

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ГОЛОВНОЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ПО ОРГАНИЗАЦИИ
ПЕРЕПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ
И РУКОВОДЯЩИХ КАДРОВ СИСТЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**ОТРАСЛЕВОЙ ЦЕНТР ПЕРЕПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
по модулю
“АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ”**

**направления
“УПРАВЛЕНИЕ ВОЗДУШНЫМ
ДВИЖЕНИЕМ”**

Тошкент – 2021

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ГОЛОВНОЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ПО
ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ И РУКОВОДЯЩИХ
КАДРОВ СИСТЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**ОТРАСЛЕВОЙ ЦЕНТР ПЕРЕПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ ПРИ
ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ**

УЧЕБНО–МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

по модулю

**“АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ
ДВИЖЕНИЕМ”**

Направления

“УПРАВЛЕНИЕ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ”

Разработал: ст.преподаватель Ю.Н. Тураев

Ташкент-2020

Данный учебно-методический комплекс разработан на основании учебного плана и программы утвержденного приказом Министерства высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан № 648 от 7 декабря 2020 года

Разработал: Тураев Ю.Н. - ТГТУ ст.преподаватель.

Рецензент: А.Абдукаюмов- ТГТУ профессор, д.т.н.

Данный учебно-методический комплекс рекомендован к использованию Советом Ташкентского государственного технического университета (протокол № 4 от 18 декабря 2020 года).

СОДЕРЖАНИЕ

I.	Рабочая программа.....	5
II.	Интерактивные методы обучения, используемые в модуле.....	11
III.	Теоретические материалы.....	13
IV.	Материалы практических занятий.....	82
V.	Банк кейсов.....	155
VI.	Глоссарий.....	157
VII.	Список литературы.....	160

I. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Введение

Гражданская авиация стала одним из важных факторов мирового развития. Глобализация межгосударственных и межнациональных отношений, укрепление экономических связей, расширение гуманитарных отношений и, в частности, развитие туризма – вот далеко не полный список областей человеческой деятельности, где гражданская авиация играет важнейшую роль. Научно-технический прогресс в гражданской авиации проявляется в нескольких направлениях. Прежде всего это относится как к увеличению разнообразия используемых типов летательных аппаратов (начиная с малой коммерческой авиации и заканчивая широкофюзеляжными аэробусами и сверхзвуковыми воздушными лайнерами), так и к повышению общего объема воздушных перевозок, сопровождающемуся ростом числа трасс их протяженности.

Дисциплина «Автоматизированные системы управления воздушным движением» относится к числу основополагающих для диспетчеров по управлению воздушным движением, дающая глобальные профессиональные знания, прививающая практические навыки, закладывающая базовые знания в области эксплуатации средств управления и обслуживания воздушного движения.

Цель и задачи модуля

Целью изучения дисциплины является формирование у обучающихся систематизированных знаний о назначении, принципах работы, устройстве, основных характеристиках, порядке эксплуатации современных и вводимых в эксплуатацию в гражданской авиации страны средств автоматизации управления воздушным движением.

Задачами модуля являются:

– назначение, решаемые задачи и основные эксплуатационные и технические характеристики существующих средств автоматизации УВД;

- состав оборудования и функционирование существующих АС УВД;
- основы технической эксплуатации аппаратуры отображения, комплексов средств автоматизации и АС УВД.

Требования, предъявляемые к знаниям, умениям и навыкам по модулю

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

иметь представление перспективах и тенденциях развития АС УВД; зарубежных АС УВД и их особенностях; перспективах внедрения в мире и в Узбекистане сегментов системы автоматического зависимого наблюдения (АЗН) в соответствии с концепцией CNS/ATM; принципах взаимодействия средств отображения информации и автоматизации УВД с бортовым и наземным сегментами АЗН.

При изучении дисциплины учебным планом предусмотрены лекции, практические занятия и самостоятельные работы;

- **знать** назначение, решаемые задачи и основные эксплуатационные и технические характеристики существующих средств автоматизации УВД **и уметь** адекватно воспринимать координатную, картографическую, метеорологическую и плановую информацию, представляемую с помощью устройств отображения, технически грамотно использовать органы оперативного управления средств автоматизации УВД.

- **приобрести навыки** выполнять технологические операции по обслуживанию воздушного движения, контролировать работоспособность используемого оборудования.

Взаимосвязь учебного модуля с другими модулями

Модуль является один из начальных в цикле специальных дисциплин по изучению процесса управления воздушным движением. Знания, полученные при изучении данной дисциплины, используются в последующих профилирующих дисциплинах, таких как «Технология работы диспетчера УВД» и «Организация обслуживания воздушного

движения». В связи с этим данный модуль имеет тесную связь с остальными модулями обучения.

Взаимосвязь учебного модуля с другими модулями

Модуль является одним из начальных в цикле специальных дисциплин по изучению процесса управления воздушным движением. Знания, полученные при изучении данной дисциплины, используются в последующих профилирующих дисциплинах, таких как «Технология работы диспетчера УВД», «Организация обслуживания воздушного движения» и «Автоматизированные системы УВД». В связи с этим данный модуль имеет тесную связь с остальными модулями обучения.

Рекомендации по проведению и организации модуля

При проведении обучения запланировано использование современных методов, педагогических и информационно - коммуникативных технологий:

- лекции запланированы проводить в форме презентаций с использованием современных компьютерных технологий;
- практические занятия запланировано проводить с помощью интерактивных методов.

Распределение времени между составляющими модуля:

№	Темы	Учебная нагрузка, час			
		Итого	Теоретические	Практические	Выездное
1.	Автоматизация процессов организации и обслуживания воздушного движения.	4	2	2	
2.	Автоматизированные системы управления воздушным движением, вычислительные системы и программное обеспечение.	4	2	2	

3.	Процесс мониторинга с помощью информационных технологий в управлении воздушным движением..	8	2	2	4
4.	Системы информационных технологий в управлении воздушным движением	4	2	2	
	Общие	20	8	8	4

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ МОДУЛЯ

Тема - 1 Автоматизация процессов организации и обслуживания воздушного движения.

Автоматизация процессов организации и обслуживания воздушного движения. Задачи и классы автоматизированных систем управления воздушным движением и средств автоматизации, используемых в гражданской авиации.

