможности предыдущего уровня возможностью передачи удлиненных сообщений по каналу связи “земля-воздух” и “воздух-земля” соответственно.

Наконец, приемоответчики уровня V в дополнение к возможностям уровня IV позволяют работать с несколькими запросчиками одновременно с целью обеспечения повышенной пропускной способности.

Одна из модификаций системы режима S использует так называемый более длительный самогенерирующийся сигнал на частоте линии связи “вниз” режима S (1090 МГц), содержащий набор радиовещательных сообщений, для обеспечения функционирования ADS-B (Broadcasting - Вещание).

Для совместимости с бортовой системой предупреждения столкновений (БСПС), одобренной SARPS ИКАО в 1995 году, и системой предупреждения столкновений (TCAS II-Traffic Alert Collision Avoidance System), введенной в действие в США с 1993 года, требуется приемопередатчик режима S как минимум уровня II. Дополнительные региональные правила ИКАО (Doc 7030) предписывают использование приемопередатчиков уровня III-IV для полетов по правилам полетов по приборам, хотя современная концепция функционирования ВРЛ не оправдывает этот уровень передачи данных режима S.

В настоящее время предполагается следующее обязательное использование приемопередатчиков режима S ВОРЛ:

- для полетов по приборам (ППП) в воздушном пространстве, определенном соответствующими властями, - как минимум 2 уровня, с возможностями дискретно-адресной маячной системы DABS-Discrete Address Beacon System (для новых ВС с 1 января 2001 года и для всех ВС с 1 января 2003 года);

- для полетов по правилам визуальных полетов (ПВП), совершаемых в воздушном пространстве, в котором уже введено обязательное использование приемоответчиков вторичной радиолокации, - как минимум 2 уровня, с возможностями DABS (для новых ВС с 1 января 2003 года и для всех ВС с 1 января 2005 года).

Ввод в эксплуатацию режима S начался в Североамериканском регионе в начале 1990-х годов и в Европейском регионе с 2000 года. Эксперты ИКАО полагают, что около 2400 ВС уже имеют оборудование для использования режима S.

2.3.3.2. Автоматическое зависимое наблюдение (АЗН)

АЗН представляет собой метод наблюдения, в соответствии с которым ВС автоматически предоставляют по линии передачи данных информацию, полученную от бортовых навигационных систем и систем определения местоположения, включая опознавательный индекс ВС, данные о его местоположении в четырех измерениях и, при необходимости, дополнительные данные.

Применение АЗН, дополненное прямой связью между экипажем ВС и диспетчером УВД, позволит довести обслуживание воздушного движения в этих районах до уровня, характерного для воздушного пространства, обеспеченного радиолокационным наблюдением.

Существует адресное АЗН, называемое также контрактным АЗН-А (ADS-A), и вещательное АЗН-В (ADS-B).

При осуществлении УВД с использованием АЗН-А перед входом в соответствующее воздушное пространство должен устанавливаться контракт между бортовой и наземной автоматизированными системами. При этом данный контракт устанавливается принимающим органом УВД после завершения передачи управления, когда предыдущий орган УВД разорвет соответствующий контракт с этим ВС. Исходя из характеристик ВС, типа обслуживания, сложности и плотности воздушного движения, наземная система обработки полетных данных назначает соответствующий тип контракта по предоставлению обслуживания АЗН.

Орган УВД может установить с ВС один или несколько типов контрактов на передачу следующих сообщений:

- регулярных сообщений, согласно которому на борту ВС сообщения составляются и передаются с указанным интервалом;

- нерегулярных сообщений, согласно которому на борту ВС сообщения составляются и передаются в тех случаях, которые предусмотрены, а именно, при изменении высоты, пролете точки маршрута и т. д.;

- на передачу сообщений по запросу, согласно которому на борту ВС составляется и передается сообщение только в том случае, если поступила соответствующая команда с земли.

АЗН-В определяется ИКАО как вид применения наблюдения, при котором по линии передачи данных (ЛПД) вещательного типа через установленные интервалы времени передаются такие параметры, как местоположение, линия пути и путевая скорость для использования любым нуждающимся в них бортовым и/или наземным пользователем. Истоками концепции АЗН-В является разработка вещательных сообщений (самогенерирующихся сигналов), используемых БСПС, к которым добавлены сообщения АЗН.

Исходя из вещательного принципа передачи сообщений, АЗН-В делает возможным реализацию новых приложений, включая сбор на борту ВС и отображение на соответствующем индикаторе экипажа информации о воздушной обстановке (трафике воздушного движения) для отслеживания впереди летящего по трассе ВС с целью соблюдения заданного интервала, выявления и разрешения конфликтных ситуаций и решения других задач в соответствии с разрабатываемой концепцией бортовых систем обеспечения эшелонирования. Оборудование АЗН-В может устанавливаться не только на ВС, но и на наземных транспортных средствах для построения систем управления движением в аэропортах (SMGCS), а также на наземных препятствиях для их маркирования.

Поэтому предполагается, что АЗН-В обеспечит более эффективное использование воздушного пространства и наблюдение за наземным движением, сокращение ограничений по облачности и видимости, повышение безопасности воздушного движения посредством урегулирования конфликтных ситуаций.

В настоящее время АЗН-В разработано только для применения в пределах прямой видимости. Группы экспертов осуществляют оценку технологий и апробацию соответствующих SARPS на основе использования более длительного самогенерирующегося сигнала режима S на частоте 1090 МГц и VDL режима 4. Начата разработка SARPS для третьей технологии АЗН-В, основанной на использовании приемопередатчика универсального доступа, выбранной США в качестве дополнительной к 1090 МГц.

По-видимому, в течение достаточно длительного периода времени будет использоваться как АЗН-А, так и АЗН-В. При этом АЗН-А будет применяться для ОВД главным образом в океанических и континентальных районах с относительно низкой интенсивностью воздушного движения и слабо развитой инфраструктурой объектов наблюдения и связи в соответствии с технологией комплекта оборудования FANS-1 (FANS-A), основанной на стандарте ARINC

622. Передача данных будет осуществляться по каналам спутниковой и, где возможно, ОВЧ связи. В настоящее время в ряде регионов проводятся эксплуатационные испытания таких систем.

Применения АЗН-В следует ожидать в континентальном воздушном пространстве со средней и высокой интенсивностью воздушного движения, а также районах аэродромов. В настоящее время в Европе, США, Австралии и ряде других стран реализуются проекты, направленные на изучение технических, эксплуатационных и процедурных аспектов внедрения АЗН-В.

Более подробно особенности реализации АЗН рассмотрены в разделе 7.

2.3.4. Совершенствование ОрВД

Описанное выше развитие подсистем связи, навигации и наблюдения будет использоваться для совершенствования ОрВД. Основная цель и функции ОрВД, включающие ОВД, ОПВД и ОВП, остаются без изменений. Однако глобальный масштаб применения новых систем CNS позволяет лучше согласовать и интегрировать деятельность существующих служб в целях обеспечения непрерывного обслуживания пользователей с момента начала движения ВС перед взлетом до полной его остановки после посадки.

В будущей ОрВД широкое применение найдет автоматизация для снижения или исключения ограничений, накладываемых на функции ОрВД существующими системами. Обеспечиваемая новыми системами CNS гибкость позволит внедрять средства автоматизации от самых простейших до наиболее совершенных, исходя из индивидуальных потребностей государств, но согласованных в глобальном масштабе. Предполагается, что по мере появления новых возможностей CNS и повышения уровня автоматизации бортовых и наземных систем организация воздушного движения будет совершенствоваться.

В этой связи ожидается, что автоматизация ОрВД сыграет определяющую роль для достижения следующих целей:

- поддерживать или повысить существующий уровень безопасности воздушного движения;
- обслуживать все типы ВС с установленным на них бортовым оборудованием;
- обеспечивать увеличение пропускной способности системы и оптимальное использование имеющихся ресурсов пропускной способности в целях удовлетворения потребностей воздушного движения;
- улучшить обеспечение пользователей необходимой информацией, в том числе о метеорологических условиях, воздушной обстановке и наличии соответствующих средств;
- обеспечить пользователю возможность на динамической основе выбирать наиболее предпочтительные трехмерные и четырехмерные траектории полета;

- обеспечить более активное участие пользователя в принятии связанных с ОрВД решений, включая диалоговый режим работы компьютеров по каналам связи “воздух - земля” при обсуждении плана полета;

- в максимально возможной мере способствовать созданию единого непрерывного воздушного пространства, чтобы пользователь не испытывал никаких затруднений при пересечении границ.

Из достаточно обширного перечня реализуемых мероприятий по совершенствованию ОрВД, проводимых в различных регионах, отметим, как наиболее значимые, концепцию гибкого использования воздушного пространства, сокращение минимума вертикального эшелонирования и программу по созданию интегрированной Европейской системы организации воздушного движения.

В заключение данного раздела отметим, что в целях обеспечения общего подхода для рассмотрения вопросов разработки, производства и внедрения систем в рамках общей концепции CNS/ATM вводят три подконцепции. Указанные подконцепции включают в себя ориентированную на человека автоматизацию, ситуативную осведомленность и контроль за ошибками.

Принципы ориентированной на человека автоматизации формулируются следующим образом:

- -пилот несет ответственность за безопасность полета;
- -диспетчеры УВД несут ответственность за обеспечение соблюдения норм эшелонирования ВС и безопасность воздушного потока.

Элементы ситуативной осведомленности применительно в целом к системе УВД связаны с ситуативной осведомленностью диспетчера через следующие факторы: личные факторы, метеоусловия, инфраструктура аэропортов, индивидуальные различия, воздушное движение, окружающая среда, навигационные средства, характеристики полета ВС, оборудование, соседние органы УВД.

Отсюда вытекает, что ситуативная осведомленность в контексте УВД включает в себя большее количество информации, чем только значение информации о местоположении всех ВС в данный момент времени. Учет всех перечисленных выше факторов может осуществляться подсознательно или сознательно, и в той или иной ситуации некоторые указанные факторы могут играть более важную роль, чем в другой.

Принцип контроля за ошибками в настоящее время заключается в том, что основное внимание должно переключаться с задачи устранения ошибок на задачу предотвращения ошибок и контроля за ними. Ошибка человека рассматривается как неизбежный компонент его деятельности, поэтому в сложных социотехнических системах данный фактор должен быть учтен в самих системах. В свою очередь, контроль за ошибками включает два компонента: уменьшение числа ошибок и смягчение последствий ошибок.

Таким образом, внедрение новых средств CNS в рамках реализации концепции CNS/ATM должно в полной мере использовать возможности этих

систем на основе согласованных на международном уровне стандартов и процедур для того, чтобы эксплуатанты ВС могли выполнять полеты по предпочтительным (оптимальным по заданным критериям) траекториям, с динамической их корректировкой по мере необходимости.

3. Принципы навигационных измерений с помощью ИСЗ

Для того чтобы определить координаты ВС с помощью ИСЗ, необходимо выполнить два условия: должны быть известны координаты и параметры движения ИСЗ относительно Земли, который играет в навигационном смысле роль опорной радионавигационной точки (РНТ), и необходимо измерить не менее трех параметров ВС относительно ИСЗ.

Точность определения местоположения ВС зависит от точности знания координат ИСЗ, от точности проведенных измерений, а также от расположения спутников в пространстве. При глобальной зоне действия навигационной системы необходимо иметь созвездие спутников, из которых в процессе навигационных измерений можно было бы выбирать наиболее подходящие. Кроме того, сигналы, посылаемые спутниками, должны содержать эфемериды, которыми называют предварительно вычисленные значения координат и скоростей ИСЗ. С помощью наземных станций слежения их необходимо измерять, вычислять и прогнозировать, а затем передавать на ИСЗ и регулярно обновлять.

Таким образом, СРНС состоит из средств развертывания и восполнения системы, созвездия навигационных спутников, сети наземных станций контроля и слежения, центра управления и потребителей, имеющих соответствующую навигационную аппаратуру (рис.3).

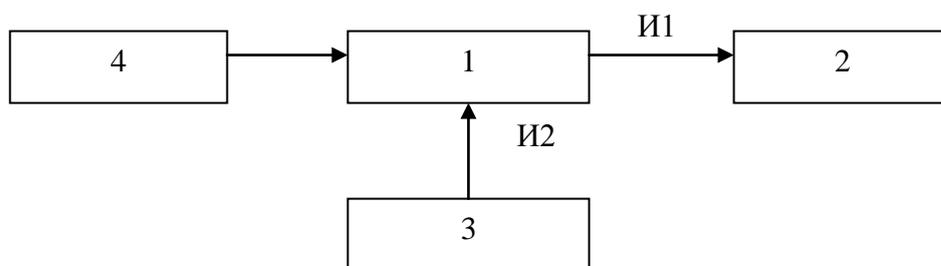


Рис. 3. Состав СРНС:

1 - орбитальная группировка ИСЗ; 2 – навигационная аппаратура потребителей;
3 – наземные средства; 4 – средства развертывания и восполнения системы; И1 –
навигационные радиосигналы; И2 – управление ИСЗ, контроль его состояния,
эфемеридное, частотное и временное обеспечение

Наиболее точными методами определения координат являются методы, основанные на измерениях дальностей: дальномерный, псевдодальномерный, разностно-дальномерный.

В спутниковых системах так же применяют доплеровский метод измерения скорости с последующим вычислением угловых координат. Рассмотрим более подробно дальномерный метод.

Для реализации дальномерного метода необходимо знать начало отсчета. В большинстве радиотехнических систем измерительная аппаратура посылает сигнал запроса и получает ответ, по времени задержки которого определяется дальность (активный режим работы).

В спутниковых системах навигации более широкое применение получил беззапросный метод измерения дальности (пассивный режим работы). Для его реализации на Земле, на борту ИСЗ и ВС устанавливают высокостабильные генераторы эталонной частоты, по которым формируют согласованные между собой сигналы времени, привязанные к системе единого времени.

Положение ВС определяют по результатам дальномерных измерений. Измеряют дальности до трех ИСЗ и составляют три уравнения в прямоугольных координатах:

$$(x_i - x_{BC})^2 + (y_i - y_{BC})^2 + (z_i - z_{BC})^2 = r_i^2, \quad (1)$$

где x_{BC}, y_{BC}, z_{BC} – координаты ВС;

x_i, y_i, z_i – координаты i -го ИСЗ, $i = 1, 2, 3$;

r_i – расстояние между ВС и i -м ИСЗ, измеренное радионавигационными системами.

Решив систему уравнений (1) (три уравнения с тремя неизвестными x_{BC}, y_{BC}, z_{BC}), находим координаты ВС. При этом никаких дополнительных данных о местонахождении знать не надо. При псевдодальномерном методе измерений, для которого справедливы уравнения (1), имеются расхождения шкал часов на ВС и ИСЗ, в результате чего при определении временных интервалов между моментами излучения сигналов с борта ИСЗ и моментом их приема на ВС возникают систематические ошибки. Поэтому измеряемые дальности (псевдодальности) будут отличаться от истинных на величину, пропорциональную Δt , где Δt – расхождение шкал времени на борту ВС и ИСЗ. Это показано на рис.4.