Тема – 2. Автоматизированные системы управления воздушным движением, вычислительные системы и программное обеспечение.

Изучение безопасности вычислительных процессов. Автоматизированные системы управления воздушным движением, вычислительные системы и программное обеспечение. Обеспечение безопасности в компьютерных сетях. Работа с информацией.

Тема – 3: Процесс мониторинга с помощью информационных технологий в управлении воздушным движением.

Автоматизация обработки плановой информации. Автоматизация обработки метеорологической информации. Процесс мониторинга с помощью информационных технологий в управлении воздушным движением. Автоматизация мониторинга воздушного движения. Автоматическое зависимое отслеживание

Тема – 4: Системы информационных технологий в управлении воздушным движением.

Обработка радиолокационной информации. Первичная обработка радиолокационной информации. Вторичная обработка радиолокационной информации. Третичная обработка радиолокационной информации. Показать информацию. Системы информационных технологий в управлении воздушным движением.

СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1-практическое занятие: Задачи и классы автоматизированных систем управления воздушным движением и средств автоматизации, используемых в гражданской авиации РУз.

Ознакомление автоматизированных систем управления воздушным движением и средств автоматизации, используемых в международном аэропорте Ташкента им.И.А.Каримова.

2-практическое занятие:Вычислительные комплексы и программное обеспечение АС УВД.

Классификация вычислительных комплексов АС УВД. Требования, предъявляемые к вычислительным комплексам АС УВД. Аппаратные и программные средства вычислительных комплексов АС УВД. Масштаб реального времени; вычислительная мощность; принципы выбора аппаратных и программных средств для АС УВД.

Синхронизация времени в системах УВД. Единое системное время. Синхронизация сервера АС УВД по данным GNSS-приемника; синхронизация автоматизированных рабочих мест и внешних устройств АС УВД.

3-практические занятия: Обеспечение безопасности в информационно-вычислительных сетях.

Методы и средства обеспечения безопасности в информационно-вычислительных сетях; защита операционных систем и данных. Особенности обеспечения безопасности в АС УВД.

4-практические занятия: Автоматизация обработки плановой информации и метеорологической информации

Назначение и задачи систем обработки плановой информации. Общие сведения об организации обмена плановой информацией в структуре Единой системы организации воздушного движения (ЕС ОрВД). Источники плановой информации в АС УВД. Программное обеспечение вычислительных комплексов для решения задач планирования воздушного движения. Базы данных как основа построения систем обработки плановой информации. Общие сведения об автоматизации обработки метеорологической информации в системах автоматизации УВД. Источники метеорологической информации в АС УВД. Представление метеорологической информации в АС УВД.

ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Форма обучения отражает такие внешние стороны учебного процесса, как способ его существования: порядок и режим; способ организации обучения: лекция, семинар, самостоятельная работа и пр; способ организации совместной деятельности обучающего и обучающихся: фронтальная, коллективная, групповая, индивидуальная.

При обучении важным является выбор формы организации учебной деятельности участников:

- Коллективная – коллективное, совместное выполнение общего учебного задания всеми студентами. Характер полученного результата: итог коллективного творчества.

- **Групповая** – совместное выполнение единого задания в малых группах. Характер полученного результата: итог группового сотрудничества на основе вклада каждого.

- **Индивидуальная** – индивидуальное выполнение учебного задания. Характер полученного результата: итог индивидуального творчества. Обычно предшествует групповой работе.

II. ИНТЕРАКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МОДУЛЕ.

МЕТОД "МОЗГОВОЙ ШТУРМ"

Мозговой шторм (брейнсторминг - мозговая атака) – метод коллективной генерации идеи решения научной или практической задачи.

Во время мозгового шторма участники стремятся совместно решить сложную проблему: высказывают свое мнение по решению задачи (генерируют), отбирают наиболее соответствующие, эффективные и оптимальные идеи без критики остальных вариантов, обсуждают отобранные идеи и развивают их, а также оцениваются возможности их обоснования или опровержения.

Основная цель мозговых атак – активизация учебной деятельности, самостоятельное изучение проблемы и развитие мотивации его решения, культура общения, формирование коммуникативных навыков, избавление от инерции мышления и преодоление привычного хода мышления при решении творческой задачи.

- **Прямой коллективный мозговой шторм** – обеспечивает сбор максимального числа мнений настолько это возможно. Вся группа исследования (не более 20 человек) занимается решением одной проблемы.

- **Массовый мозговой шторм** – дает возможность резко повысить эффективность генерации идей в большой аудитории, разделенной на микрогруппы.

- В каждой группе решается один из аспектов проблемы.

Разработка метода «Мозговой штурм»:

вопросы:

1. Как расшифровывается (КСА ТУК)?
2. Как расшифровывается (NOTAM)?
3. Как расшифровывается АРМК ?
4. Как расшифровывается МРЛ ?
5. Как расшифровывается ADS-C?
6. Как расшифровывается ADS-B?
7. Как расшифровывается РЛИ ?
8. Как расшифровывается ЭВМ?
9. Как расшифровывается ГОИ?
10. Как расшифровывается АСУ?

ТЕХНИКА ИНСЕРТ

III. СОДЕРЖАНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Инсерт – это интерактивная система пометок в тексте для эффективного чтения и мышления.

Инсерт – это процедура, которая начинается с актуализации предыдущих знаний и постановки вопросов для пометок в тексте. Затем идет разметка различных видов информации, которая встречается в тексте.

Инсерт – это мощный инструмент, обеспечивающий возможность обучающимся активно отслеживать свое собственное обучение в процессе работы с текстом.

Инсерт – это техника обучения, которая используется для решения комплексных задач усвоения и закрепления учебного материала, развития учебных умений работы с книгой.

III. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

ТЕМА № 1. Автоматизация процессов организации и обслуживания воздушного движения.

План:

1. Автоматизированные системы управления воздушным движением (АС УВД.)
2. Функции перспективных автоматизированных систем.
3. Аппаратные и программные средства

Ключевые слова: АС УВД, автоматизации процессов ОВД, классификация, функции, информационная технология.

1.1 Автоматизированные системы управления воздушным движением (АС УВД).

Автоматизированные системы управления воздушным движением (АС УВД) являются естественным этапом развития технических средств, использовавшихся в этой области. От других широко распространенных в технике средств автоматизации АС УВД с самого начала отличались тем, что их целью была передача техническим средствам функций, а не выполнение отдельных операций. В связи с этим уже первые АС УВД должны были обладать высокой степенью сложности, так как были призваны исполнять цепочки действий, заменяя, таким образом, авиадиспетчера службы обслуживания воздушного движения (ОВД).

Эти функции включали различные этапы обработки информации о воздушной обстановке и реализовывались в виде некоторых алгоритмов, т. е. определенных предписаний. Термин «алгоритм» применен здесь не в строгом математическом смысле, тем не менее ясно, что немислимо проводить автоматизацию в области ОВД без использования вычислительной техники достаточно высокой мощности, адекватной сложности решаемых задач.

Рассмотрим специфические особенности деятельности авиадиспетчера при ОВД. Это поможет глубже разобраться в существе дела, а именно в автоматизации процессов ОВД. Эти функции включали различные этапы обработки информации о воздушной обстановке и реализовывались в виде некоторых алгоритмов, т. е. определенных предписаний.

Термин «алгоритм» применен здесь не в строгом математическом смысле, тем не менее ясно, что немислимо проводить автоматизацию в области ОВД без использования вычислительной техники достаточно высокой мощности, адекватной сложности решаемых задач.

Рассмотрим специфические особенности деятельности авиадиспетчера при ОВД. Это поможет глубже разобраться в существе дела, а именно в автоматизации процессов ОВД.

Авиадиспетчер, как правило, выполняет следующие функции:

- 1) наблюдение — получение информации о воздушной обстановке и первичное оценивание данных измерений;
- 2) анализ данных — оценка их достоверности, идентификация классификация и оценка параметров движения каждого воздушного судна (ВС);
- 3) обобщение — формирование общей картины воздушной обстановки;
- 4) оценивание — распознавание опасных ситуаций; отклонений от плановой траектории, потенциально конфликтных ситуаций, опасных сближений и т. д.;
- 5) выработка решений — рассмотрение возможностей разрешения стандартных и нестандартных ситуаций;
- б) передача команд на ВС. контроль правильности их получения и исполнения.

С ростом интенсивности и плотности воздушного движения (ВД), появлением высокоскоростных ВС большой пассажироместимости нагрузка авиадиспетчера возрастает настолько, что существенно повышается вероятность принятия им ошибочного решения или пропуск (несвоевременное обнаружение) опасных ситуаций. Простое увеличение количества авиадиспетчеров не дает желаемого результата, так как увеличиваются объем и интенсивность обмена информацией между ними.

Единственный выход заключается в передаче части функций авиадиспетчера вычислительной системе. При этом возникает вопрос о степени автоматизации. В любой области существует некоторая рациональная степень автоматизации производственных процессов, начиная от автоматизации отдельных операций и заканчивая построением полностью АС, в работе которых функции человека ограничиваются лишь контролем и может быть, заданием режима работы. В зоне управления авиадиспетчера находится, как правило, не одно, а множество ВС. С увеличением их числа сложность управления, связанная прежде всего с возникновением опасных ситуаций, растет не по линейному, а по экспоненциальному закону.

Сравнивая с условиями работы пилота на борту воздушного судна, можно утверждать, что при прочих равных условиях, авиадиспетчеру приходится вмешиваться в процесс управления значительно чаще, чем пилоту. Это означает, что даже при наличии в АС УВД мощного вычислителя, взявшего на себя все достоверности, идентификация, классификация и оценка параметров движения каждого воздушного судна (ВС) ложится на плечи авиадиспетчера и включает в себя следующие элементы;

- 1) обобщение — формирование общей картины воздушной обстановки;
- 2) оценивание — распознавание опасных ситуаций, отклонений от плановой траектории, потенциально конфликтных ситуаций, опасных

сближений и т. д.;

3) выработка решений — рассмотрение возможностей разрешения стандартных и нестандартных ситуаций;

4) передача команд на ВС. контроль правильности их получения и исполнения.

Сократить число нестандартных ситуаций, для которых не рассчитаны алгоритмы управления, возможно, если пойти по известному пути создания адаптивных экспертных систем. Они, однако, предполагают выработку новых алгоритмов (стратегий) в процессе работы (самообучения), что неприемлемо в реальных условиях функционирования системы обслуживания воздушного движения, так как не гарантирует от принятия ошибочных решений.

АС УВД выполняют следующие функции:

1) сбор и объединение радиолокационных данных для представления авиадиспетчерам информации о текущей ситуации движения;

2) сбор и распределение полетных данных и треков, обмен данными между смежными центрами организации воздушного движения (ОрВД) для выполнения автоматической координации полетов и экспорта данных к внешним системам;

3) консультативная функция и функция предупреждения;

4) сопровождение информации о состоянии окружающей среды (аэронавигационная и метеорологическая);

5) запись данных и архивирование для воспроизведения в случае происшествия.

Архитектура АС УВД обеспечивает полную готовность к обеспечению функций обслуживания воздушного движения и функции отказоустойчивости с помощью:

1) дублирования серверов;

2) дублирование локальных сетей;

3) распределенная обработка радиолокационных данных, находящихся на рабочих станциях (в режиме by-pass);

4) надежное высокопроизводительное оборудование;

5) надежные программные алгоритмы, содержащие процедуры самовосстановления.

Аппаратная и программная части АС УВД основываются на стандартных интерфейсах, которые обеспечивают открытую архитектуру системы. Это позволяет обеспечивать наращивание мощности системы в будущем.

Состав АС УВД:

1) главное технологическое оборудование;

2) рабочие места авиадиспетчеров;

3) средства мониторинга и управления системой (рабочее место инженера);

4) вспомогательное оборудование.

Состав главного технологического оборудования:

1) модулей компрессии радиолокационных данных;

- 2) сервера обработки данных наблюдения;
- 3) сервер обработки полетных данных.

Создание АС УВД нового поколения представляет собой сложную и трудоемкую научно-техническую проблему. Ее решение требует привлечения значительных сил и средств. В данной работе используется новый подход к созданию системы, на котором строится ее техническая реализация.