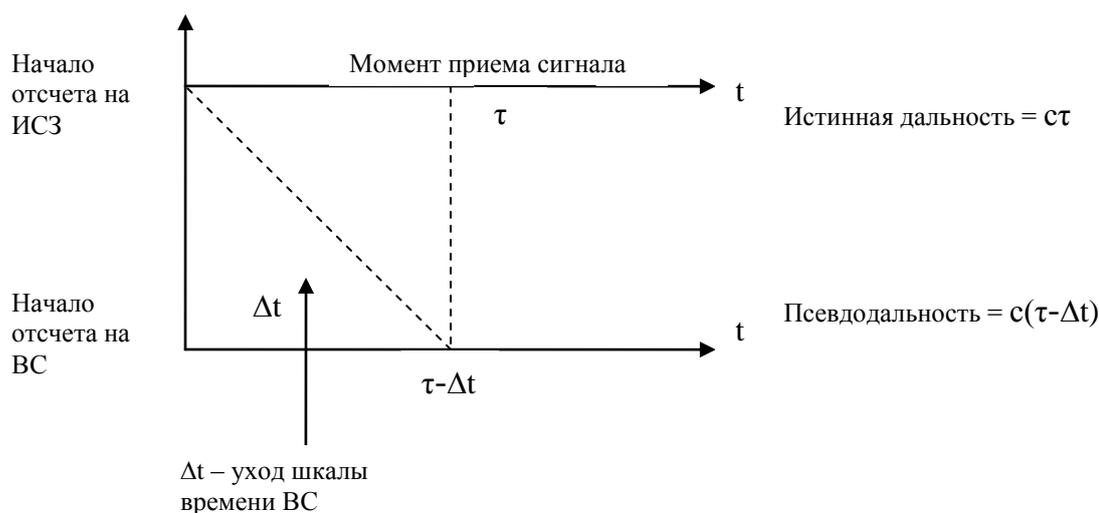


Рис. 4. К понятию псевдодальности

При реализации псевдодальномерного метода на борту ВС необходимо иметь информацию о поправке к бортовой шкале времени. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Как отмечено выше, решая систему уравнений (1), находим координаты ВС, однако на борту ВС всегда приблизительно известно местоположение ВС на основании данных о счислимых координатах x_c , y_c , z_c . Тогда достаточно вычислить линейные приращения к ним Δx , Δy и Δz , чтобы получить действительные значения координат:

$$x_{bc} = x_c + \Delta x; y_c = y_c + \Delta y; z_{bc} = z_c + \Delta z. \quad (2)$$

Соответственно $r_i = r_c + \Delta r_i$. Подставим (2) в (1) и получим

$$(x_i - x_c - \Delta x)^2 + (y_i - y_c - \Delta y)^2 + (z_i - z_c - \Delta z)^2 = (r_{ci} + \Delta r_i)^2.$$

Раскроем квадратные члены и перегруппируем составляющие в левой части уравнения

$$(x_i - x_c)^2 - 2(x_i - x_c)\Delta x + (\Delta x)^2 + (y_i - y_c)^2 - 2(y_i - y_c)\Delta y + (\Delta y)^2 + (z_i - z_c)^2 - 2(z_i - z_c)\Delta z + (\Delta z)^2.$$

Пренебрегая членами второго порядка малости и учитывая, что

$$(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 + (z_i - z_c)^2 = r_{ci}^2,$$

получим $(x_c - x_i)\Delta x + (y_c - y_i)\Delta y + (z_c - z_i)\Delta z = r_{ci} \Delta r_i$.

Введем обозначения $m_i = (x_c - x_i)/r_{ci}$; $n_i = (y_c - y_i)/r_{ci}$; $k_i = (z_c - z_i)/r_{ci}$ и окончательно получим

$$m_i \Delta x + n_i \Delta y + k_i \Delta z = \Delta r_i. \quad (3)$$

С помощью системы уравнений (3), как и ранее, можно получить координаты ВС, но, так как в уравнения в неявном виде вошла погрешность счисленных координат

$$\Delta r = (\Delta x_c^2 + \Delta y_c^2 + \Delta z_c^2)^{1/2},$$

связанная с неточностью бортовых часов, необходимо иметь еще одно уравнение с псевдодальностью от четвертого ИСЗ. Решая такую расширенную систему уравнений, определяют не только положение ВС, но и находят указанную выше поправку к бортовой шкале времени.

Оценка точности определения местоположения ВС псевдодальномерным методом может быть выполнена, если использовать уравнения (3), но иначе трактовать входящие в него величины. Пусть Δx , Δy , Δz – погрешности определения местоположения; x_c , y_c , z_c – координаты ВС, вычисленные в

результате решения уравнений (1), Δr_i – погрешности измеренных значений дальности; $m_i = \cos\alpha_i$ – азимуты ИСЗ относительно ВС; $n_i = \cos\beta_i$ – углы места ИСЗ относительно ВС; $k_i = \cos\gamma_i$ – высоты ИСЗ.

Тогда, принимая, что высоты известны точно, требуется определить только погрешности Δx и Δy . Система уравнений (3) имеет вид:

$$m_1\Delta x + n_1\Delta y = \Delta r_1; \quad m_2\Delta x + n_2\Delta y = \Delta r_2.$$

Отсюда

$$\Delta x = (n_2\Delta r_1 - n_1\Delta r_2)/(m_1n_2 - m_2n_1); \quad \Delta y = (m_1\Delta r_2 - m_2\Delta r_1)/(m_1n_2 - m_2n_1). \quad (4)$$

Следовательно, погрешности измерения Δx и Δy тем меньше, чем больше знаменатель приведенных выражений при условии, что $\Delta r_1 = \Delta r_2$.

Переходя к азимутам и углам места ИСЗ относительно ВС, можем записать:

$$m_1 n_2 - m_2 n_1 = \cos\beta_1 \cdot \cos\beta_2 \cdot \sin(\alpha_2 - \alpha_1).$$

Отсюда видно, что наибольшая точность измерений соответствует расположению ИСЗ на горизонте: $\beta_1 = \beta_2 = 0$ и под прямым углом - $\alpha_2 - \alpha_1 = 90^\circ$.

Таким образом, при навигационных измерениях важно не только число спутников (не менее 4-х), но и как они расположены относительно ВС. Поэтому часто указывают на то, что при определении координат конкретного ВС, находящегося в конкретном районе, следует выбирать созвездие ИСЗ, обеспечивающих максимальную точность определения местоположения ВС. Коэффициент, характеризующий расположение созвездия ИСЗ, называется геометрическим фактором.

4. Спутниковая радионавигационная система GPS

СРНС GPS предназначена для определения координат и скорости ВС. Она также обеспечивает точную синхронизацию часов всех потребителей. В системе используется псевдодальномерный метод измерений. Аппаратура пользователя работает в пассивном режиме.

СРНС GPS состоит из космической части и аппаратуры множества потребителей. В космическую часть входит сеть спутников и командно-измерительный комплекс (КИК).

После полного развертывания система имеет 24 космических аппарата (КА), равномерно расположенных на трех круговых орбитах с углом наклона 63° . Период обращения КА 12 ч, высота полета над поверхностью Земли 20183 км. При такой конфигурации орбит в каждой точке земного шара в среднем видны 9 КА и как минимум 6 КА и, таким образом, всегда можно выбрать четыре наилучшим образом расположенных КА, о чем говорилось в

предыдущем разделе. КИК имеет в своем составе четыре контрольные станции (КС), корректирующую и главную станции управления (ГСУ).

КС следят за КА, определяют их координаты, регистрируют условия прохождения радиоволн по трассе. Эти данные передаются на ГСУ, где производится статистическая обработка данных, вычисляются и прогнозируются эфемериды КА с учетом влияния Солнца, Луны и аномалий гравитационного поля Земли. Здесь же определяются поправки к бортовым часам системы GPS и привязывается шкала времени GPS к универсальному координированному времени (UTC – Universal Coordinated Time), поддерживаемому обсерваторией ВМФ США. За нулевой момент времени принята полночь с 5 на 6 января 1980г. Наибольшей единицей является неделя, определяемая как 604800с.

Навигационное сообщение содержит информацию, позволяющую привязать шкалу GPS к шкале времени UTC со средней квадратической погрешностью 90 нс. При обработке сообщений учитываются релятивистские поправки, а также рассчитывают поправки на прохождение радиоволн через ионосферу и тропосферу с учетом их текущего состояния. Далее вся эта информация через корректирующую станцию передается на КА и вводится в его бортовую ЭВМ для формирования навигационных данных, предназначенных потребителям.

Связь между КА и ВС осуществляется по двум радиопередающим линиям на частотах $L_1=1575,42$ МГц, $L_2=1227,6$ МГц.

КА, составляющие космическую подсистему, обеспечивают потребителю возможность приема в каждой точке земной поверхности дальномерных кодов и системных данных, необходимых для проведения навигационных расчетов.

Несущие частоты модулируются двумя двоичными последовательностями, каждая из которых образована путем суммирования по модулю 2 псевдослучайного дальномерного кода и передаваемых системных данных, называемых навигационной информацией.

Передают три дальномерных кода: точный P-код, который является основным навигационным кодом; Y-код, используемый вместо P-кода, когда надо исключить возможность несанкционированного использования P-кода; C/A-код (код Голда) грубого поиска, который используют для обнаружения P или Y кода. Здесь применено кодовое разделение радиосигналов, т.е. все КА используют одни и те же несущие частоты, но каждый имеет свои коды, свойства которых позволяют надежно (с заданной вероятностью) разделять сигналы различных КА между собой.

Несущая частота L_1 состоит из двух компонент, которые находятся по фазе в квадратуре друг к другу (сдвинуты на $\pi/2$) для удобства из разделения. Первая – модулируется двумя двоичными последовательностями (дальномерный псевдослучайный P-код и информационная последовательность линии передачи данных), складывающимися по модулю 2. Вторая – также модулируется двумя последовательностями (дальномерный псевдослучайный

С/А-код и информационная последовательность), складывающимися по модулю 2.

Несущая частота L2 имеет одну компоненту и модулируется двумя двоичными последовательностями (как правило, дальномерный и псевдослучайный P-код или С/А – код и информационная последовательность линии передачи данных), складывающимися по модулю 2. Здесь также предусмотрен режим использования только Y-кода, когда информационная последовательность вообще не передается. Во всех случаях скорость передачи данных информационных последовательностей составляет 50 бит/с, а также во всех случаях для модуляции несущих колебаний используется 4-фазная фазовая манипуляция.

Обратим внимание, что код С/А (Clear(Coarse))/ Acquisition –простой (грубый) поиск) используется для первичного «грубого» поиска сигнала с последующим переходом в стационарный режим отслеживания этого сигнала и с дальнейшим переходом к слежению уже за P-кодом – основным.

Тактовая частота для P- и Y-кодов составляет 10,23 МГц, а для С/А-кода – 1,023 МГц. Таким образом, сигналы GPS занимают в L – диапазоне две полосы частот шириной по 20,46 МГц, в центре которых находятся частоты L1 и L2. Эти частоты когерентно порождены на КА одним генератором и на Земле частота этого генератора должна иметь величину 10,23 МГц.

Навигационные данные включают в себя: эфемериды КА, системное время, характеристики шкалы времени КА, сообщения о состоянии КА, параметры ионосферной модели и т.д.

Навигационный спутник излучает сигнал такой мощности, что при наихудших для потребителя условиях уровень принимаемого сигнала должен быть в пределах 100-166 дБВт в зависимости от передаваемых кодов.

Наихудшими условиями считаются:

- прием правокруговых поляризационных сигналов, излучаемых КА, на линейно поляризованную антенну, что приводит к потерям мощности сигнала на 3 дБ;
- расположение КА на угле возвышения 5° и более;
- потери мощности сигнала при распространении радиоволн в атмосфере до 2 дБ;
- неудачная ориентация антенны КА в пределах $0,5^\circ$ в сторону от максимума диаграммы направленности.

На практике получается прием более мощного сигнала, достигающего до (153-158) дБВт, при потерях мощности сигнала в атмосфере, равных 0,6 дБ, при ориентации антенны КА по максимуму диаграммы направленности и т.д.

Бортовое оборудование ВС принимает сигналы от КА, демодулирует их, декодирует, а затем определяет координаты и скорость ВС.

Основные принципы навигационных определений в системе GPS характеризуются рис. 5.

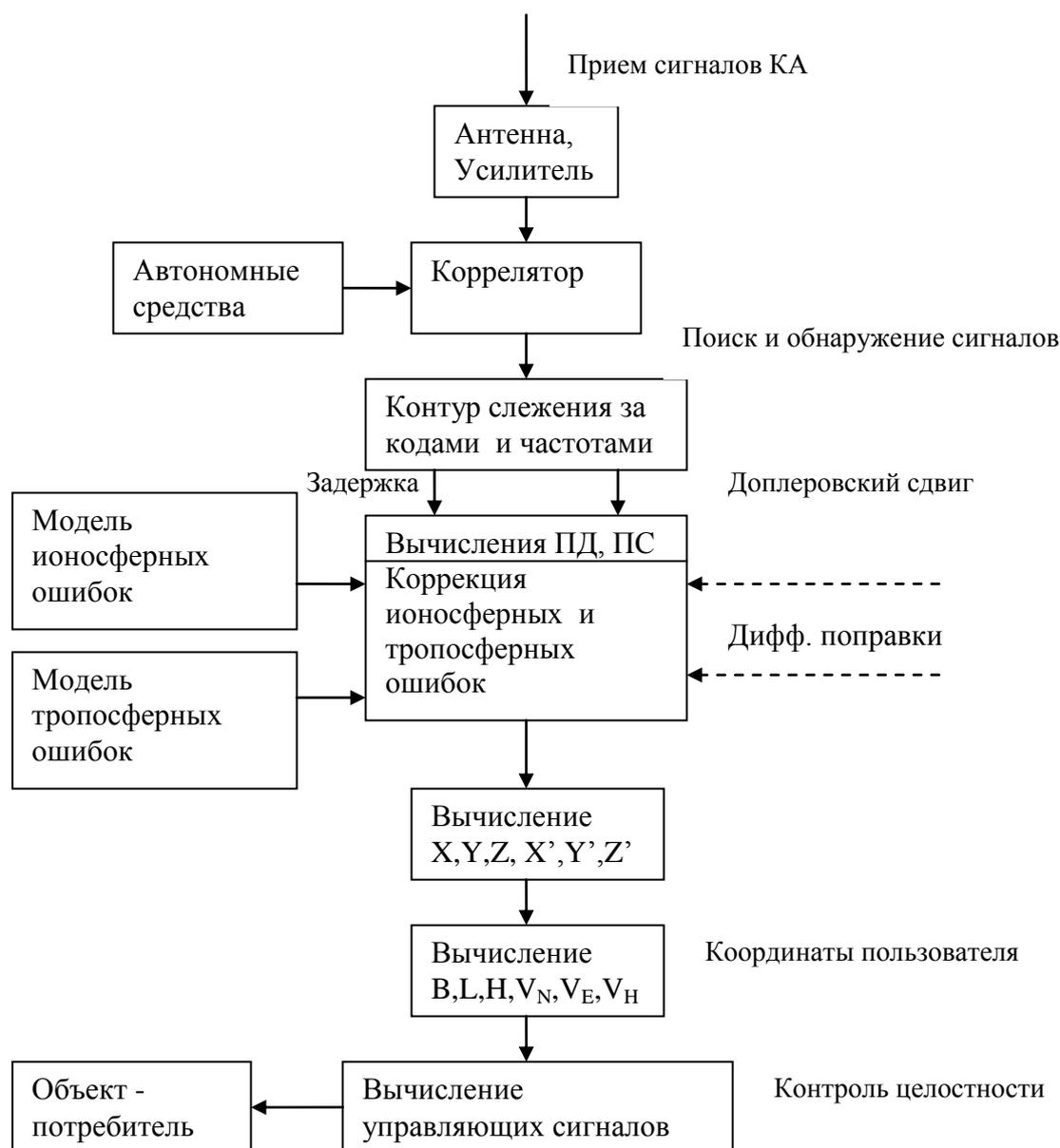


Рис. 5. Принципы навигационных определений

Антенна и усилитель осуществляют прием сигналов КА и выделяют модулирующие сигналы, которые в корреляторе сравниваются с имеющимися копиями для поиска требуемого сигнала по C/A-коду с последующим переходом в режим слежения за информационным P-кодом для вычисления псевдодальностей (ПД) и псевдоскоростей (ПС) по слежению за изменениями частоты из-за эффекта Доплера. Псевдодальности рассчитываются по временным задержкам прохождения сигналов синхронизированных между собой КА по трассам «КА-ВС». Задержки измеряются в результате сопоставления принятых псевдослучайных кодов и генерируемых в приемнике копий этих кодов с учетом априори известных моментов излучения сигналов

КА. Предварительно производится коррекция ПД за счет компенсации эффекта вращения Земли, тропосферных и ионосферных погрешностей, модели которых известны заранее. Вычисляются прямоугольные координаты определяющегося ВС в геоцентрической системе координат X, Y, Z по соотношениям, приведенным выше.

Составляющие скорости ВС X', Y', Z' определяются посредством решения аналогичных нелинейных уравнений для ПС, определяемых по измерениям доплеровских сдвигов несущих частот сигналов КА, вызываемых движением ВС и КА.

Найденные в ходе навигационных определений прямоугольные геоцентрические координаты X, Y, Z должны быть преобразованы в координаты, обычно используемые на ВС при выполнении своих задач. Такими координатами чаще всего являются геодезические координаты: B – широта, L – долгота, H – высота над уровнем эллипсоида Земли. Соответствующие преобразования хорошо известны и проводятся в аппаратуре потребителя автоматически.

После нахождения B, L, H становится известной матрица перехода из геоцентрической системы координат в прямоугольную горизонтальную, что позволяет осуществить преобразование составляющих скорости движения ВС из X', Y', Z' в V_N, V_E, V_H .

Численные значения составляющих погрешности либо известны заранее, либо содержатся в навигационном сообщении. Одновременный прием сигнала на частотах $L1$ и $L2$, например, позволяет провести коррекцию ионосферной погрешности:

$$R = (R_1 - R_2) / (1 - \gamma),$$

где R_1, R_2 – псевдодальности, измеренные на частотах $L1$ и $L2$ соответственно;

γ – поправочный коэффициент, равный квадрату отношения частот $L1$ и $L2$.