Он основан на следующих принципиальных положениях:

- АС УВД рассматривается как информационно-вычислительная система (ИВС);
- вся информация представляется в цифровой форме;
- система имеет сетевую структуру;
- система имеет функциональную иерархию уровней;
- система топологически однородна, состоит из модулей;
- техническая реализация системы рассчитана на максимальное применение стандартных аппаратных и программных средств, элементной базы промышленного производства

Перечень задач, решаемых при разработке системы, представлен на рис. 1. Методология создания систем обработки данных в последние годы претерпела коренные изменения. Термин «технология» применительно к современным методологиям показывает, что они основаны на формализованных дисциплинах с точными, продуманными методами, а не изобретаемыми по ходу дела и часто некорректными. Строго говоря, термин «информационная технология» (ИТ) относится к набору взаимосвязанных дисциплин, которые требуются для создания и построения компьютеризированных систем, основывающихся на современных. Основа информационной технологии — данные, а также информация, извлекаемая из этих данных. Информационная технология предполагает формализацию методов создания интегрированных баз данных. Современных сложных автоматизированных систем. Начнем с предпосылок применения ИТ для создания систем аэроконтроля нового поколения.

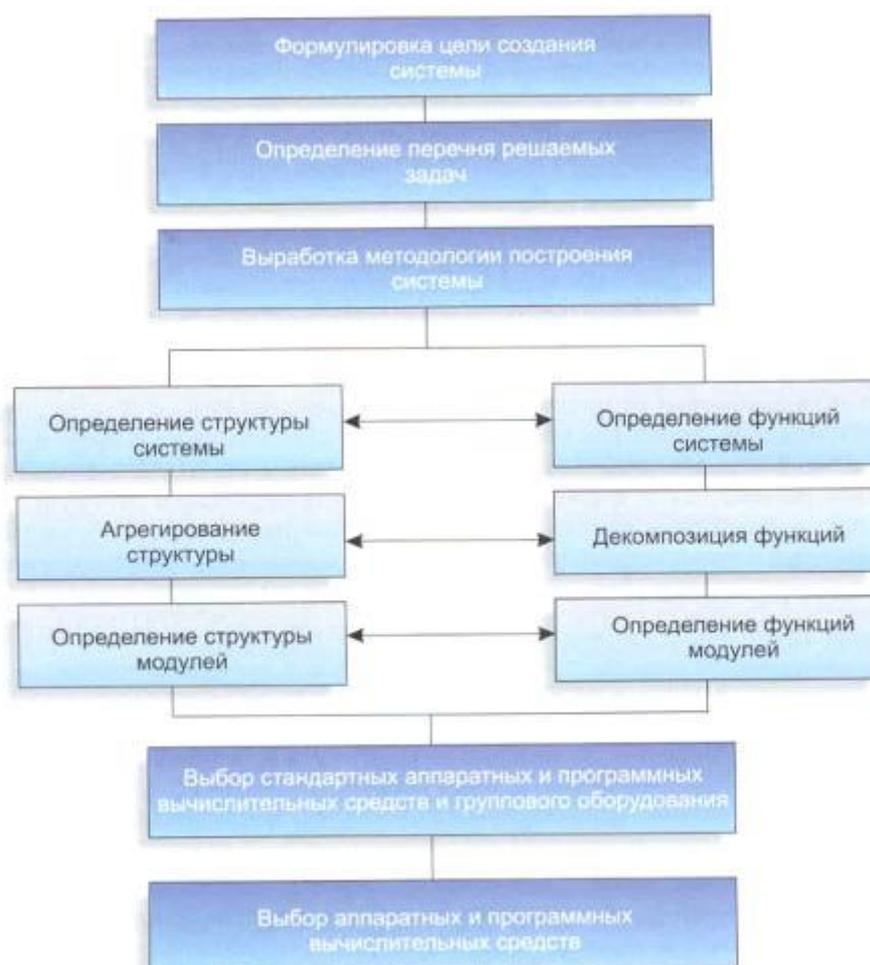


Рис. 1. Перечень задач, решаемых при разработке системы

Первая и основная предпосылка создания информационной технологии автоматизированных систем в ГА, включая и АС УВД, состоит в том, что в центре современного управления производством и процессом принятия решений находятся данные о функционировании транспортной системы. Данные хранятся и ведутся с помощью различных систем управления базами данных. В мировой практике при создании сложной наукоемкой продукции в последнее время используются технологии, получившие название PDM (ProductDataManagement). В узком смысле PDM технология есть совокупность методов представления в электронном виде полных данных об изделии и процессе его производства. Соответственно PDM-система рассматривается как интегрированная единая логическая модель данных об изделии, поддерживаемая соответствующими программными средствами хранения данных и доступа к ним.

Полная доступность и является тем свойством PDM-систем, которое обусловило существенный положительный эффект, заключающийся в сокращении сроков разработки изделий, снижении трудоемкости проектирования и технологического обеспечения. Сформированная выше сущность PDM-технологии (в дальнейшем — информационной технологии, или ИТ), естественно, должна быть конкретизирована для определенной предметной области (в нашем случае — области ОВД).

Вторая предпосылка создания информационной технологии заключается в том, что типы используемых данных в течение достаточно долгого периода времени стабильны. Объект — это то, о чем мы храним данные, например: «воздушное судно», «аэропорт», «радиолокатор», «радиомаяк» и т. д. Типы объектов не изменяются на протяжении длительного срока, за исключением относительно редких добавлений новых типов объектов. Типы атрибутов этих объектов также изменяются редко. Значения данных меняются постоянно, но структура этих данных изменяется не часто, если с самого начала системы были хорошо спроектированы. Имея определенный набор типов элементов данных, можно найти оптимальный способ их логического построения, тем самым создав устойчивую модель данных. И наконец, третья предпосылка создания информационной технологии разработки системы состоит в ее экономической целесообразности. Ясно, что работа, основанная на этих положениях, требует немалых затрат. Минимизация краткосрочных затрат на разработку ИТ приводит к высокой стоимости обслуживания в дальнейшем и препятствует созданию ИТ, которые позволили бы быстро и недорого реализовать приложения. Здесь необходимо отметить, что расходы на разработку информационной технологии относятся к тому виду затрат, которые следует рассматривать как капитальные вложения в основные средства производства. Как и оборудование, информационная технология будет служить многие годы. Если разработчикам удастся создать стабильные структуры данных на основе моделей данных, срок службы такой ИТ составит не менее 10 лет, а возможно, и более. Фундамент ИТ будет жизнеспособным, только если данные правильно идентифицированы и структурированы так, чтобы ими можно было пользоваться с достаточной гибкостью. Это непростая задача. Общую методологию построения информационно-вычислительных систем можно представить в виде нескольких блоков (рис. 2)