Если приемная аппаратура ВС принимает сигнал на одной из частот $L1$ или $L2$, то в этом случае есть возможность уменьшить ионосферную погрешность, используя модель ионосферы, содержащуюся в навигационном сообщении.

Средняя квадратическая погрешность измерения координат ВС, обусловленная всей совокупностью причин, для 90% времени измерений составляет 10м, а для 50% времени – менее 5м.

Важнейшее свойство навигационной системы – целостность, определяемая как способность системы самостоятельно обнаруживать и указывать неисправности в процессе своей работы с целью извещения пользователя о том, что система не работает в пределах установленных ограничений. Целостность GPS обеспечивается передачей с КА в составе

навигационного сообщения группы признаков, характеризующих качество работы аппаратуры КА и достоверность передаваемых сообщений (рис.5).

5. Спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС

СРНС ГЛОНАСС является отечественной системой, предназначенной для определения местоположения и скорости ВС.

Приемоиндикаторной аппаратурой потребителей ГЛОНАСС производятся измерения радионавигационных параметров ПД и радиальной ПС до четырех спутников системы одновременно или последовательно в зависимости от канальности аппаратуры. Режим работы пользователя пассивный. По результатам измерений с учетом идущей в составе каждого навигационного сигнала цифровой информации производится определение координат ВС и составляющих его вектора скорости, а также привязка временной шкалы ВС к единой шкале времени системы ГЛОНАСС. Цифровая информация характеризует положение спутника в пространстве и во времени относительно единой для системы шкалы времени.

Спутники системы ГЛОНАСС расположены на орбитах, близких к круговым, период обращения спутников 11ч 15мин., высота 19100 км, наклонение $64,8^\circ$. В полностью развернутой системе 24 спутника (из них три резервных) располагаются в трех плоскостях, по 7-8 спутников в орбитальной плоскости. Плоскости орбит распределены в плоскости экватора через 120° .

В системе ГЛОНАСС каждый штатный КА постоянно излучает псевдослучайные непрерывные навигационные радиосигналы в двух диапазонах частот 1600 МГц(L1) и 1250 МГц(L2). Как указывалось выше, навигационные измерения в двух диапазонах частот позволяют исключить ионосферные погрешности измерений.

Каждый КА имеет цезиевый атомный стандарт частоты, используемый для формирования бортовой шкалы времени и навигационных радиосигналов 1600 МГц и 1250 МГц.

Навигационный L1 радиосигнал 1600 МГц – двухкомпонентный. На заданной несущей частоте в радиопередатчике формируется два одинаковых по мощности псевдослучайных фазоманипулированных навигационных радиосигнала «в квадратуре» (взаимный сдвиг по фазе составляет $\pm 90^\circ$): узкополосный (стандартной точности, СТ) и широкополосный (высокой точности, ВТ).

Узкополосный навигационный радиосигнал 1600 МГц образуется посредством манипуляции фазы несущего колебания на 180° с помощью модулирующей псевдослучайной последовательности (ПСП)1, которая образуется сложением по модулю 2 трех двоичных сигналов:

- ПСП дальномерного кода, передаваемого со скоростью 511 кбит/с;
- сигналов цифровой информации навигационного сообщения, передаваемого со скоростью 50 бит/с;

- меандрового колебания, передаваемого со скоростью 100 бит/с.

Процесс формирования модулирующей последовательности ПСП1 показан на рис.6.

ПСП дальномерного кода (ПСПД) представляет собой ПСП максимальной длины регистра сдвига с периодом повторения 1 мс. Она снимается с 7-го разряда 9-разрядного регистра, т.е. ее образующий полином имеет вид:

$$G_g(x) = 1 + x^5 + x^9.$$

Информация навигационного сообщения формируется в виде непрерывно следующих строк длительностью 2 с. В каждой двухсекундной строке на интервале времени 1,7 с передается 85 двоичных символов цифровой информации длительностью 20 мс, перемноженных на меандр, имеющий длительность символов 10 мс. Метка времени (МВ) имеет длительность 0,3 с и передается в конце каждого двухсекундного интервала времени (в конце четных секунд).

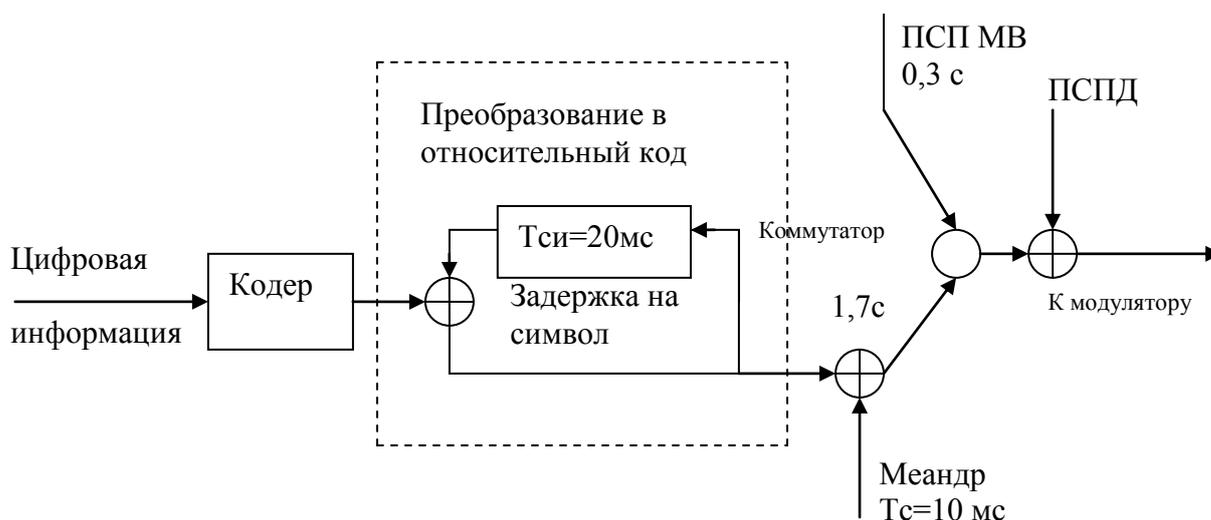


Рис. 6. Формирование модулирующей последовательности ПСП1

Метка времени содержит 30 двоичных символов длительностью 10 мс и представляет собой укороченную на 1 символ 31-символьную ПСП с образующим полиномом:

$$G_B = 1 + x^3 + x^5.$$

Границы символов меандра, МВ и цифровой информации когерентны. В приемнике с помощью принятых сигналов меандра осуществляется символьная (тактовая) синхронизация для МВ и с ее помощью – строчная и символьная синхронизация цифровой информации.

Широкополосный навигационный сигнал 1600 МГц образуется посредством манипуляции фазы несущего колебания на 180° периодической

двоичной последовательностью ПСП2 с тактовой частотой $F_2 = 5,11$ МГц. Путем инвертирования ПСП2 передаются двоичные символы цифровой информации длительностью 20 мс.

Навигационный L2 радиосигнал 1250 МГц, излучаемый КА первой модификации – однокомпонентный широкополосный псевдослучайный радиосигнал, образуемый посредством манипуляции фазы несущего колебания на 180° периодической двоичной ПСП без инвертирования, т.е. без передачи цифровой информации. Навигационный L2 радиосигнал 1250 МГц, излучаемый КА второй модификации, содержит два одинаковых по мощности псевдослучайных радиосигнала 1250 МГц в квадратуре:

1) узкополосный навигационный радиосигнал 1250 МГц с ПСП1 ($F_1=0,511$ МГц, $T_1=1$ мс);

2) широкополосный навигационный радиосигнал 1250 МГц с ПСП2 ($F_2=5,11$ МГц) без цифровой информации.

Поскольку частота инвертирования ПСП много меньше ее тактовой частоты, то ширина основного «лепестка» огибающей спектра мощности псевдослучайного фазоманипулированного навигационного радиосигнала равна двойному значению тактовой частоты ПСП. Следовательно, ширина основного «лепестка» огибающей спектра мощности узкополосного навигационного радиосигнала равна 1,022 МГц, широкополосного – 10,22 МГц.

Таким образом для номинальных значений несущих частот навигационных радиосигналов в двух диапазонах частот – верхнем (L_1) 1600 МГц (индекс 1) и нижнем (L_2) 1250 МГц (индекс 2) имеем следующее:

$$f_{1k} = f_{10} + k\Delta f_1; f_{10} = 1602,0000 \text{ МГц}, \Delta f_1 = 0,5625 \text{ МГц};$$

$$f_{2k} = f_{20} + k\Delta f_2; f_{20} = 1246,0000 \text{ МГц}, \Delta f_2 = 0,4375 \text{ МГц};$$

$$f_{1k} / f_{2k} = 9/7, k = 1-24,$$

где k – условный порядковый номер пары несущих частот f_{1k} и f_{2k} для навигационных сигналов 1600 МГц и 1250 МГц.

Приведем значения крайних несущих частот:

$$f_{1,2} = 1602,5625 \text{ МГц}; f_{1,24} = 1615,5000 \text{ МГц}; f_{2,1} = 1246,4375 \text{ МГц};$$

$$f_{2,24} = 1256,5000 \text{ МГц}.$$

Рабочие спектры навигационных радиосигналов на несущих частотах с номерами $k = 1-24$ занимают полосы частот:

а) узкополосные навигационные радиосигналы 1602,0 – 1616,0 МГц;

б) широкополосные навигационные радиосигналы 1597,4 – 1620,6 МГц; 1241,3 – 1261 МГц.

Широкополосные навигационные радиосигналы в системе ГЛОНАСС предназначены для использования санкционированными потребителями и имеют защиту от несанкционированного использования.

Узкополосный навигационный радиосигнал в системе ГЛОНАСС является открытым и предназначен для гражданских потребителей. Но в отличие от системы GPS параметры этого сигнала не искажаются с помощью процедуры селективного доступа.

Характеристики радиолинии для потребителя с изотропной антенной приведены в табл. 5.

Таблица 5

Эффективная изотропная мощность излучаемого сигнала спутника: по оси диаграммы передающей антенны, дБВт	25
В углах связи $\pm 15^\circ$, дБВт	27
Полоса частот сигналов 24 спутников, МГц	$(1602,5625 - 1615,5) \pm 0,511$
Потери на пути распространения, дБ	-184
Затухание в атмосфере, не более, дБ	-2
Поляризация излучаемых сигналов	круговая правосторонняя
Мощность принимаемого сигнала P_c , дБВт	156 – 161
Плотность мощности шума на входе приемника N_0 , дБ (Вт/Гц)	200
Энергетический потенциал радиолинии P_c/N_0 , дБ Гц	39 – 44
Отношение сигнал/шум в символе E/N_0 , дБ	22 – 27

Навигационное сообщение передается в виде потока цифровой информации (ЦИ), закодированной кодом Хемминга и преобразованной в относительный код. Скорость передачи ЦИ составляет 50 бит/с. Структура ЦИ сформирована в виде навигационных суперкадров длительностью 2,5 мин. Суперкадр состоит из пяти кадров по 30 с и каждый кадр содержит 15 строк. Каждая строка содержит символы ЦИ и МВ. Длительность строки 2с, из них 0,3 с в конце строки занимает МВ в виде усеченной ПСП из 30 символов. Остальная часть строки (1,7 с) содержит 85 символов ЦИ, передаваемой с частотой 50 Гц.

По содержанию навигационное сообщение, передаваемое каждым спутником, включает оперативную и неоперативную информацию. Оперативная информация относится к спутнику, с которого она передается и содержит МВ спутника, сдвиг шкалы времени спутника относительно шкалы времени системы, относительное отличие несущей частоты излучаемого сигнала от опорной частоты центрального хранителя времени, а также эфемериды ИСЗ: три координаты, три составляющих скорости и три составляющих ускорения, обусловленные притяжением Луны и Солнца на определенный момент времени. В неоперативную информацию входит альманах системы, состоящей из сведений обо всех 24 спутниках системы, грубых значений сдвигов шкалы времени каждого спутника относительно шкалы времени системы, поправки к шкале времени системы относительно шкалы ИТС, параметры орбит спутников.

Сообщение о неисправности данного спутника попадает в состав оперативной информации сразу же после ее обнаружения, а в состав неоперативной информации через 16 ч после обнаружения неисправности.

Погрешность передачи поправок на расхождение шкалы времени системы относительно шкалы ИТС составляет не более 1 мкс. Погрешность привязки системного времени к всемирному гринвичскому составляет не более 5 мс.

Погрешность определения координат с вероятностью 0,997 составляет: по координатам в плане 60 м, по высоте 75 м, по составляющим вектора скорости 0,15 м/с. Точностные характеристики системы существенно улучшаются, если используется дифференциальный режим организации работы пользователя, особенности которого рассматриваются ниже.

Опишем более подробно наземный сегмент системы ГЛОНАСС, как элемент в наибольшей степени влияющий на выполнение функций УВД.

Наземный сегмент представляет собой наземный комплекс управления (НКУ) орбитальной группировкой КА и выполняет четыре группы задач:

- 1) эфемеридное и частотно-временное обеспечение КА;
- 2) мониторинг радионавигационного поля;
- 3) радиотелеметрический мониторинг КА;
- 4) командное и программное радиоуправление функционированием КА.

НКУ содержит следующие взаимосвязанные стационарные элементы : центр управления системой (ЦУС); центральный синхронизатор (ЦС); командную станцию слежения (КСС); контрольные станции (КС); систему контроля фаз (СКФ); квантово-оптические станции (КОС); аппаратуру контроля поля (АКП).

Указанные элементы размещены на территории России вблизи следующих географических пунктов (городов): Санкт-Петербург (КСС-9); Краснознаменск Московской области (ЦУС); Щелково Московской области (КС, СКФ, ЦС, АКП); Воркута (КСС-18); Енисейск (КСС-4); Улан-Удэ (КСС-13); Якутск (КСС-17); Комсомольск-на-Амуре (КОС, КСС-20, АКП); Петропавловск-Камчатский (КСС-6).

НКУ выполняет следующие функции:

- проведение траекторных измерений для определения, прогнозирования и непрерывного уточнения параметров орбит всех спутников;
- временные измерения для определения расхождения бортовых шкал времени всех КА с системной шкалой времени системы, синхронизация бортовой шкалы времени (БШВ) каждого КА с временной шкалой ЦС и службы единого времени (СЕВ) путем фазирования и коррекции БШВ;
- формирование массива служебной информации (навигационных сообщений), содержащего спрогнозированные эфемериды, альманах и поправки к БШВ каждого КА и другие данные, необходимые для формирования навигационных кадров;

- передача (закладка) массива служебной информации в память бортовой ЭВМ каждого КА и контроль за его прохождением;
- контроль по телеметрическим каналам за работой бортовых систем КА и диагностика их состояния;
- контроль информации в навигационных сообщениях КА, прием сигнала вызова НКУ;
- управление полетом спутников и работой их бортовых систем путем выдачи команд управления и передачи на борт прохождения этих данных;
- контроль характеристик навигационного поля;
- определения сдвига фазы дальномерного навигационного сигнала КА по отношению к фазе сигнала ЦС;
- планирование работы всех технических средств НКУ, автоматизированная обработка и передача данных между элементами НКУ.

Первые две группы задач непосредственно связаны с обеспечением определенного уровня точности навигационных радиосигналов в системе ГЛОНАСС.

Эфемеридное обеспечение (ЭО) КА означает: определение и прогноз параметров движения КА, и "закладку" на борт КА эфемеридной информации (ЭИ) для кадров ЦИ в навигационных радиосигналах.

Частотно-временное обеспечение (ЧВО) КА означает определение и прогноз БШВ относительно ШВ системы и "закладку" на борт КА частотно-временных поправок (ЧВП) к БШВ, помещаемых в кадры ЦИ в навигационных радиосигналах.

В наземных комплексах управления системы ГЛОНАСС, в отличие от системы GPS, подсистемы ЭО и ЧВО построены отдельно.

Определение и прогноз параметров движения КА осуществляет Баллистический центр (БЦ) системы на основе результатов траекторных измерений дальности и радиальной скорости КА, поступающих от сети наземных радиотехнических "запросных" командно-измерительных станций (КИС). В НКУ используются не менее трех КИС, расположенных на территории России (западная, центральная, восточная) на географической широте в пределах 50...60 с. ш. КИС на географической широте не менее 50 с. ш. "наблюдает" каждый КА при углах возвышения не менее 5° в течение сеансов длительностью 1...5 ч на каждом витке орбиты КА.

Сформированная в БЦ прогнозируемая ЭИ "закладывается" на борт КА через сеть КИС ежедневно. Для КА первой модификации на худших участках орбиты, где максимальны немоделируемые возмущения, действующие на КА, погрешности (СКО) ЭИ составляют по высоте 5 м, вдоль орбиты 20 м, по бинормали 10 м. На лучших участках орбиты погрешности ЭИ приблизительно в два раза меньше по высоте и вдоль орбиты и, следовательно, погрешности ЭИ, содержащейся в кадрах ЦИ, в среднем составляют (для КА первой модификации) 4,15 м и 10 м соответственно.