Первый (верхний) блок представляет создание информационно-топологической модели системы. Модель системы должна отражать не только существующие взаимосвязи, например, с источниками информации, но и возможные в будущем. При построении модели следует изучить все источники информации, необходимые для функционирования системы, включая и те, которые в текущий момент не используются (например, спутниковые системы слежения и связи).

Второй блок — это стратегический план данных; два этих блока вместе служат фундаментом компьютеризованной организации и составляют предмет данного проекта. Они обеспечивают гарантию, что вместо множества отдельных АРМов (разрабатываемых различными исполнителями) с несовместимыми данными будет построена интегрированная система данных, отвечающая всем требованиям, предъявляемым к таким системам.

Третий блок связан с построением стабильных детальных моделей

данных. Над этой задачей уже могут работать различные исполнители, имеющие дело с определенными группами объектов или предметных баз данных, но уже в рамках единой информационной модели системы. Три нижних блока образуют ту основу, на которой будет строиться автоматизированная система. Как только они будут построены целиком или частично, можно начать разработку вычислительных процедур и алгоритмов обработки данных. Затем процедуры и алгоритмы реализуются в виде физического проекта баз данных. И только после этого физический проект баз данных программируется на одном из процедурных языков и разрабатываются прикладные программы для решения функциональных задач.



Рис. 2. Синтез информационной системы

Разработка информационной модели системы и стратегическое планирование информационных ресурсов проводятся с привлечением новых технологий.

Построение ИВС должно начинаться с закладки фундамента системы — стратегического планирования информационных ресурсов и информационной модели системы.

Методология разработки информационной модели должна удовлетворять таким требованиям, как надежность, достоверность, длительный жизненный цикл системы, возможность ее наложения на существующую организационную структуру, исключать неоправданное дублирование потоков информации и баз данных, необходимых для управления и принятия решений, обеспечивать качественный анализ данных, и все это — при максимально сжатых сроках создания системы.

Наиболее полно отвечает этим условиям методология, органично сочетающая в себе два процесса: планирование «сверху вниз» и проектирование «снизу вверх».

Первым шагом на пути планирования является создание схемы или модели системы в укрупненном виде, т. е. выделение основных функциональных областей. Оно должно по возможности охватывать все, включая планируемые в перспективе направления работы, что обеспечит длительный период существования информационной модели и, следовательно, проектируемой АС УВД.

Вторым (после составления модели функциональных областей) этапом создания системы следует считать ее детализацию в части выделения процессов, происходящих в каждой области (первичная и вторичная обработка, обработка плановой информации и т. д.).

Проектирование стабильной, хорошо документированной и в основном неизбыточной структуры данных в конечном счете обеспечивает более простую и ясную форму обработки данных, чем вложение отдельно проектируемых данных в десятки и сотни процессов.

Накладывая список предметных баз данных на процессы и анализируя результат с точки зрения создания или использования конкретной БД тем или иным процессом, определяем базы данных, характерные для протекания процессов внутри подсистем, и внешние базы данных (ППЛ, ЛТХ, РЛС и т. д.). Здесь необходимо отметить, что процесс планирования сверху заканчивается в момент определения укрупненных БД (классов данных) и описания конкретных данных, необходимых для решения всех возможных задач. Создание структуры предметных БД относится уже к процессу проектирования снизу. Аналогичным образом проводится последний этап проектирования информационной модели системы. Таким образом, можно подвести черту, определив исходные данные (обобщенная модель процессов в АС УВД), методы решения (планирование сверху и проектирование снизу) и конечный результат (информационную модель) методологии создания автоматизированной системы управления воздушным движением.

Следует отметить, что в отличие от «обычных» ИВС основные операции по обработке данных о ВД должны производиться в реальном времени. В связи с этим соответствующие базы данных имеют гибкую структуру, отличную от РБД (используемых, например, для составления финансово-экономических отчетов).

В заключение заметим, что описанная выше методология была в достаточной мере реализована при разработке АС УВД «Альфа» и системы «Норд», что позволило создать эти ИВС в довольно сжатые сроки.

1.2. Функции перспективных автоматизированных систем.

Автоматизация функций УВД является главным фактором повышения безопасности, пропускной способности и эффективности управления на всех фазах полета. При этом улучшаются условия работы для диспетчерского инженерного персонала, повышается производительность их труда. Важнейшей задачей автоматизации процессов УВД является

снижение риска диспетчерских ошибок. Кроме того, автоматизация позволяет сократить эксплуатационные затраты системы. Автоматизация обеспечивает обработку, хранение и обмен все большими объемами информации, с постоянно возрастающей скоростью при повышении достоверности и точности.

Эксплуатационные задачи, стоящие перед автоматизацией в целях увеличения пропускной способности и безопасности УВД при улучшении условий труда диспетчеров, заключаются в следующем:

1) улучшении процессов наблюдения, включая сбор, обработку и хранение информации от различных источников:

- обзорных РЛ, ПРЛ, ВРЛ, АРП;

- АЗН;

- планов полетов;

- метеорологических данных;

- развитие цифровой связи для обмена сообщениями между органами ОВД и обеспечение диалога между пилотом и диспетчером (CPDLC);

2) реализация и развитие функций предотвращения столкновений:

- между ВС в полете;

- между ВС на земле;

- между ВС и землей; совершенствование дружественного интерфейса человек—машина за счет использования передовых средств диалога (экран с высоким разрешением, многооконный интерфейс, плазменные экраны, «мышь»);

3) развитие средств наблюдения и помощи в принятии решений:

- прогнозирование траекторий полета;

- обнаружение конфликтных ситуаций;

4) разрешение конфликтов:

- автоматическое обнаружение отклонений от траектории;

- развитие элементов искусственного интеллекта (экспертных систем); оптимизированное присвоение кода ВРЯ в соответствии с принципом ORCAM (OriginatingRegionCodeAssignmentMethod);

5) корреляция между бесконфликтными траекториями и данными наблюдений (текущими и экстраполированными).