Подсистема ЧВО содержит в своем составе следующие совместно расположенные средства:

- наземный Центральный синхронизатор (ЦС) на основе водородного атомного стандарта частоты (АСЧ);
- радиотехническую "беззапросную" измерительную станцию (БИС);
- радиотехническую "запросную" измерительную станцию (ЗИС).

Центральный синхронизатор формирует ШВ системы и опорные сигналы для БИС. Относительное среднеквадратическое отклонение среднесуточных значений частоты водородного стандарта частоты ЦС не хуже $3 \cdot 10^{-14}$.

Беззапросная измерительная станция принимает широкополосные навигационные радиосигналы 1600 МГц и 1250 МГц и измеряет сдвиг $t(t)$ по времени принимаемой ПСП2 относительно опорного сигнала. Принимаемая ПСП2 является "носителем" БШВ, а опорный сигнал - "носителем" ШВ системы.

В составе КА первой модификации применяется бортовой цезиевый АСЧ, у которого среднеквадратическое относительное отклонение среднесуточных значений частоты составляет $(2...4) \cdot 10^{-13}$.

Погрешность прогноза БШВ обусловлена двумя основными факторами: 1) погрешностями сеансных измерений БИС и ЗИС; 2) погрешностью используемой модели расхождения БШВ относительно ШВ системы.

Погрешности двухдиапазонных (1600 МГц, 1250 МГц), беззапросных измерений псевдодальности в БИС составляют $\bar{b}(D) 1,3..1,5$ м, погрешности запросных измерений дальности в ЗИС составляют $\bar{b}(D_3) = 1,0$ м, и соответственно погрешность сеансных измерений сдвига БШВ относительно ШВ системы составляет в среднем $\bar{b}(D_5) = 5$ нс.

"Закладка" (обновление) ЧВП на борт КА первой модификации осуществляется в НКУ на каждой витке орбиты КА, т.е. 2 раза в сутки. Эксплуатация КА первой модификации показала, что при обновлении ЧВП на каждой витке (прогноз БШВ на 12 ч) погрешность (СКО) взаимной синхронизации БШВ любых двух КА равна 20 нс, т.е. погрешность прогноза БШВ на 12 ч составляет в среднем 14 нс.

Обратим внимание, что вторая модификация системы ГЛОНАСС (ГЛОНАСС-М) обладает по сравнению с первой следующими преимуществами:

- более стабильный бортовой АСЧ, имеющий среднеквадратическое отклонение среднесуточных значений частоты не хуже $1 \cdot 10^{-13}$;
- погрешности (СКО) БИС и ЗИС снижаются до уровня 0,7 м и соответственно погрешность (СКО) ЧВП составит 5 нс при прогнозе на 12 ч и 7 нс при прогнозе на 24 ч;
- меньше уровень немодулированных возмущений КА, что позволяет повысить точность определения и прогноза ЭИ;
- двухкомпонентный навигационный радиосигнал (узкополосный и широкополосный) в обоих диапазонах частот 1600 МГц и 1250 МГц.

Таким образом, система ГЛОНАСС – М повышает точность навигационных определений, повышает надежность и срок службы бортовой аппаратуры и улучшает целостность системы, а также предусматривает применение дифференциальной подсистемы.

б. Совместное использование систем ГЛОНАСС и GPS

Одним из важнейших направлений совершенствования и развития спутниковой навигации в целях УВД является совместное использование сигналов ГЛОНАСС – М и GPS, т.е. переход к единой глобальной спутниковой навигационной системе GNSS. Основные цели этого процесса – повышение точности и надежности (доступности, непрерывности обслуживания и целостности) навигационных определений.

Наиболее важными предпосылками, облегчающими совместное использование и интегрирование систем GPS и ГЛОНАСС – М, являются:

- общность принципов баллистического построения обеих систем (высота орбиты близка к 20000 км, наклонение орбит составляет около 60°, период обращения КА близок к 12 ч и т.д.);
- общность используемых частотных диапазонов (L1 – 1600 МГц, L2 – 1250 МГц), а также общность сигнально–кодовых конструкций, использующих относительную фазовую манипуляцию и ПСП;
- общность принципов синхронизации и измерения навигационных параметров (применение метода псевдодальностей);
- близость используемых систем координат;
- практическая одновременность создания и модернизации СРНС ГЛОНАСС и GPS;
- готовность правительств США и России предоставить системы для использования различными потребителями мирового сообщества.

Совместное использование двух систем позволит проводить практически круглосуточные навигационные определения во всех районах Земли за счет большого числа КА в совмещенной системе.

Обратим внимание на один очень важный момент. Точность местоопределения ВС связана с точностью измерений через коэффициент, называемый геометрическим фактором (ГФ, см. раздел 3), который отражает оптимальность расположения КА относительно данного ВС и показывает, во сколько раз ошибка местоопределения больше ошибки измерений. Следовательно, чем меньше ГФ, тем меньше ошибка определения местоположения ВС. Наиболее близким к оптимальному является такое расположение измеряемых КА, когда один из них находится в зените пользователя, а три других имеют минимально допустимый угол места и равномерно распределены по азимуту (через 120°). Очевидно, что чем больше КА находится в зоне радиовидимости ВС, тем легче ему выбрать созвездие из четырех КА, близкое к оптимальному, тем меньше может быть геометрический

фактор и выше точность навигации, тем лучше решаются задачи УВД и повышается безопасность полетов. Кроме того, точность определений местонахождения ВС может быть повышена за счет обработки избыточной информации при использовании для измерений большого числа КА, чем минимально необходимое (три или четыре).

Для иллюстрации влияния числа наблюдаемых КА на ГФ приведены данные в табл. 6, где даны средние вероятности P наблюдения заданного числа КА (≥ 4) полной группировки ГЛОНАСС и соответствующие ГФ при определении плановых координат (HDOP – Horizontal dilution of precision – горизонтальный ГФ); высоты (VDOP – Vertical dilution of precision – ГФ при определении высоты); времени (TDOP – Time dilution of precision – ГФ при определении времени).

Таблица 6

Число КА	4	5	6	7	8	9
P	1	1	1	1	0,91	0,58
HDOP	1,41	1,26	1,15	1,03	0,95	0,89
VDOP	2,0	1,75	1,70	1,61	1,60	1,55
TDOP	1,13	1,03	1,03	0,95	0,93	0,91

Считая вероятностные характеристики наблюдаемости КА GPS аналогичными приведенным для ГЛОНАСС, из анализа данных первой строки табл. 6 следует, что средняя вероятность нахождения в поле видимости не менее 16 КА ГЛОНАСС + GPS составляет примерно 0,98, а 18 и более КА – 0,91.

В табл. 7 приведены усредненные значения ГФ для района города Москвы, как функции числа используемых при навигационных определениях КА.

Таблица 7

Число КА	HDOP	VDOP	TDOP
8 КА ГЛОНАСС	1,03	1,34	0,80
10 КА ГЛОНАСС	0,84	1,24	0,72
Все КА ГЛОНАСС + GPS	0,58	0,84	-

Из табл. 7 следует, что использование всех КА ГЛОНАСС и GPS приводит к повышению точности определения координат и высоты примерно в 1,6 и 1,4 раза по отношению к варианту измерений по 8 и 10 КА ГЛОНАСС соответственно.

Увеличение числа наблюдаемых пользователем навигационных КА приводит также к повышению надежности местоопределения. Надежность возрастает и за счет использования двух отдельных национальных систем контроля и управления. Таким образом, обеспечивается практически 100%

надежность местоопределения. Отказы отдельных КА, частей системы и даже полный отказ одной из систем не будет угрожать безопасности полетов ВС гражданской авиации всего мира.

Особое значение для ГА имеет повышение целостности совместной системы и достоверности навигационных определений, которое достигается не только за счет улучшения контроля сигналов навигационных КА при использовании контрольных станций обеих систем, но и, главным образом, за счет избыточности навигационных КА в зоне видимости пользователя. Это позволяет проводить измерения по шести и более хорошо расположенным КА, что дает возможность в бортовой аппаратуре пользователя выявить и своевременно исключить из обработки сигналы некачественно работающих КА.

7. Режим автоматического зависимого наблюдения

7.1. Общие принципы режима автоматического зависимого наблюдения

Концепция CNS/ATM, основанная на применении спутниковых технологий, признана единственной, реально решающей проблемы аэронавигационного обеспечения в глобальном масштабе. При этом особое внимание уделяется вопросам наблюдения (Surveillance) .

Комитетом FANS подробно были проанализированы два способа наблюдения: кооперативное независимое (КНН-Cooperated Independent Surveillance- CIS), автоматическое зависимое (АЗН- Automatic Dependent Surveillance -ADS).

Система CIS должна работать следующим образом. По запросу или периодически ВС передает сигналы, формат которых близок к формату вторичной радиолокации (ВРЛ) с адресным запросом (режим S-selective). Сигнал, содержащий информацию о бортовом номере и высоте ВС, должны принять и ретранслировать на Землю как минимум два ИСЗ. Наземная станция, располагая информацией о положении ИСЗ и временем задержки сигнала, излученного ВС, а также зная из сообщения ВС его высоту, рассчитывает координаты ВС и сообщает их диспетчеру УВД.

Для технической реализации системы CIS требуется развернуть еще одну глобальную спутниковую систему, по сложности не уступающую спутниковым навигационным системам. Поэтому за основу была принята концепция АЗН, для реализации которой достаточно иметь спутниковую навигационную (ГЛОНАСС или GPS) и связную системы. В соответствии с концепцией АЗН информация о местоположении ВС, вырабатываемая бортовыми системами, по линии передачи данных направляется в центры УВД. По этому же каналу обеспечивается прямая связь диспетчера УВД с экипажем ВС.

В принципе, концепцию АЗН не обязательно связывать со спутниковыми технологиями. Ведь передача высоты полета ВС с борта по каналу ВРЛ является элементом зависимого наблюдения по одной координате. При этом не обязательно передавать координаты ВС, определенные с помощью СРНС. Есть совершенные инерциальные системы, корректируемые по ходу полета, есть системы ближней и дальней навигации. Однако в процессе полета ВС пользуются различными способами пилотирования и, например, ВС может лететь на радиомаяк, местоположение которого известно, и не пересчитывать свои координаты в географические или еще какие-либо. Системы имеют различную точность, надежность, целостность. А для зависимого наблюдения необходимо привязать данные к одной и той же системе координат, обозначить точный момент измерения координат бортовыми системами, знать характеристики погрешностей измерений, успеть автоматически обработать эти данные и представить их на автоматизированное рабочее место диспетчера. Все процессы должны быть увязаны по времени, форматам сообщений, а аппаратура состыкована, что на старых типах ВС сделать невозможно. Если используются АЗН для УВД, то все ВС, находящиеся в зоне ответственности диспетчера, должны быть оснащены аппаратурой АЗН, что тоже является немалой проблемой. Поэтому концепция АЗН в наиболее четкой и законченной форме просматривается именно для спутниковой технологии.

При АЗН данные от навигационных систем ВС автоматически, в том числе по автоматическому запросу с Земли, должны передаваться на Землю для использования службами воздушного движения. Для того чтобы это сделать, необходимо:

- 1) определить состав передаваемой информации;
- 2) проанализировать ситуации в полете и оценить их удельный вес и степень срочности передачи информации в каждой ситуации;
- 3) рассмотреть, как обрабатываются и прогнозируются сообщения на Земле;
- 4) рассмотреть, как определены максимальный и минимальный интервалы передачи сообщений;
- 5) учесть специфику установления радиосвязи в радиолинии и возможности реакции радиосвязной системы на потребности в изменении скорости передачи информации.

Рассмотрим последовательно весь этот приведенный перечень из пяти задач более подробно.

Решение первой задачи состоит в определении состава передаваемой информации. Для этого в таблице 8 приведены состав и длина сообщений при АЗН.

Таблица 8

Показатель	Передача	Сообщения	Дискретность	Длина сообщения, бит
	постоянная	по запросу		
Основные:				
-широта/долгота	+	-	0,0125'	42
-высота	+	-	2,4м	16
-время	+	-	0,125с	15
-показатель качества	+	-		16
-опознавательный индекс	-	+	8*6 бит	48
-поле активизации	-	+		16
Расширение:				
-координаты в следующей точке маршрута	-	+	0,0125'	42
-расчетная высота в следующей точке маршрута	-	+	2,4м	16
-координаты по маршруту через одну точку	-	+	0,0125'	42
-высота расчетная по маршруту через одну точку	-	+	2,4м	16
-курс	-	+	0,1°	12+1
-фактическая приборная скорость (число Маха)	-	+	1 км/ч	13+1
-вертикальная скорость	-	+	0,08 м/с	12
Дополнительные:				
-скорость ветра	-	+	2 км/ч	9
-направление ветра	-	+	0,7°	9
-температура	-	+	0,25° С	12

Из табл. 8 видно, что координаты и показатель качества их определения рекомендуется передавать в каждом сообщении, а все остальные данные с борта ВС – по запросу.

Необходимо также передавать данные о резервировании навигационной аппаратуры. Крайне желательно проставлять отметки времени на борту ВС для уменьшения погрешности за счет привязки ко времени.

Требования по запаздыванию будут следующими:

$D1+T1 \leq 250$ мс; $D2 \leq 500$ мс, где $D1$ – время запаздывания, связанное с расчетом местоположения и запаздыванием частоты обновления данных, $T1$ – разность между системным временем и опорным временем на ВС, $D2$ – максимальное время хранения данных о местоположении ВС до их передачи.

Разрешающая способность по времени по требованиям ИКАО составляет 0,125с. Для передачи времени необходимо 15 бит информации. Погрешность

определения местоположения ВС за счет дискретности при скорости ВС 890 км/ч равна 31 м.

Рекомендуется передавать прогнозируемое на ВС значение высоты полета на последующих одной - двух точках полета, особенно при наборе высоты и снижении.

Для решения второй задачи в процессе полета ВС по трассе можно выделить 10 ситуаций, при которых координатная информация с борта ВС должна обновляться с различной частотой:

A1-полет по прямолинейному участку трассы без тенденции к нарушению ее границ;

A2-маневр в горизонтальной плоскости;

A3-маневр в вертикальной плоскости (смена эшелона);

A4-тенденция к нарушению границы трассы (установленного маршрута);

A5-нарушение границы трассы (установленного маршрута);

A6-тенденция к нарушению установленных норм эшелонирования;

A7-нарушение установленных норм эшелонирования;

A8-полет в особых условиях;

A9-особые случаи в полете;

A10-полеты, требующие специального контроля.

К полету ВС в особых условиях и к особым случаям в полете отнесены ситуации, предусмотренные в Наставлении по производству полетов в ГА (НПП ГА-85). Например, к полетам в особых условиях относятся: полеты в зонах обледенения, грозовой деятельности и сильных ливневых осадков, сильной болтанки, сдвига ветра, пыльной бури и так далее. В свою очередь, к особым случаям в полете относятся: попадание ВС в опасное метеорологическое явление, отказ двигателя, пожар на ВС, потеря радиосвязи (отказ бортовых или наземных систем радиосвязи), потеря ориентировки, нападение на экипаж (пассажиров), вынужденная посадка вне аэродрома и так далее.

Рассматриваемые ситуации могут быть распределены в группы по высоте приоритета для передачи информации (табл. 9).

Таблица 9

Приоритет	Ситуации	Периодичность обновления координатной информации	Для ВС, находящихся в данных ситуациях, %
1	A7, A8, A9, A10	5с	9
2	A2, A3	7с	9
3	A4, A5, A6	30с	6
4	A1	180с	85

Комитет FANS рекомендовал разделить весь земной шар на четыре типа районов применения АЗН: океанические, маловысотные, континентальные с

низкой плотностью воздушного движения (ВД), с высокой плотностью ВД. Исследовались различные воздушные ситуации регионов, которые можно отнести к районам маловысотных и континентальных полетов с низкой плотностью. Статистические данные по соотношениям между ситуациями незначительно отличаются между различными регионами и в качестве оценки могут быть приняты данные прямых участков трасс в океанических районах.

Приведенные в табл. 9 данные можно считать наихудшими. Регионы с высокой плотностью ВД обеспечены средствами независимого наблюдения и целесообразность распространения на них зависимого наблюдения в качестве резервного не очевидна.

При решении третьей задачи необходимо учитывать, что применение зависимого наблюдения возможно только при наличии АС УВД. При обработке информации выполняются операции построения траекторий ВС и их экстраполяции. Качество выполнения этих операций существенно влияет на состав и периодичность передаваемой информации.

Во всех применяемых АС УВД используют линейное сглаживание траекторий и линейную экстраполяцию, реализуя метод наименьших квадратов, подробно описываемый в курсе «Радиолокационные системы». В случае отклонения траектории от линейной применяют алгоритм обнаружения маневра по аномально большой погрешности отклонения полученных значений координат от ожидаемого (в предположении равномерного прямолинейного движения) и сокращают интервал предполагаемого линейного участка.

В принципе при маневрировании ВС возможно получение с борта ВС данных о векторе ускорения, но это существенно усложняет алгоритмы обработки сигналов на Земле, вследствие чего рекомендуется передавать на Землю по требованию не значения вектора ускорения, а вычисленное на борту экстраполированное на два интервала времени положение ВС (см. табл. 8).

Максимальный и минимальный интервалы сообщений о координатах ВС, что составляет суть четвертой задачи, определяются следующим образом.

Максимальный интервал передачи информации должен соответствовать времени, при котором гипотеза отклонения траектории от заданной соответствует линейной функции. Этот интервал можно определить, рассмотрев модель отклонения ВС от заданной траектории. Предполагается, что ВС является материальной точкой, характеризующей его положение в движущейся системе координат XOZ , начало которой связано с заданной траекторией, ось OX направлена по оси заданного движения, а ось OZ перпендикулярна к ней.

Основная причина отклонения ВС - влияние ветра, а дополнительные, менее значимые – несимметрия обтекания и тяги, ошибки экипажа, погрешности работы оборудования и т.д. При этом продольное и поперечное движение ВС можно рассматривать независимо, что существенно упрощает анализ. Основными причинами продольных отклонений являются влияние перемещения воздушных масс и колебания истинной скорости самолета.

Случайный процесс движения воздуха в свободной атмосфере состоит из струйных течений и турбулентности. Протяженность струйных течений составляет тысячи, а ширина – сотни километров. Они являются основной причиной долгосрочных изменений путевой скорости и могут быть учтены при передаче данных о скорости, направлении ветра с борта ВС.

Для широкого класса ВС корреляционная функция случайного процесса колебания истинной скорости может быть представлена в виде:

$$\rho_v(\tau) = \sigma_v^2 \cdot \exp(-\alpha|\tau|)(\cos w_0 \tau + (\alpha/w_0) \cdot \sin w_0 |\tau|), \quad (5)$$

где $\sigma_v = 1,67$ м/с (6 км/ч); $\alpha = 1,67 \cdot 10^{-3}$ 1/с; $w_0 = 3,5 \cdot 10^{-3}$ 1/с.

Соответственно модель боковых отклонений представляется следующей нормированной корреляционной функцией:

$$\rho_z(\tau) = \exp(-\alpha|\tau|)(\cos w_0 \tau + (\alpha/w_0) \cdot \sin w_0 |\tau|), \quad (6)$$

где $\alpha = 1,83 \cdot 10^{-3}$ 1/с;
 $w_0 = 4,17 \cdot 10^{-3}$ 1/с.

Параметры рассматриваемых случайных процессов α и w_0 слабо отличаются для различных ВС и зависят в основном от типа бортового ПНК, навигационного оборудования, установленного на Земле, конфигурации трасс, метеоусловий и ошибок экипажа.

Допустимый интервал между отсчетами должен лежать в области высокой корреляции ($\rho_z(\tau) \geq 0,5$) и, судя по виду функции корреляции, показанной на рис. 7, составляет 4-5 мин.

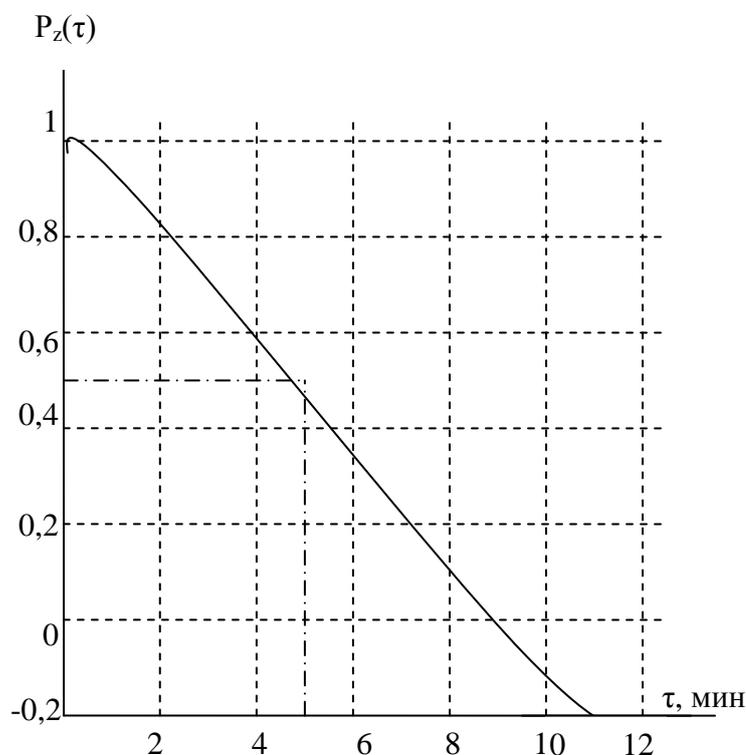


Рис. 7. Зависимость нормированной функции корреляции боковых отклонений ВС от интервалов отсчета

Обычно его принимают равным 5 мин. Минимальный интервал передачи сообщений о положении ВС принят равным 5 с. Анализ погрешности прогноза местоположения ВС на 5 с показывает, что погрешности оценки местоположения не велики. Кроме того, из опыта эксплуатации известно, что радиолокационные средства независимого наблюдения в районах с высокой интенсивностью ВД позволяют решать задачи УВД при периоде обновления информации, равном 5 с.

Наконец, рассмотрим последнюю сформулированную выше задачу, а именно, влияние специфики установления связи в радиолинии на объем передаваемой информации.

Здесь возможны два варианта использования радиолинии: с закрепленным за ВС каналом связи в многоканальной системе с временным, кодовым или частотным разделением каналов, хотя в последние годы применяется, в основном, кодовое разделение каналов, о чем говорилось выше; с каналом связи, предоставляемым только на время передачи сообщений.

В первом случае объем передаваемой информации может быть минимальным в соответствии с табл. 9 и закрепленные каналы связи используются при передаче сообщений с интервалом $T=5$ с. Однако при $T \geq 30$ с время использования канала связи составляет несколько процентов от возможного и первый вариант становится экономически невыгодным. Второй вариант реализуется путем предварительного запроса канала с указанием адресов абонентов, передающих и принимающих сообщения. В этом случае объем сообщений увеличивается на повторение адреса ВС.

Требования по запаздыванию координатной информации могут быть удовлетворены двумя способами. На борту ВС данные о координатах считываются с датчиков практически в момент передачи сообщения с указанными допусками. Если в бортовой аппаратуре нет возможности реализовать первый способ, то в сообщении должно быть указано время считывания координат и соответственно длительность сообщения увеличивается.

Часть сообщений предполагается передавать по требованию. По требованию так же должен изменяться период передачи сообщений. Однако в полете возможно маневрирование ВС, о котором диспетчер может узнать слишком поздно. Поэтому при отклонении движения ВС от прямолинейного внутри интервала 3-5 мин. ВС должно по своей инициативе выйти на внеочередной сеанс связи с сообщением экстраполированных значений своих координат. Так как возможен переход ВС из ординарной ситуации в ситуацию, требующую минимального интервала передачи сообщений 5 с, то время установления связи передачи сообщений не должно превосходить 5с.

Рассмотрим также отдельно вопрос о влиянии сглаживания и экстраполяции параметров движения ВС на периодичность передачи сообщений.

С борта ВС может быть передано значение приборной скорости по запросу.

Целесообразно выяснить, каков должен быть интервал передачи сообщений о скорости. Для решения этой общей задачи можно сформулировать две частные задачи, при которых информация о скорости поступает: от одного датчика в разное время, измерения скорости равноточные и коррелированы; от разных датчиков с разной точностью измерений и их погрешности не коррелированы. Далее предполагаем, что погрешности распределены по нормальному закону.

Объединение информации о скорости от одного датчика, измеренной в моменты времени t_1 и t_2 , сводится к усреднению

$$\bar{V} = [V_1(t_1) + V_2(t_2)]/2.$$

Дисперсия погрешности определяется по формуле:

$$\sigma_v^2 = \sigma_{v_i}^2 [1 + \rho_v(t_2 - t_1)]/2, \quad i=1,2,$$

где $\sigma_{v_1}^2 = \sigma_{v_2}^2$;

$\rho_v(t_2 - t_1)$ - нормированная функция корреляции.

Приняв в первом приближении погрешности приборной и истинной скорости одинаковыми и полагая допустимым $\rho_v(\tau)=0,5$, из формулы (5) получим, что период обновления информации о скорости при прямолинейном движении ВС составляет $T_v = 5 \text{ мин. } 20 \text{ с.}$ Для $\rho_v(\tau)=0,7$ значение T_v уменьшается до 3 мин.

Таким образом, периодичность запроса значения скорости с борта ВС при равномерном прямолинейном движении может быть принята более, чем 3-5 мин.

На Земле по данным о положении ВС может быть вычислена его истинная скорость V_u и оценена средняя квадратическая погрешность σ_{V_u} . Тогда при получении с борта информации о приборной скорости с дисперсией $\sigma_{V_{\Pi}}^2$ возникает задача объединения этих данных при независимых датчиках. Эта оценка скорости записывается в виде:

$$\bar{V} = (V_u / \sigma_{V_u}^2 + V_{\Pi} / \sigma_{V_{\Pi}}^2) / (1 / \sigma_{V_u}^2 + 1 / \sigma_{V_{\Pi}}^2), \quad (7)$$

а дисперсия σ_v^2 определяется по формуле:

$$\sigma_v^2 = (1 / \sigma_{V_u}^2 + 1 / \sigma_{V_{\Pi}}^2)^{-1} \quad (8)$$

По значению σ_v^2 можно оценить целесообразность запроса данных о скорости с борта ВС. Для ответа на этот вопрос можно рассмотреть алгоритмы завязки и построения траектории.

При завязке траектории по n измерениям координаты X_i , положение ВС X_n и истинную скорость V_u определяют по следующим соотношениям:

$$X_0 = (2 / n \cdot (n-1)) \cdot \sum_{i=1}^n (2n+1-3i)X_i,$$

$$V_u = (6 / Tn \cdot (n^2-1)) \cdot \sum_{i=1}^n (3i-n-1)X_i,$$

где Tn – длительность n интервалов T измерений скорости V_u , X_0 – истинная начальная координата ВС. Соответственно дисперсии погрешностей сглаженных значений положения ВС и скорости вычисляются по формулам:

$$\sigma_{X_n}^2 = \sigma^2 \cdot (2(2n-1) / n(n+1)), \quad (9)$$

$$\sigma_{V_n}^2 = \sigma^2 \cdot (12 / T^2 n(n^2-1)), \quad (10)$$

где σ^2 – дисперсия погрешности измерений.

Если дополнительно получена информация о скорости, то используя соотношения (7) и (8), можно улучшить оценку скорости. Из соотношения (10) видно, что по мере увеличения числа измерений n дисперсия $\sigma_{V_n}^2$ уменьшается приблизительно обратно пропорционально n^3 . При периоде $T=5$ с, $\sigma=50$ м достаточно 15-20 измерений, чтобы погрешность оценки скорости σ_u была существенно меньше погрешности измерений путевой (приборной) скорости $\sigma_{V_n} = 2-3$ м/с на борту ВС. Таким образом, запрос скорости целесообразен только при завязке траектории.

Используя приведенную методику, можно оценить периодичность определения, например, высоты, если используется один датчик – радиовысотомер, или два – радиовысотомер и барометрический высотомер.

В зависимости от характера траектории и обработки информации на Земле рационально использовать различную периодичность опроса ВС от 5с до 5мин, не вводя резких градаций. Если траекторная обработка проводится на борту ВС, то и для оставшихся 9% ВС (см. табл. 9) отпадает необходимость передавать данные через 5-7с при передаче ожидаемого местоположения, а для 6% сообщений (см. табл. 9) интервал 30с может быть увеличен до 1-2мин.

При обнаружении маневра в АС УВД уменьшают число обрабатываемых измерений до $n=10$ и менее, а при больших отклонениях траекторий от линейных вообще не применяют сглаживание. В этих случаях алгоритмы построения линейной траектории не могут дать достоверной оценки скорости и, следовательно, резко снижаются возможности прогнозирования воздушной обстановки. Поэтому целесообразно запрашивать с борта ВС данные о

прогнозируемом положении в одной – двух точках маршрута, а по окончании маневра – запросить данные о скорости для быстрого установления параметров линейной траектории.

7.2. Возможности технической реализации режима АЗН

Полные преимущества АЗН могут быть реализованы при использовании дополнительной двусторонней линии передачи данных и/или речевой связи между экипажем и диспетчером (речевая связь предусматривается, по крайней мере, в аварийных и нестандартных ситуациях).

Как указывалось выше, возможны два варианта реализации режима АЗН, которые подразделяются на АЗН-А и АЗН-В.

При АЗН-А предусмотрено установление четырех видов контрактов: периодический контракт; контракт по событиям; контракт по требованиям; аварийный контракт.

При этом периодическое донесение в обязательном порядке содержит основное донесение. В донесении АЗН может быть так же включено до семи дополнительных блоков.

Международный технический стандарт на адресное АЗН на основе требований АТН был разработан ИКАО и опубликован в 1998 году. Однако еще до появления этого стандарта промышленность разработала комплекты бортового оборудования FANS-1 и FANS-A для реализации режима АЗН-А, которые уже используются различными иностранными авиакомпаниями. Однако это оборудование по ряду существенных характеристик не соответствует появившемуся позднее стандарту, поэтому ИКАО определила, что эти переходные системы могут использоваться для обеспечения наблюдения в океанических или близких к ним по условиям континентальных районах.

В качестве основного предполагается использовать оборудование CNS/ATM Package 1,2, разработанное в соответствии с требованиями АТН, однако данное оборудование еще не вышло в серийное производство.

Режим АЗН-В (Broadcasting) предусматривает (рис. 8) вещательную передачу данных о местоположении нескольким ВС или нескольким органам УВД.

Каждое ВС с оборудованием АЗН-В периодически передает в вещательном режиме данные о своем местоположении и другие соответствующие данные, выдаваемые его оборудованием. Любой сегмент пользователя, находящийся в воздухе или на Земле в пределах дальности радиовещательной передачи, может обрабатывать эту информацию. Соответственно режим АЗН-В может использоваться только в пределах прямой видимости (например, радиовещание с помощью ОВЧ - линии цифровой связи). Отметим, что АЗН-В предполагается так же использовать для контроля

наземного движения в аэропорту, т.е. в качестве альтернативы такому радиолокационному оборудованию, как радиолокаторы обзора летного поля.

На рис. 9 представлена функциональная архитектура рабочего места диспетчера УВД – АЗН, где приняты следующие обозначения: АФТН (AFTN); РЛИ – Радиолокационная информация; FDPS (Flight Data Processing System) – Система обработки полетных данных; ИВО – индикатор воздушной обстановки.