Степень реализации этих функций будет повышаться по мере развития стратегии CNS/ATM. Аппаратные и программные средства, с помощью которых обеспечивается поддержка функций автоматизированной обработки, должны удовлетворять ряду требований. Общие требования к перспективным системам определяются рамками новой концепции развития связи, навигации и наблюдения в целях управления ВД (CNS/ATM). Ввиду важности этих технических требований, часть которых являются новыми, следует уточнить их содержание. Перечислим основные характеристики, непосредственно влияющие на уровень безопасности полетов, дав им строгие определения:

1. Готовность. Свойство системы выполнять заданные функции по соответствующей инициации. Количественной мерой готовности является

отношение фактического времени (длительности) функционирования от подачи сигнала инициации до завершения предписанных операций к запланированному времени (интервалу) функционирования. С готовностью связана полнодоступность, заключающаяся в отсутствии задержек инициации системы или латентного интервала времени, обусловленного, например, «занятостью» системы.

2. Целостность. Свойство системы обнаруживать и исправлять ошибки двух родов:

- Ошибочное действие (сообщение) расценивается как правильное («пропуск ошибки», или «ложная тревога»);
- Правильное действие (сообщение) квалифицируется как ошибочное («пропуск сигнала»).

В качестве меры целостности обычно принимаются соответствующие вероятности или их комбинация. С содержательной точки зрения целостность отражает степень доверия к действиям системы и их результатам.

3. Непрерывность. Свойство системы выполнять в реальном времени свои функции без незапланированных прерываний в течение заранее заданного периода работы. За количественную меру непрерывности обычно принимают вероятность отсутствия прерываний. На практике численно ее можно оценивать как отношение суммарного времени прерываний к общему (заданному) времени функционирования.

4. Эргономичность. Свойство системы, состоящее в доступности и удобстве работы с ней человека-оператора, включая управление, контроль и предоставление необходимой информации.

5. Надежность. Свойство системы выполнять все свои функции, адекватно реагируя как на заранее определенные воздействия, так и на их отсутствие. Нарушение этого свойства расценивается как отказ. Обычно принято оценивать степень надежности вероятностью отказов или временем наработки на отказ. Следует различать отказ и неисправность. В последнем случае речь идет о ситуации, когда выход из строя отдельных элементов не приводит к нарушению работоспособности системы в целом.

6. Открытость. Свойство информационных систем, состоящее в наличии возможностей замены программных и аппаратных средств или внесения в них ограниченных изменений. Степень открытости определяется пределами этих ограничений и обусловлена соответствующими конструктивными и технологическими мерами.

7. Эксплуатационные требования (ОР). Заявления эксплуатационных атрибутов, обеспечивающих эффективное использование системы, в том числе и с экономической точки зрения. При этом разработчик АС УВД должен стремиться обеспечить наивысшие характеристики, в то время как допустимые их значения определяются нормативными документами (стандартами).

По своим характеристикам конкретные системы аэроконтроля отличаются друг от друга. Они могут иметь и различную структуру, т. е. разбиение на

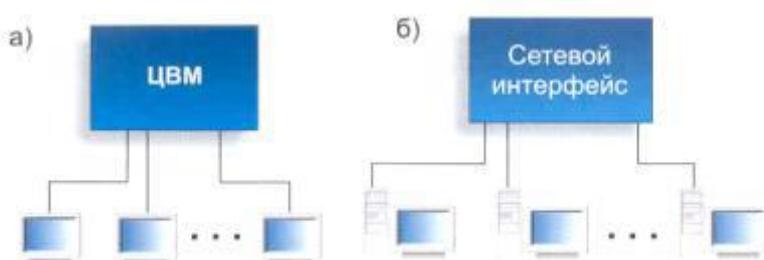
отдельные функциональные части (подсистемы) и средства их объединения в единое целое. АС УВД высокого уровня следует рассматривать как разновидность корпоративных ИВС. Для них характерны большая вычислительная мощность, развитой интерфейс и наличие периферийного оборудования (как источников, так и потребителей информации).

Одной из главных характеристик ИВС является их архитектура. При всей схожести понятий структуры и архитектуры применительно к ИВС они имеют разный смысл. Если структура — понятие функциональное, то архитектура учитывает также и пространственное расположение составных частей ИВС (в связи с этим иногда применяют термин «информационно-топологическая структура»).

Рациональная архитектура АС УВД позволяет, с одной стороны, «вписаться» в структуру ЕС ОпВД, а с другой — в значительной мере определяет состав и характеристики аппаратных и программных вычислительных средств.

Известны информационно-вычислительные системы с архитектурой четырех типов (можно в некотором смысле соотнести их с определенными периодами развития ИВС). Они различаются, прежде всего, по способу организации и конфигурации вычислительных ресурсов, ограничивающих средства централизованной и распределенной обработки (три типа архитектуры ИВС представлены на рис. 3).

Первый тип — полностью централизованная информационно-вычислительная система, построенная на базе мейнфреймов (центральных ЭВМ) по принципу «одно предприятие — один центр обработки». В качестве стандартной среды приложений служили операционные системы MVS ЦВМ IBM (системы ЕС). Этот тип организации ИВС получил исторически наибольшее распространение в 60-70-х гг.