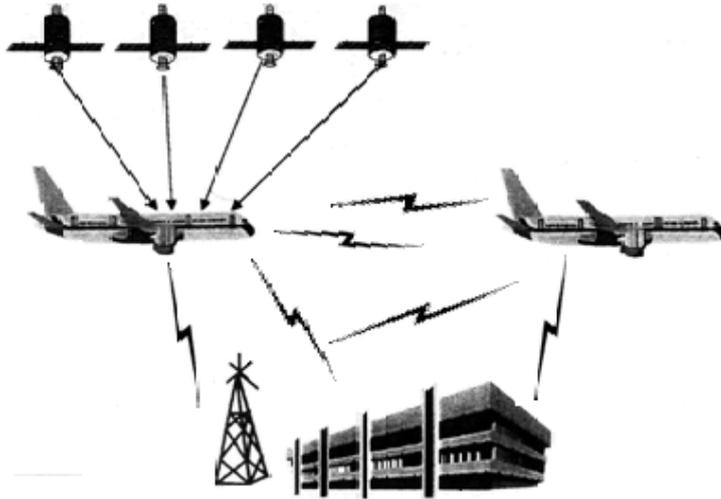


Рис. 8. Реализация режима АЗН-В

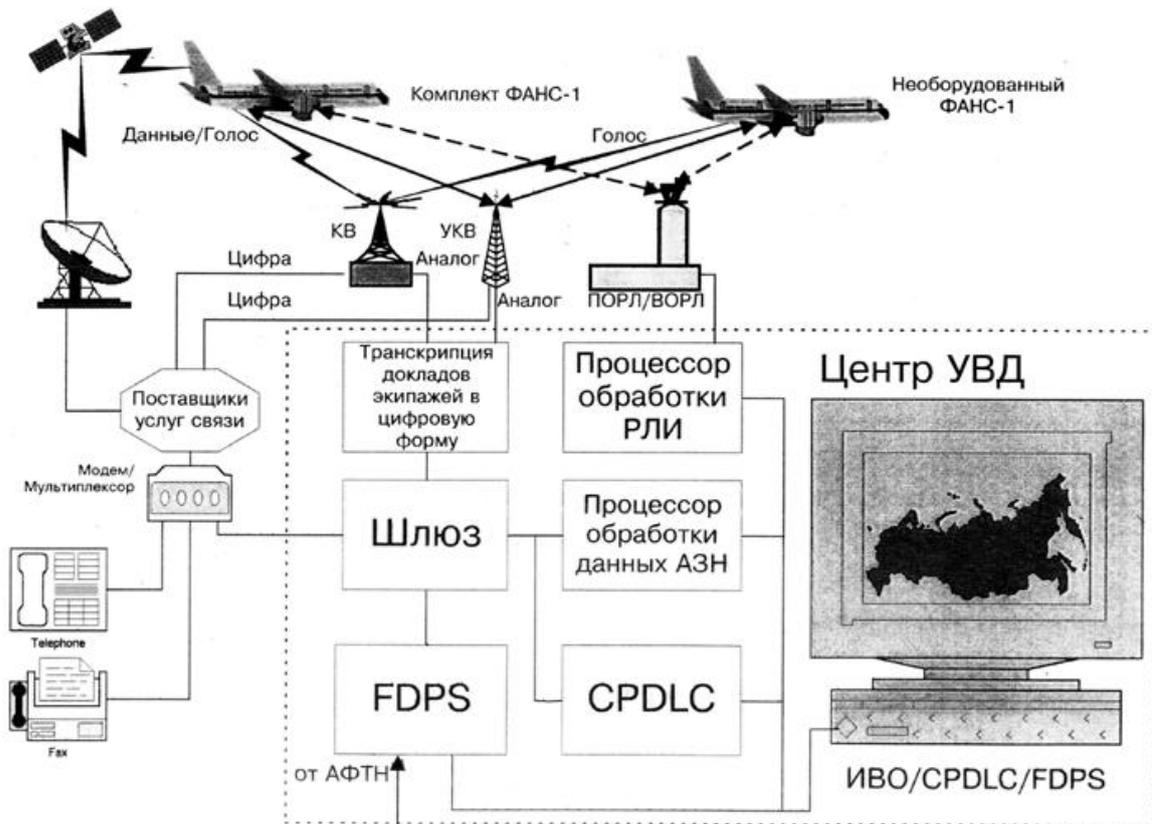


Рис. 9. Функциональная архитектура рабочего места диспетчера АЗН-УВД

В табл. 10 приведены виды применения различных линий передачи данных, описанных в разделах 2.3.1 и 2.3.3. В табл. 10 АОС (Авиационный оперативный контроль-Airline Operational Communications).

Таблица 10

Виды применения ЛПД	1090ES	VDL-4
АЗН-А	+	+
АЗН-В	+	+
CPDLC	+	+
TIS-B	+	+
FIS-B	+	+
DGNSS	-	+
АОС	-	+
ASAS	+	+
Двухсторонняя передача данных	-	+

Хотя сообщения АОС не относятся непосредственно к организации воздушного движения, в перспективных концепциях намечается тенденция к более тесному взаимодействию между соответствующими органами ОрВД, аэропортов и авиакомпаний в процессе совместного принятия решений на базе использования всей передаваемой по ЛПД информации. Попутное использование VDL-4 для этих целей представляет собой рациональное и эффективное решение.

На конференции АТН2002 (Лондон, 24-25 сентября 2002 года) было объявлено о создании консорциума, в который вошли известные европейские поставщики сетевых услуг, производители бортового оборудования, поставщики систем УВД и аппаратуры VDL-2.

Кроме того, VDL-2 является пока единственной двухсторонней ЛПД «воздух-воздух», которая потребуется на 5-м этапе реализации европейского плана внедрения линий передачи данных.

Необходимым условием применения АЗН-В в России будет готовность региональной системы функционального дополнения наземного базирования, которая может использовать VDL-2. В противном случае придется устанавливать на борт дополнительную ЛПД, что практически удвоит затраты авиакомпаний по реализации проекта. Эта функция пока может использоваться только как региональное применение, хотя процесс ее согласования на глобальном уровне продолжается.

7.3. Внедрение АЗН за рубежом и в России

По рекомендации ИКАО основные работы по планированию систем CNS/АТМ осуществляются, главным образом, на региональном уровне в Группках регионального планирования и осуществления проектов. К настоящему времени разработана и опубликована в "Глобальном

аэронавигационном плане применительно к системам CNS/ATN" (том II) региональная стратегия, включающая наблюдение по двум регионам.

Регион Азии и Тихого океана:

- использование режимов А и С, а в ближайшем будущем режима S ВОРЛ в некоторых узловых диспетчерских районах и районах континентального воздушного пространства с высокой плотностью движения;
- использование АЗН в некоторых частях региона;
- сокращение использования первичных радиолокаторов;

Ближневосточный регион:

- режимы А/С ВОРЛ будут использоваться в районах аэродромов и континентального воздушного пространства с высокой плотностью движения. АЗН будет применяться в океанических/континентальных районах воздушного пространства, а также возможно в качестве резервного средства по отношению к ВОРЛ в районах с высокой плотностью воздушного движения. Использование первичных радиолокаторов будет сокращаться.

Разработка стратегии по остальным регионам еще не завершена. Ее завершение планировалось одновременно с разработкой в ИКАО эксплуатационной концепции АТМ и выбором Европейскими государствами и США конкретной(ых) технологии(й) реализации АЗН-В. Все эти сроки постоянно переносятся ввиду кризиса 2008 г. и высоких затрат.

В этой связи следует отметить, что в США согласно "Плану развития наблюдения FAA", основным методом наблюдения в континентальном воздушном пространстве США станет вещательное АЗН. Радиолокационные системы FAA, продолжая играть важную роль по внешним государственным границам, в остальных районах будут по мере выработки ресурса выводиться из эксплуатации. Воздушные суда, входящие в воздушное пространство США с океанических маршрутов, будут переходить с контрактного АЗН (FANS-1/A, CNS/ATM Package 1 и 2) на обслуживание по технологии АЗН-В.

Приведём планы развития Европейской стратегии АТМ на 2000 год и последующий период.

На этапе 1 (до 2005 г.) планировалось:

- начальное внедрение в верхнем воздушном пространстве районов;
- начальное внедрение практики производства полетов по свободным маршрутам (Free Flight);
- постепенное совершенствование управления наземным движением в основных аэропортах.

На этапе 2 (2005 - 2010 гг.) планировалось:

- более совершенное прогнозирование конфликтных ситуаций и планирование траекторий полетов при взаимодействии борта с Землей, обеспечиваемом с помощью линии передачи данных;
- комплексное управление прибытиями и вылетами ВС;

- улучшенное управление и планирование наземного движения в аэропортах;
- расширение районов и практики производства полетов по свободным маршрутам;
- ограниченная передача ответственности за обеспечение эшелонирования с Земли на борт.

На этапе 3 (2010 - 2015 гг. и в последующий период) планировалось:

- перераспределение задач между человеком и машиной и, где это возможно, между бортом и Землей для повышения уровня производительности диспетчеров УВД.

Использование для реализации европейской стратегии ОпВД вещательного автоматического независимого наблюдения, наряду с другими видами применения линии передачи данных, позволяло обеспечить:

- планирование и выполнение полетов «от перрона до перрона»;
- широкое использование свободных маршрутов;
- внедрение автономного производства полетов ВС с передачей ответственности за эшелонирование на борт.

Реализация этапа 1 данной стратегии должна была начаться модернизацией Североевропейской сети АЗН-В (замена прототипа ОВЧ ЛПД на сертифицируемую по SARPS ИКАО линию передачи данных). К 18 уже установленным наземным станциям на первом этапе добавилось еще 5 станций CNS и один ретранслятор. Это показано на рис. 10 (города: Стокгольм, Копенгаген, Франкфурт, Париж, Тулуза).

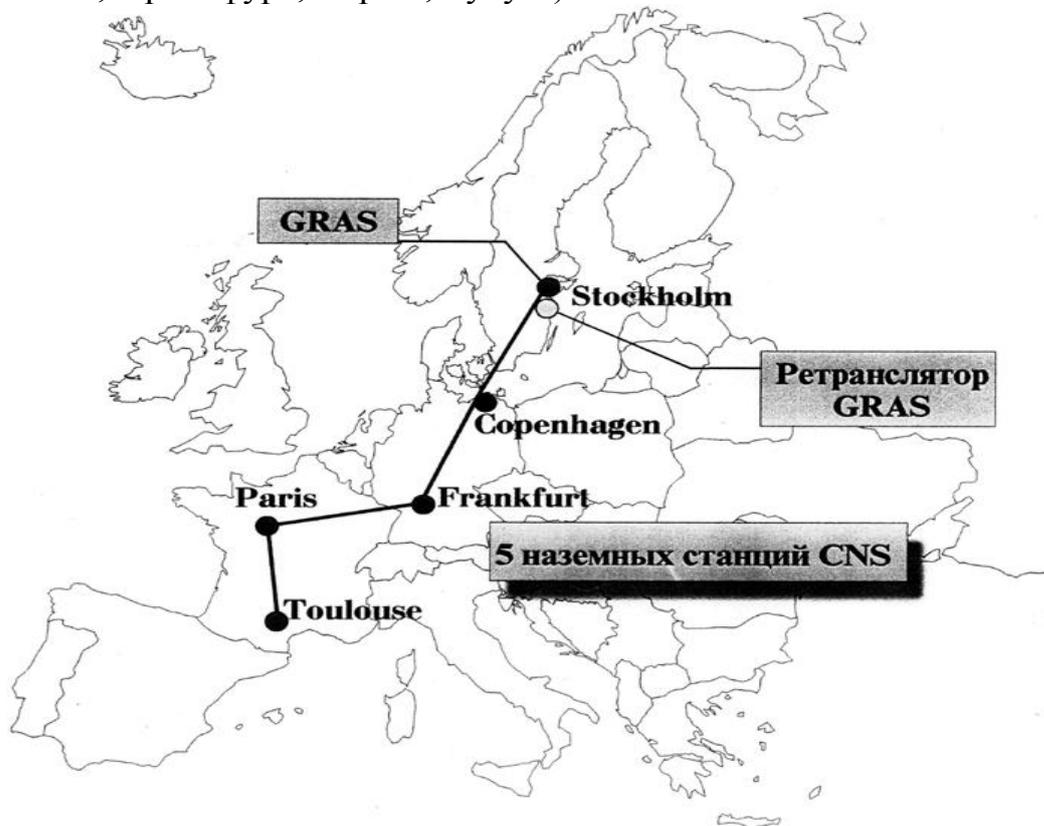


Рис. 10. Реализация этапа 1 развития Европейской стратегии АТМ

На втором этапе было установлено 30 наземных станций CNS и еще 7 таких станций было установлено в южной части Европы.

Наземная станция CNS должна была обеспечивать следующие услуги: радиовещательные ATIS (Automatic Traffic Information Service), NOTAM (Notice to Airman – Извещение, рассылаемое средствами электросвязи и содержащее информацию о состоянии или изменении любого аэронавигационного оборудования, обслуживания и правил) и карты погоды, радиовещательная передача на борт информации, в том числе о воздушной обстановке, радиовещательная передача на борт дифференциальных поправок и параметров целостности навигационного сигнала в формате GRAS (Наземная региональная система функционального дополнения – Ground Region Additional System).

Деятельность по внедрению в России АЗН началась в 1996 году реализацией магаданского проекта, который предусматривал обеспечение обслуживания ВС зарубежных авиакомпаний, оснащенных оборудованием FANS-1/A. На базе предприятия “Магаданаэроконтроль” было установлено оборудование переходной системы адресного (контрактного) АЗН фирмы ARINC.

По результатам анализа полученного в ходе демонстраций и испытаний опыта и апробации этих технологий 15 января 1998 года было принято совместное решение ФАС (ныне ФАВТ) России, Госкорпорации по ОрВД, ГосНИИ “Аэронавигация” и ГосНИИ АС, в котором было признано, что ОВЧ линия передачи данных обеспечивает один из наиболее рациональных путей перехода к перспективной системе ОрВД России и “необходимо провести экспериментальные работы по разработке ОВЧ-канала передачи данных в интересах ведения наблюдения (АЗН-В) и решения других прикладных задач УВД”. В развитие этого решения был издан Приказ ФСВТ (ныне ФАВТ) России № 80 от 14 октября 1999 года “О создании и внедрении системы вещательного автоматического зависимого наблюдения АЗН-В в гражданской авиации России”. С целью его реализации разработана программа поэтапного внедрения АЗН в России.

8. Дифференциальный режим работы СРНС

В основе метода дифференциальной навигации лежит относительное постоянство значительной части погрешностей СРНС во времени и в пространстве. Необходимость использования дифференциального режима (ДР) СРНС определяется стремлением удовлетворить наиболее жестким требованиям навигационного обеспечения таких задач, как посадка ВС по категориям ИКАО и др.

Уже первые эксперименты показали возможность снижения среднеквадратических ошибок (СКО) определения координат по системе GPS с 20 м до 5 м, а высоты – с 40 м до уровня 5 м.

ДР СРНС предполагает наличие как минимум двух спутниковых приемников или приемоизмерителей (ПИ). Например, ПИ1 (контрольно-корректирующая станция) и ПИ2 (потребитель) расположены в точке 1 и точке 2 пространства, причем ПИ1 геодезически точно привязан к принятой системе координат. Разности между измеренными ПИ1 и рассчитанными в нем значениями псевдодальностей «видимых» КА, а также разности соответствующих псевдоскоростей по ЛПД передаются в виде дифференциальных поправок на ПИ2, в котором они вычитаются из измеренных ПИ2 псевдодальностей (ПД) и псевдоскоростей (ПС).

В случае, если погрешности определения ПД слабо изменяются во времени и в пространстве, они существенно компенсируются переданными по ЛПД поправками. В нашем случае ошибки измерения ПД за счет синхронизации КА практически постоянны в пространстве. Для погрешности определения координат КА 20 м изменчивость ошибок определения ПД составляет сантиметры при разности расстояний порядка 100 км и дециметры при взаимных удалениях порядка 1000 км. Описанный ДР работы СРНС называется ДР по методу коррекции ПД и ПС.

Изменчивость во времени и в пространстве стабильных составляющих ионосферных погрешностей, обусловленных запаздыванием сигнала при прохождении в ионосфере, характеризуется корреляционной функцией, которая имеет время корреляции и пространственные радиусы корреляции на уровне соответственно несколько часов и тысяч километров. Поэтому на интервале в несколько единиц минут и сотен километров ионосферные погрешности в условиях спокойной ионосферы можно полагать достаточно стабильными. Их уровень составляет от 10 м до 40 м и достигает минимума при максимальном угле места визируемого КА. Обычно их изменчивость через 1 мин. составляет 0,1-0,2 м (СКО), а через 6 мин. 0,3-1,4 м.

Реализация ДР осуществляется посредством создания дифференциальных подсистем (ДПС) СРНС.

Условно они подразделяются на широкозонные (ШДПС), региональные (РДПС) и локальные (ЛДПС). Основой ШДПС (варианты: WAAS, EGNOS, MSAS) является сеть широкозонных контрольных станций (ШКС), информация от которых передается на широкозонные главные станции (ШГС) для совместной обработки с целью выработки общих поправок. Радиус рабочей зоны ШДПС порядка 5000-6000 км. Выработанные на ШГС корректирующие поправки передаются через наземные станции передачи данных (НСПД) на геостационарный КА (ГКА) для последующей ретрансляции потребителям. Эти ГКА используются также в качестве дополнительных навигационных точек для дополнительных дальномерных измерений.

Региональные ДПС предназначены для навигационного обеспечения отдельных регионов континентов, морей, океанов. Диаметр рабочей зоны может составлять от 400-500 км до 2000 и более км. РДПС могут иметь в своем составе одну или несколько контрольно-корректирующих станций (ККС), а

также соответствующие средства передачи корректирующей информации. Эта информация вырабатывается на ГС или на ККС.

Локальные ДПС имеют максимальные дальности действия от ККС или передатчика ЛПД до 20-200км и обычно включают одну ККС, аппаратуру управления и контроля и средства передачи данных.

Существует ряд признаков классификации разновидностей ДР, к которым относятся:

- тип основных измерений - фаза кода или фаза несущей частоты сигнала;
- тип коррекции – коррекция ПД и ПС или навигационных параметров, вычисляемых на основе знания ПД и ПС;
- место коррекции – у потребителя или в каком-либо центре;
- средства передачи корректирующей информации.