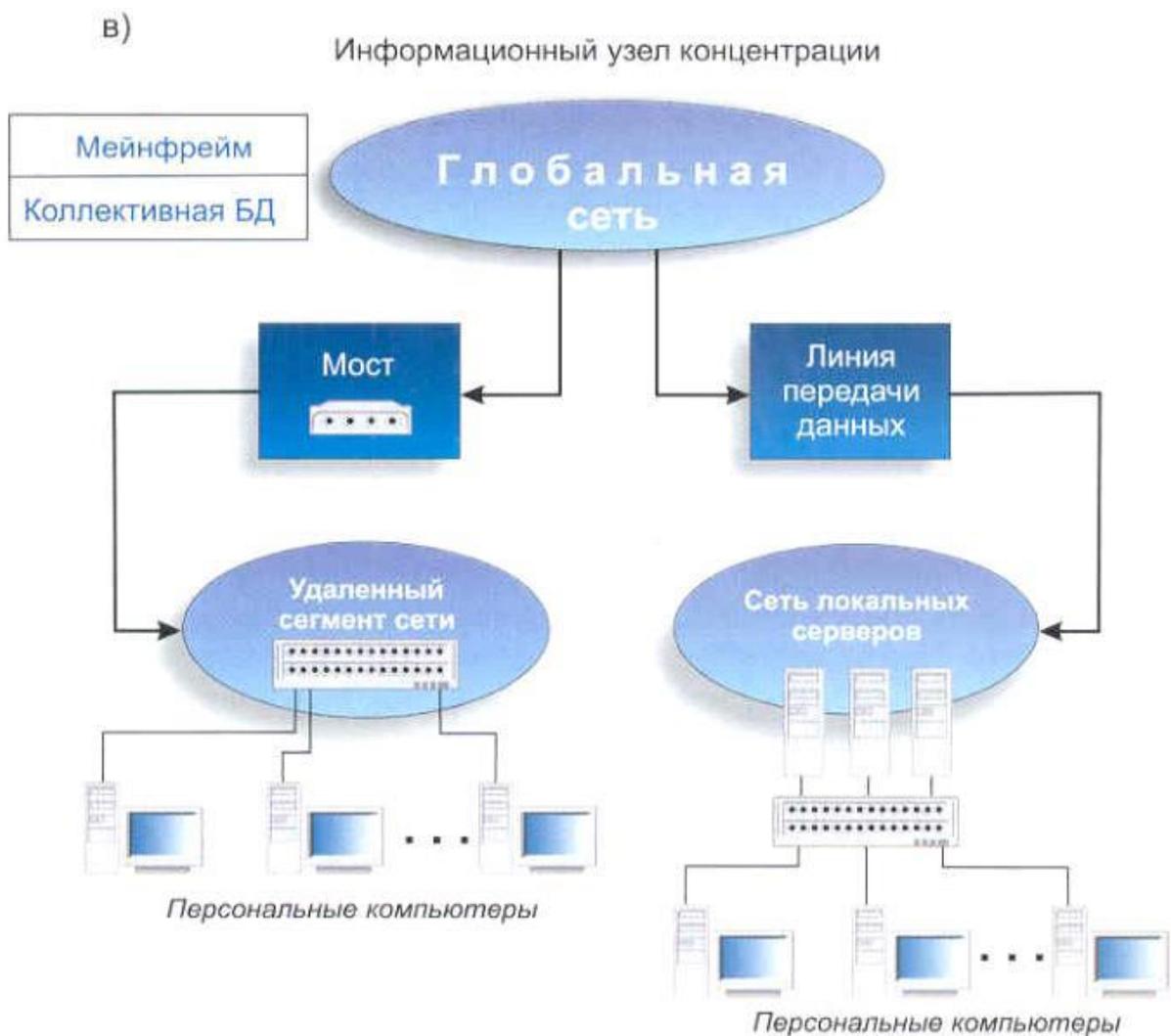


Рис. 3. Три типа архитектуры ИВС: а — централизованная ИВС; б — одноранговая сетевая ИВС; в — иерархическая структура ИВС

Второй тип реализует двухуровневую организацию по принципу «центральная ЭВМ (мейнфрейм) — мини-компьютеры» с фундаментом в виде центральной базы данных и пакетов прикладных программ. Этот тип развивался в период 1970-1980 гг. в связи с появлением мини-компьютеров и СУБД. Третий тип — полностью распределенная система, построенная в виде одноуровневой (одноранговой) сети из персональных компьютеров (рабочих станций) и реализующая, соответственно, принцип распределенной обработки.

Четвертый тип, развитие которого началось в последние годы, относится к двухуровневым структурам, в которых централизованная обработка и единое управление ресурсами ИВС на верхнем уровне сочетаются с распределенной предварительной обработкой на нижнем.

На верхнем уровне центральная ЭВМ (мейнфрейм) выполняет следующие функции:

- управление системой;
- формирование запросов;
- анализ входных данных;

- формирование выходных данных.

На нижнем уровне локальные серверы обеспечивают:

- кодирование информации;
- исполнение приложений; факсимильную связь;
- печать и архивирование.

К такому типу структуры ИВС привела сама логика развития современного производства, требующая для выживания и развития в условиях рыночной экономики глубокого и оперативного анализа конъюнктуры, чуткого реагирования на ее изменения. Это определило возрастающую потребность в концентрации информационных ресурсов, ответственных за администрирование системы поддержки корпоративной базы данных и выполнение связанных с ней приложений (оценка, анализ, оптимизация и т. д.). Такую иерархическую модель архитектуры «клиент—сервер» следует рассматривать как разумный и естественный компромисс между требованиями максимальной доступности данных для обработки, повышения ее скорости и оперативности, простоты администрирования и снижения эксплуатационных расходов, с одной стороны, и стремлением обеспечить максимальное удобство для пользователей нижнего уровня ввода/вывода данных за счет применения соответствующих аппаратных и программных средств, с другой. При этом следует подчеркнуть, что использование такого сервиса, как, например, «дружественный» графический (визуальный) интерфейс, не только обеспечивает эргономичность, но и повышает производительность труда и достоверность информации за счет снижения уровня ошибок.

К этому добавим следующие особенности рассматриваемой ИВС:

- модульное построение системы, предполагающее различные типы структурных решений в рамках единого комплекса и относительно легкий способ перехода от одного типа к другому;
- полное использование потенциальных возможностей настольных ПК и среды распределенной обработки;
- экономия ресурсов системы за счет централизации хранения и обработки данных на верхнем иерархическом уровне;
- осуществление сквозного контроля за функционированием сети и управление на всех уровнях с помощью эффективных централизованных средств сетевого и системного администрирования;
- возможность изменения конфигурации системы за счет «нежесткости» структуры нижнего уровня системы, позволяющего добавить новые терминалы, заменять один на другой, менять их функции и т. д.