Соответственно различают ДР с коррекцией координат, ДР с относительными координатами и ДР с использованием псевдоспутников.

Метод коррекции координат в ДР может использоваться в том случае, если определения координат дифференциальной станции (ДС) и потребителей осуществляются по одному и тому же созвездию КА. В этом случае рассчитывается дифференциальная поправка

$$\Delta\eta_d = \eta'_d - \eta_d,$$

где η'_d , η_d - оцененные в процессе текущих измерений и точно известные заранее векторы координат (геодезических, геоцентрических или других) дифференциальной станции.

Поправка $\Delta\eta_d$ является линейным преобразованием основных возникающих погрешностей, и потребитель использует эту поправку с помощью соотношения

$$\eta = \eta' - \Delta\eta_d.$$

Точности описанного выше метода коррекции ПД и ПС и метода коррекции координат практически эквивалентны. Метод коррекции координат требует меньшего объема передаваемой информации: например, по 3 поправки к координатам и к скоростям вместо 16 поправок к ПД и 16 поправок к ПС. Но этот метод может использоваться потребителем на сравнительно небольших удалениях ДС и в сравнительно небольшие промежутки времени.

Если такая геодезическая привязка ДС по тем или иным причинам затруднена, то ДР может быть реализован посредством использования относительных координат. Если два ВС определяют свои прямоугольные координаты $\eta_1^T = [x_1, y_1, z_1]$ и $\eta_2^T = [x_2, y_2, z_2]$ с помощью аппаратуры потребителя СРНС в номинальном режиме работы, то вектор координат ВС1 относительно ВС2 запишется в виде

$$\eta_{21}^T = [x_{21}, y_{21}, z_{21}],$$

где $x_{21} = x_2 - x_1$;

$$y_{21} = y_2 - y_1;$$

$$z_{21} = z_2 - z_1.$$

Поскольку погрешности $\Delta\eta_i$, $i=1,2$ (как и в методе коррекции координат) являются результатом линейного преобразования всех ошибок определения ПД, то в результате такой операции вычитания одинаковые квазисистематические ошибки, обусловленные особенностями распространения радиоволн в ионосфере, неточностью эфемеридной информации и неточностью синхронизации, исключаются.

Точность метода использования относительных координат практически эквивалентна точности стандартного ДР СРНС по методу коррекции ПД и ПС.

Одна из разновидностей ДР получается тогда, когда передаваемые ДС сигналы с поправками и другой информацией привязана к местной шкале времени. Поскольку в результате учета дифференциальных поправок шкала времени потребителя также оказывается привязанной к шкале времени ДС, принятые потребителем сигналы ДС являются источником информации о взаимной дальности и скорости между потребителем и ДС. В частном случае ДС может излучать сигнал, аналогичный сигналу КА. Тогда она называется псевдоспутником, и соответственно получается ДР с использованием псевдоспутников.

Рассмотрим более подробно реализацию ШДПС. К настоящему времени наиболее широкую известность получили проекты ШДПС, использующие стационарные КА в качестве средств передачи сигналов контроля целостности и дифференциальных поправок. Такими системами являются американская WAAS (Wide Area Augmentation System - широкозонная ДПС), европейская EGNOS и японская MSAS (Multifunctional Transport Satellite Augmentation System- ШДПС- на основе многофункционального транспортного КА). Кратко опишем особенности этих систем.

WAAS, широкозонная система геостационарного дополнения GPS предназначена для обеспечения доступности и точности, соответствующих требованиям, предъявляемым к основным системам для всех фаз полета, вплоть до захода на посадку по 1-й категории ИКАО в первую очередь на Северо-Американском континенте и, частично, в Северной Атлантике.

WAAS состоит из космического и наземного сегментов. Космический сегмент включает геостационарные КА GEOS, предназначенные для:

- передачи навигационного GPS сигнала на частоте 1575,42 МГц, который увеличивает доступность, точность и надежность навигационных определений;
- ретрансляции сформированных на Земле сообщений о векторе поправок к эфемеридным данным, шкалам времени и к параметрам ионосферной модели.

Наземный сегмент включает:

- ШКС мониторинга, предназначенные для контроля и наблюдения за состоянием навигационного поля;
- ШГС, предназначенные для обработки данных мониторинга и наблюдений КС;
- наземные станции передачи данных космическому сегменту, которые осуществляют связь между ГС и ГКА.

Система 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 независимого контроля выходных данных функций 1-5 перед их использованием потребителями;
- 7) обеспечение потребителей корректирующей информацией и дополнительными измерениями ПД, позволяющими повысить надежность и точность навигационных определений;
- 8) обеспечение работоспособности и собственного нормального функционирования.

Рабочая зона WAAS представляет собой пространство над поверхностью Земли высотой до 30 км над уровнем моря. 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 типа L2/L1 с кодами P и P(Y) GPS должны восприниматься без знания P(Y) - кода. Мощность L1 сигнала с кодом P(Y) находится в пределах от -163 до -155 дБВт, L2 сигнала - между -166 и -154 дБВт. При этом сигналы КА при углах места менее 5° не используются. Все процессы обработки должны проводиться при отношениях помеха/сигнал не ниже приведенных значений в табл. 12 и 13.

Таблица 12

Тип сигнала	Полоса частот, Гц	Отношение помеха/сигнал, дБ
L1 – C/A	0-600	16
L1 – C/A	600-1000	21
L1 – C/A	1000-10000	$21 + 6 \lg (\Delta f / 1000)$
L1 – C/A	10000-100000	$27 + 3 \lg (\Delta f / 10000)$
L1 – C/A	$\Delta f > 100000$	30
L1, L2 - P(Y)	Везде	27

Таблица 13

Диапазон частот f, МГц	Отношение помеха/сигнал, дБ
$f < 1181,1$	≥ 100
1181,1-1237,6	$100 - 2 \cdot (f - 1181,1)$
1237,6- 1274,1	$100 - 2 \cdot (f - 1237,6)$
1274,1 – 1530,42	≥ 100
1530,42 – 1585,42	$100 - 2 \cdot (f - 1530,42)$
1585,42 - 1630,42	$100 - 2 \cdot (f - 1585,42)$
$f > 1630,42$	≥ 120

В табл. 12 даны отношения помеха/сигнал в полосе GPS, а в табл. 13- вне полосы GPS.

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

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

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 и преамбула из 8 бит, а замыкают блок 24 бита кодовой корректирующей группы для контроля четности.

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

Отметим, что установленными требованиями предусмотрены возможности подавления помех, уровни которых превосходят указанные в табл. 12 и 13.

В частности, антенны приемников должны иметь, по крайней мере, три «нуля» в диаграмме направленности, которые могут направляться на помехи и подавлять их не менее чем на 30 дБ. При этом скорость слежения «нуля» за движением помехи должна быть в диапазоне до 0,3 рад/с. Должны быть также предусмотрены меры временного, в том числе адаптивного, подавления до 30 дБ при времени адаптации не более 20 мс.

Укажем ряд важных требований к надежности наземного оборудования. Каждая подсистема WAAS должна характеризоваться средним временем наработки на отказ не менее 2190 ч. Среднее время восстановления должно быть не более 30 мин., включая устранение отказа, ремонт и проверку. Отказ программного обеспечения системы должен предусматривать время реинициализации каждого компонента не более 10 мин. Общее время перерывов или ухудшения характеристик не должно превышать 8 часов 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 ИТС более чем на 20 нс. Временная стабильность сигнала ГКА должна быть не хуже $2 \cdot 10^{-13}$ за 24 ч.

Европейская ШДПС EGNOS создается по заказу и под наблюдением Европейской Тройственной Группы (European Tripartite Group, ETG), объединяющей представителей Европейского космического агентства, Евроконтроля и Европейского сообщества.

Основу EGNOS составляют геостационарные ИСЗ связи Инмарсат III (в будущем Artemis), на которых установлен ретранслятор навигационных сигналов 6,4/1,5754 ГГц с полосой 2,2 МГц относительно центральной частоты 1575,42 МГц, т.е. ретранслируемый навигационный сигнал соответствует сигналу поддиапазона L1 GPS.

Ретранслятор обеспечивает передачу: дальномерного псевдошумового C/A – кода; навигационного сообщения; сообщения о целостности сигналов спутников GPS, ГЛОНАСС и Инмарсат III; вектора корректирующих поправок (три составляющие эфемеридной ошибки, сдвиг шкалы времени КА относительно системной шкалы и уточненные параметры ионосферной модели) для вышеуказанных ИСЗ.

Сеть станции мониторинга обеспечивает информацию (измерение навигационных параметров) для главной станции, осуществляющей расчет поправок, формирование информации о целостности и навигационного сообщения. Для синхронизации измерений используются отдельные наземные станции. Разработка EGNOS ведется с учетом ее перспективы интеграции и унификации с аналогичными системами WAAS и MSAS, поэтому ее построение и принципы функционирования аналогичны построению и принципам работы WAAS, описанным выше.

Система ШДПС MSAS разрабатывается в Японии в предположении ее интеграции с упомянутыми выше системами WAAS и EGNOS, поэтому ее основные характеристики должны соответствовать этим системам. Основное отличие MSAS заключается в том, что ее космический сегмент должен использовать в качестве основы многофункциональный транспортный КА, расположенный на геостационарной орбите.

9. Стандартизация и сертификация в области СРНС

Под эгидой ИКАО были разработаны стандарты и практические рекомендации при применении СНРС (SARPS), которые включали в себя документы, касающиеся глобальной навигационной спутниковой системы (ГЛОНАСС и GPS), геостационарных спутниковых и наземных дополнений. В табл. 14 приведены примеры некоторых нормативных документов EUROCAE (European Organization on Civil Airborne Equipment – Европейская организация по бортовому оборудованию гражданской авиации) и FAA (FAA – Федеральная авиационная администрация - США).

Таблица 14

Организация/ документ	Дата	Наименование	Содержание
RTCA/DO – 178B	01.12.97	Software Considirations in Airborne Systems and Equipment Certification	Оценка программного обеспечения авиационного бортового оборудования и оборудования для его сертификации
RTCA/DO – 200A	28.09.98	Standards for Processing Aeronautical Data, SC- 181 Aviation System	Стандарт в части обработки аэронавигационной информации, которая используется для навигации, планирования полетов, наземной подготовки и т.д.
RTCA/DO – 202	28.11.88	Minimum Perfomance Standards (MASPS) for GPS, SC-159	Приводятся стандарты по минимальным характеристикам для аэронавигации в системе GPS
RTCA/DO – 229	16.01.96	Minimum Operational Perfomance Standard for GPS/WAAS, System Airborne Equipment, SC-159	Стандарт к требуемым минимальным рабочим характеристикам бортовой авиационной аппаратуры GPS/ WAAS
RTCA/DO – 236	27.01.97	MASPS: Required Navigation Perfomance (RNP) for Area Navigation, SC- 181	Стандарт на системы, работающие в условиях применения минимальных навигационных требований

EUROCAE/MOPS 6v5	1998	Minimum Operational Performance Standard for EGNOS/WAAS Receiver, EUROCAE	Стандарт к требуемым минимальным рабочим характеристикам бортовой авиационной аппаратуры GPS/EGNOS/WAAS
EUROCAE ED- 97	01.2000	Interim Technical Statement for EGNOS/WAAS Airborne Equipment, ED-97, Paris, France	Временный технический документ по облику авиационного приемника сигналов систем EGNOS/WAAS
FAA/Order 8400.11	09.1994	Order 8400.11	Распоряжение, относящееся к использованию локальной дифференциальной СРНС для посадки в условиях 1-й категории ИКАО

В качестве примера, иллюстрирующего уровень проработки вопросов, ниже приведены выдержки из содержания «Стандарта к требуемым минимальным рабочим характеристикам бортовой авиационной аппаратуры GPS/ EGNOS/WAAS», аналогичного «Стандарту DO-229».

1. Общйй

1.1. Введение

1.2. Обзор систем

1.2.1. Основание

1.2.2. Система и сигнал EGNOS

1.2.3. Системы WAAS, MSAS

1.2.4. Система и сигнал GPS

1.2.5. Система и сигнал ГЛОНАСС

1.3. Цели функционирования

1.3.1. Общие

1.3.2. Типовые применения

.....
3. Минимальные характеристики при стандартных условиях испытаний

3.1. Общие требования

3.1.1. Обработка сигнала GPS

- 3.1.2. *Обработка сигнала EGNOS/ WAAS*
- 3.1.3. *Чувствительность и динамический диапазон*
- 3.1.4. *Время поиска*
- 3.1.5. *Время поиска КА*
- 3.1.6. *Время повторного поиска КА*
- 3.1.7. *Обработка сообщения EGNOS/ WAAS*
- 3.1.8. *Выбор КА*
- 3.1.9. *Сигналы тревоги/выхода*
- 3.1.10. *Надежность*
- 3.2. *Особенности обеспечения полетов по маршруту и в зоне аэропорта*
- 3.2.1. *Точность*
- 3.2.2. *Целостность*
- 3.2.3. *Динамическое слежение*
- 3.2.4. *Обработка сообщений*
- 3.2.5. *Применение дифференциальных поправок*
- 3.3. *Особенности обеспечения неточного захода*
- 3.4. *Особенности обеспечения точного захода*

.....

6. *Процедуры испытаний*

- 6.1. *Введение*
- 6.2. *Типы испытаний*
- 6.2.1. *Оборудование для испытаний*
- 6.2.2. *Методы и процедуры испытаний*
- 6.3. *Общие условия испытаний*
- 6.4. *Тестовое оборудование*
- 6.5. *Стандартная конфигурация испытаний*
- 6.6. *Стандартные сигналы для испытаний*
- 6.6.1. *Стандартные сигналы GPS для испытаний*
- 6.6.2. *Стандартные сигналы EGNOS/ WAAS для испытаний*
- 6.6.3. *Стандартные сигналы ГЛОНАСС для испытаний*
- 6.6.4. *Влияние нежелательных сигналов*

В РФ проведена разработка 1-й очереди нормативно - технической документации, определяющей возможности и условия внедрения спутниковой аппаратуры в системы безопасности полетов и функционирования ГА. Федеральной авиационной службой России (сейчас – ФАВТ – Федеральное агентство воздушного транспорта) издан приказ № 61 от 04.03.98 «О внедрении в практику ГА РФ бортовых приемников СНС GPS», регулирующий процесс размещения и использования спутниковой аппаратуры, а также другие документы. Разработаны «Технические требования на бортовое оборудование спутниковой навигации как основное средство навигации на этапах маршрутного полета и неточного захода на посадку ВС», нормативный документ по методам определения соответствия бортового оборудования спутниковой навигации техническим требованиям, квалификационные

требования КТ – 3401, а также технические требования к бортовому оборудованию дифференциальной подсистемы ГЛОНАСС.

Определено, что обмен данными приемника СРНС с подсистемами и навигационным комплексом осуществляется в соответствии с ГОСТ 18977 – 79, РТМ 1495 – 75, ГОСТ 26765. 82 – 87 (MIL/STD - 155313), ARINC – 743, ARINC – 429, RS – 232, RS – 422.

В целом, при создании авиационной бортовой спутниковой аппаратуры для ГА сейчас необходимо учитывать следующие документы:

- ФАП – 23, ФАП – 25, ФАП – 29 – федеральные авиационные правила;
- НЛГС П8.1 – нормы летной годности; требования к параметрам окружающей среды;
- КТ – 178А – требования к программно – математическому обеспечению;
- «Технические требования на бортовое оборудование спутниковой навигации как основное средство навигации на этапах маршрутного полета и неточного захода на посадку ВС»;
- интерфейсные контрольные документы ГЛОНАСС и GPS;
- ARINC – 743А, ARINC – 429, RTCA/DO – 208;
- АС – 90 – 94 – требования к бортовой аппаратуре СРНС для условий «Правил полета по приборам»;
- АС – 20 – 138А – требования для сертификации приемника GPS для условий «Правил полета по приборам» и «Правил визуального полета»;
- ГОСТ 18977 – 79 и др.

10. Перспективные СРНС

К перспективным СРНС относится проект европейской СРНС Галилео, разрабатываемой по инициативе ЕС и Европейского космического агентства. Он предусматривает создание и обеспечение функционирования глобальной СРНС под гражданским управлением. Предполагается, что система должна основываться на 21 или более среднеорбитальном КА (СКА), которая дополняется тремя геостационарными КА. Соответствующая наземная инфраструктура будет включать глобальную сеть станций мониторинга, объединяемую с наземными станциями передачи данных на геостационарные КА в единую систему управления, показанную на рис.11.

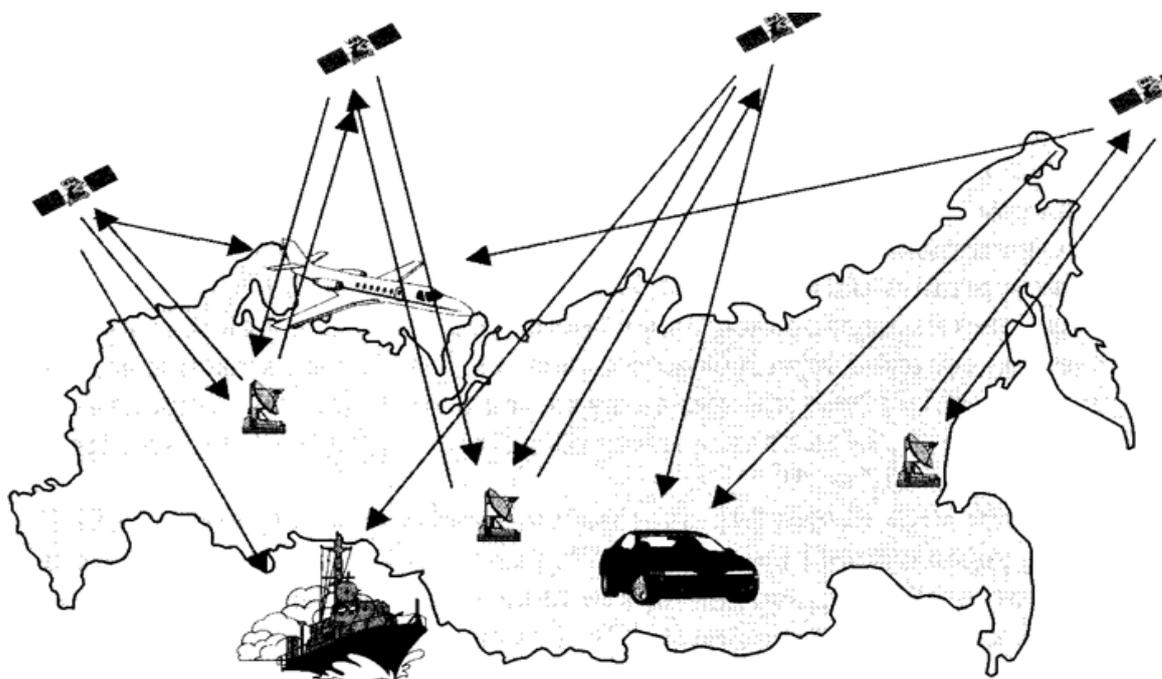


Рис. 11. СРНС Галилео

Предполагается, что Галилео строится на принципах открытой архитектуры, будет совмещаться и взаимодействовать с GPS и, возможно, с ГЛОНАСС. Кроме того, предполагается, что Галилео дополнительно будет включать функции обмена данными, что позволит в большей мере использовать ее для нужд УВД в реальном масштабе времени. При этом системы Галилео и GPS будут независимыми, но совместимыми и взаимодействующими, совместное использование которых должно обеспечить для разных применений требуемые характеристики обслуживания.

Точность определения навигационных параметров Галилео должна существенно превосходить точность общедоступного канала GPS и обеспечивать местоопределение всех потребителей с точностью в несколько метров. Погрешность (2СКО) определения (совместно с GPS) плановых координат должна быть не более 10м при доступности не менее 0,96 и угле места КА более 35 градусов, а погрешности (2СКО) определения высоты должны составлять не более 4м при доступности 0,99999 и угле места КА более 5 градусов. Также характеристики должны удовлетворить требованиям посадки ВС по 1-й категории ИКАО. С локальными дополнениями точность местоопределения ВС над сушей и в прибрежных водах должна быть не хуже 0,5м (2СКО) при доступности 0,99999 и угле места более 15 градусов.

В системе Галилео планируется новая структура сигнала, излучаемого КА, отличающаяся от структуры сигналов систем ГЛОНАСС и GPS более высокой тактовой частотой, что повысит потенциальную точность измерения ПД и скорость передачи потребителям навигационной информации. В совокупности с геометрией расположения навигационных ИСЗ, благоприятной для равномерного расположения рабочих зон навигации по Земному шару, это

будет способствовать достижению в глобальном масштабе более высоких характеристик по точности и доступности навигационного обеспечения потребителей.

При этом применение Галилео в ГА связывается с совершенствованием УВД, уменьшением протяженности маршрутов, с ускоренным доступом в аэропорты и, в конечном счете, с более эффективным использованием ВС и наземной инфраструктуры. Галилео позволит обеспечить заход на посадку в большинстве аэропортов в соответствии с требованиями 1-й категории ИКАО, повысить безопасность полетов и значительно уменьшить стоимость наземной инфраструктуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. - М.: ЭКО – ТРЕНДЗ, 2000.
2. Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации (SARPS). Т. 1 (Радионавигационные средства). ИКАО, 2004.
3. Поправки 76 и 79 к Международным стандартам и Рекомендуемой практике (SARPS). ИКАО, 2001, 2004.
4. Пятко С.Г. Автоматизированные системы УВД. - СПб, 2004.
5. Логвин А.И., Соломенцев В.В. Спутниковые системы навигации и управления воздушным движением. - М.: МГТУ ГА, 2005.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

AAC	Авиационная административная связь.
AAIM	Самолетная автономная система контроля целостности.
ABAS	Бортовое функциональное дополнение.
ACARS	Aircraft Communication Addressing and Reporting System - Система связи воздушных судов для адресации и передачи сообщений.
ACAS	Aircraft Collision Avoidance System - Бортовая система предотвращения столкновений.
ADS	Автоматическое зависимое наблюдение.
ADS-B	ADS в режиме радиовещания.
ADSP	Группа экспертов ИКАО по автоматическому зависимому наблюдению (с 2000 года Группа экспертов ИКАО по эксплуатационному использованию линий передачи данных - OPLINKP).
AFS	Авиационная фиксированная служба.
AFTN	Сеть авиационной фиксированной электросвязи.
AIDC	Обмен данными между средствами ОВД.
AIP	Сборник аэронавигационной информации.
AIREP	Донесение с борта.
AIRMET	Информация о погодных явлениях на маршруте, которые могут повлиять на безопасность полетов воздушных судов на малых высотах.
ALLPIRG	Все председатели региональных групп планирования и внедрения.
AMCP	Группа экспертов ИКАО по авиационной мобильной связи.
AMSS	Авиационная подвижная спутниковая служба.
ANS	Аэронавигационное обслуживание.
ANSEP	Группа экспертов по экономическим аспектам аэронавигационного обслуживания.
AOC	Авиационный оперативный контроль, операционная связь авиакомпаний.
APC	Авиационная связь для пассажиров.
APIRG	Региональная группа планирования и внедрения в
ASAS	регионе AFI. Бортовая система обеспечения эшелонирования.
ASDE	Оборудование для контроля наземного движения в

аэропорту.

ASM	Организация воздушного пространства.
A-SMGCS	Усовершенствованная система контроля и управления движением ВС и других подвижных объектов по аэродрому.
ATCAA	Назначенное воздушное пространство УВД.
ATCO	Диспетчер воздушного движения.
ATFM	Организация потока воздушного движения.
ATIS	Служба автоматической передачи информации в районе аэродрома.
ATM	Организация воздушного движения.
ATMCP	Группа экспертов ИКАО по Концепции ATM.
ATN	Сеть авиационной электросвязи.
ATNP	Группа экспертов ИКАО по сети авиационной электросвязи.
ATSC	Связь для обслуживания воздушного движения.
AZ	Азимут.
BAZ	Обратный азимут.
BORPC	Основные эксплуатационные требования и критерии планирования.
CAID	Приемник с использованием несущей.
CASITAF	Специальная группа по внедрению систем CNS/ATM.
CATC	Учебный центр гражданской авиации.
CDTI	Кабинный индикатор информации о воздушном движении.
CNS	Связь, навигация и наблюдение.
CNS/ATM	Связь, навигация, наблюдение/Организация воздушного движения.
COR	Приемник с узкополосным коррелятором.
CPDLC	Связь "диспетчер - пилот" по линии передачи данных.
CRC	Циклическая проверка избыточности.
DARP	Динамическое планирование авиамаршрутов.
D-ATIS	Служба автоматической передачи информации в районе аэродрома.
DCPC	Цифровая прямая связь "диспетчер - пилот".
DFIS (DATIS, DMETAR)	Полетно-информационное обслуживание по ЛПД (цифровые ATIS и METAR).
DGNSS	Глобальная навигационная спутниковая система с

дифференциальным режимом.

DOP	Снижение точности.
EANPG	Европейская группа аэронавигационного планирования.
EATMS	Европейская система ОрВД.
EVS	Усовершенствованная система визуализации.
FANS	Специальный комитет по будущим аэронавигационным системам.
FANS - этап II	Специальный комитет по контролю и координации разработки и планированию и переходу к будущей системе аэронавигации.
FASID	Документ по внедрению средств и видов обслуживания.
FCC	Вычислитель управления полетом.
FDPS	Система обработки полетных данных.
FIS	Полетно-информационное обслуживание.
FIS-B	Полетно-информационное обслуживание по радиовещательной ЛПД.
FMS	Система управления полетом.
FPL	План полета.
FUA	Гибкое использование воздушного пространства.
GBAS	Наземная система функционального дополнения.
GEO	Геостационарная орбита.
GES	Наземные земные станции.
GLONASS	Глобальная орбитальная навигационная спутниковая система
GMU	Орган контроля глобальной системы определения местоположения.
GNSS	Глобальная навигационная спутниковая система.
GP	Глиссада.
GPIP	Точка захвата глиссады.
GPS	Глобальная система определения местоположения (США).
GRAS	Наземная региональная система функционального дополнения.
HDD	Индикация на электронно-лучевой трубке.
HDOP	Горизонтальное снижение точности.
HUD	Индикация на лобовом стекле.
IAS	Приборная скорость.

ILS	Система посадки по приборам.
IMA	Разделение каналов узлового диспетчерского района.
INS	Инерциальная навигационная система.
IRS	Опорная инерциальная система.
ISO-OSI	Международная организация по стандартизации - взаимодействие открытых систем.
KIN	Приемник кинематического типа.
KLADGNSS	Кинематическая локальная дифференциальная GNSS.
LAAS	Дополнительная система с локальной зоной действия.
LADGNSS	Локальная дифференциальная GNSS.
LADGPS	Локальная дифференциальная GPS.
MAP	Аэронавигационные карты.
MASP	Минимальные требования к характеристикам авиационной системы.
MASPS	Технические требования к минимальным характеристикам бортовых систем.
MDA	Минимальная абсолютная высота снижения.
MDH	Минимальная относительная высота снижения.
MEDUP	Проект модернизации программы применения АЗН в районе Средиземного моря.
MET	Метеорологическое обслуживание аэронавигации.
METAR	Авиационные сообщения о погоде.
MLS	Микроволновая система посадки.
MMALS	Многорежимная бортовая система посадки.
MMR	Многорежимный приемник.
MMW	Миллиметровые волны.
MNPS	Требования к минимальным навигационным характеристикам.
MNT	Метод выдерживания числа Маха.
MTBF	Средняя наработка на отказ.
MTBO	Средняя наработка между перерывами в работе.
MTTR	Средняя наработка до ремонта.
MWO	Орган метеорологического наблюдения.
NAT SPC	Группа планирования систем в Северной Атлантике.
NEAN	Проект создания Североевропейской сети АЗН-В.
NEAP	Проект реализации применений Североевропейской сети АЗН-В.

NOTAM	Извещение, содержащее информацию о введении в действие, состоянии или изменении любого аэронавигационного оборудования, обсуждения и правил или информации об опасности, своевременное предупреждение о которых имеет важное значение для персонала, связанного с выполнением полетов.
NPA	Неточная система захода на посадку.
NPV	Чистая текущая стоимость.
NSE	Погрешность навигационной системы.
NUP	Проект модернизации Североевропейской сети АЗН-В.
OET	Время пролета над препятствием.
OPMET	Оперативная метеорологическая информация.
PA	Точный заход на посадку.
PANS	Правила аэронавигационного обслуживания.
PANS- RAC	Правила аэронавигационного обслуживания. Правила полетов и обслуживание воздушного движения (Doc 4444).
PDOP	Ухудшение точности определения местоположения.
PIRG	Региональная группа планирования.
PPS	Точное позиционное обслуживание (определение местоположения).
PSV	Псевдолит (псевдоспутник).
R и D	Внедрения исследования и разработки приемника.
RA	Рекомендация по разрешению угрозы столкновения.
RADALT	Радиолокационный высотомер.
RAIM	Автономный контроль целостности в приемнике.
RCC	Координационный центр поиска и спасания.
RCP	Требуемые характеристики связи.
RGCSF	Группа экспертов по рассмотрению.
RMS	Среднеквадратическое отклонение.
RNAV	Зональная навигация.
RNP	Требуемые навигационные характеристики.
RSP	Требуемые характеристики наблюдения.
RTSP	Требуемые характеристики всей системы.
RTT	Радиотелеметрический теодолит.
RVR	Дальность видимости на ВПП.
RVSM	Сокращенный минимум вертикального эшелонирования.

S/A	Селективный доступ.
SARPS	Standards And Recommended Practice - Стандарты и рекомендуемая практика.
SBAS	Спутниковое функциональное дополнение.
SCAT I	Специальная категория I.
SEQ	Приемник последовательного типа.
SGS	Земная система координат.
SID	Стандартный маршрут вылета по приборам.
SIGWX	Особые явления погоды.
SMGCS	Система управления наземным движением и контроля за ним.
SPS	Стандартное позиционное обслуживание (определение местоположения).
STAR	Стандартный маршрут прибытия по приборам.
STDMA	Самоорганизующийся многостанционный доступ с временным разделением каналов.
SUA	Воздушное пространство специального использования.
SVS	Система синтезированной визуализации.
TAF	Использования прогноза по аэродрому.
TCAS	Система предупреждения о наличии движения и предотвращения столкновений.
TCDC	Техническое сотрудничество развивающихся стран.
TDMA	Многостанционный доступ с временным разделением каналов.
TERPS	Полет по приборам в районе аэродрома.
TIS-B	Обслуживание информацией о воздушной обстановке – радиовещательное.
TSE	Общая погрешность системы.
URE	Ошибка определения дальности.
UTC	Скоординированное всемирное время.
UTC-SU	Стандарт времени, установленный СССР.
UTC-	Стандарт времени, установленный обсерваторией ВМС
USNO	США.
VAAC	Консультативный центр по вулканическому пеплу.
VDL	ОВЧ-линия цифровой связи.
VDOP	Вертикальное снижение точности.
VOLMET	Метеорологическая информация для ВС в полете.

VOR	Всенаправленный ОВЧ-радиомаяк.
VSM	Минимум вертикального эшелонирования.
АЗН-А	Автоматическое зависимое наблюдение - адресное (контрактное).
АЗН-В	Автоматическое зависимое наблюдение - вещательное (вещательное).
АНК	Аэронавигационная комиссия.
АНО	Аэронавигационное обслуживание.
АНП	Региональный аэронавигационный план.
АРМ	Автоматизированное рабочее место.
БИВО	Бортовой индикатор воздушной обстановки.
БРЭО	Бортовое радиоэлектронное оборудование.
БСПС	Бортовая система предупреждения столкновений.
ВОРЛ	Вторичный обзорный радиолокатор.
ВП	Воздушное пространство.
ВПП	Взлетно-посадочная полоса.
ВС	Воздушное судно.
ВСЗП	Всемирная система зональных прогнозов.
ВЦЗП	Всемирный центр зональных прогнозов.
ВЧ	Высокая частота.
ГЛОНАСС	Глобальная навигационная спутниковая система (Россия).
ЕВРО- КОНТРОЛЬ	Европейская организация по обеспечению безопасности воздушной навигации.
ЕКГА	Европейская конференция гражданской авиации.
ИАТА	Международная ассоциация воздушного транспорта.
ИВО	Индикатор воздушной обстановки.
ИКАО	Международная организация гражданской авиации.
ИЧМ	Интерфейс "человек - машина".
КТС	Комплекс технических средств.
ЛПД	Линия передачи данных.
МВТ	Международные воздушные трассы.
ОВД	Обслуживание воздушного движения.
ОВЧ	Очень высокие частоты.
ОрВД	Организация воздушного движения.
ПВП	Правила визуальных полетов.
ПИО	Полетно-информационное обслуживание.

ППП	Правила полетов по приборам.
ПРЛ	Первичный радиолокатор.
РДЦ	Районный диспетчерский центр.
РПИ	Район полетной информации.
РЦЗП	Региональный центр зональных прогнозов.
РЧ	Радиочастота.
С/А	Грубый код.
САИ	Служба аэронавигационной информации.
СДПЛПД	Связь "диспетчер-пилот" по линии передачи данных.
СНН/ОрВД	Связь, навигация, наблюдение/Организация воздушного движения.
УВД	Управление воздушным движением.
ЦПИ	Центр полетной информации.