1.3. Аппаратные и программные средства.

Интуитивно очевидный термин «реальное время», будучи примененным к вычислительным системам, требует пояснения. Если понимать его буквально, то необходимо требовать мгновенной и адекватной реакции на акт, порожденный реальным физическим процессом (в нашем случае —

отражающим текущее состояние объекта наблюдения, т. е. воздушной обстановки). Работа в реальном времени отнюдь не означает, что вообще отсутствуют какие-либо задержки. Рассматривая любую физически осуществленную систему, имеющую вход и выход (за исключением тривиального случая тождественного совпадения выхода и входа, т. е., по существу, отсутствия системы), мы должны учитывать неизбежное пространственное и временное запаздывание выхода (реакции) на изменения на входе, стимулирующие соответствующие изменения выхода.

Для электронных (а точнее — электромагнитных) вычислительных устройств, будь то супер ЭВМ или «бытовой» компьютер, запаздывание выходного сигнала по отношению к входному воздействию объясняется не только задержкой на каждом из его элементов, но и тем обстоятельством, что все цифровые вычислительные машины работают по программе, состоящей из цепочки команд и соответствующих операций, выполняемых в определенной последовательности.

Для компьютера задержка (латентное время) также имеет несколько составляющих. Она зависит как от его мощности, так и от типа, характеристик устройств ввода и вывода, операционной системы, а также от вида и свойств потоков информации.

В информационных и вычислительных системах сетевого типа, к которым относятся современные АС УВД, следует учитывать время, затрачиваемое на передачу информации по сети. Она осуществляется кадрами (по-английски frame), которые строятся по определенным правилам — протоколам.

Проблемы задержки при передаче информации от основного источника — обзорного радиолокатора — возникали и в АС УВД прежних поколений. При ограниченной скорости передачи по линии данных о ВС в состав аппаратуры первичной обработки приходилось включать специальный буфер. Задержка зависела от степени его заполнения, а при переполнении возникала опасность потери информации.

Несмотря на многократно возросшие скорости передачи данных и быстродействие вычислителей, «узкие места» существуют и в современных информационно-вычислительных сетях (хотя отыскать их далеко не просто). Главное оконечное устройство в АС УВД — видеомонитор, а основной пользователь — авиадиспетчер. Поэтому в качестве критерия для допустимого времени задержки выступает приемлемая степень искажения картины воздушной обстановки, которая изменяется весьма динамично.

Адекватность изображения на экране реальной ВО должна быть такова, чтобы обеспечивать безошибочное и своевременное восприятие диспетчером изменений в контролируемом воздушном пространстве.

Используя интуитивно понятные (хотя и не вполне корректные) термины, можно утверждать, что применительно к реальному времени средняя скорость обработки информации должна быть выше средней скорости ее поступления за определенный интервал времени. Нарушение этого условия неизбежно приведет к отставанию и потере информации.

Указанное соотношение между скоростями есть необходимое условие работы без потери информации для любой вычислительной системы.

Такое определение системы реального времени актуально лишь в применении к конкретной задаче. Системой же реального времени «вообще» обычно называется операционная система, обеспечивающая гарантированное время реакции на внешние события.

Дабы сформулировать условие, достаточное для того, чтобы систему можно было считать системой реального времени, будем полагать, что на ее входе имеет место дискретный поток данных (заявок), следующих с интервалом, ограниченным снизу (т. е. по минимуму). Ясно, что поступившие заявки-задачи при наблюдении и управлении нельзя надолго «откладывать впрок»: допустимы лишь ограниченные задержки активизации и периоды обработки (при этом не исключаются прерывания).

Таким образом, работа в масштабе реального времени предусматривает наличие гарантированных (максимально возможных) временных задержек при активизации, прерывании и выполнении программ обработки информации вычислительной системой и при передаче данных.

Масштаб реального времени обеспечивается как быстродействием (и мощностью) процессоров, так и соответствующей организацией вычислительного процесса (выбором операционной системой и протоколами).

Подобно тому как электрическая мощность определяется силой тока и напряжением, вычислительная мощность зависит от двух основных характеристик ЭВМ: ее производительности и емкости оперативной памяти (ОП, или RAM). Производительность ЭВМ не только является функцией быстродействия элементной базы (и, следовательно, тактовой частоты), но и в значительной мере зависит от архитектуры ЭВМ. В процессе развития цифровых ЭВМ выделились две ветви: миниЭВМ (или микроЭВМ) и суперкомпьютеры.

К первой ветви относятся персональные (профессиональные и «бытовые») компьютеры, ко второй — большие ЭВМ, ориентированные на решение специальных задач, с огромным объемом вычислений. Соответственно в них существенно различается и организация вычислительного процесса (в первую очередь — операционные системы).

Высокая производительность позволяет применять суперЭВМ в авиационной, метеорологии, геологии, машиностроении и других областях для выполнения сложных научно-исследовательских, проектных и аналитических расчетов.

Общими для такого рода расчетов являются их высокая сложность, многоступенчатость, громоздкость алгоритмов, наличие множества вариантов и необходимость сравнительного анализа последних. Суперкомпьютеры служат также ядром больших корпоративных ИВС, выполняющих в них роль мейнфрейма.

Основное отличительное качество супер ЭВМ высокая производительность, и за нее приходится платить высокую цену. Известны два структурных

метода повышения производительности: конвейерный и параллельный методы вычислений. Как первый, так и второй способы предусматривают выполнение за один такт одновременно нескольких операций. И оба они сопряжены с существенным увеличением количества процессоров (как центральных, так и управляющих вводом-выводом).

Далеко не все вычислительные задачи поддаются эффективному «распараллеливанию». Обычно хорошо дело обстоит с решением систем алгебраических и обыкновенных дифференциальных уравнений, уравнений в частных производных и им подобных. По внутренней структуре эти системы различны, поэтому оптимальная архитектура суперЭВМ, ориентированная на один тип задач, проигрывает на других (суперкомпьютер «не вполне» универсален).

Общее число процессоров в самых производительных суперкомпьютерах в настоящее время достигает нескольких тысяч. Так, в 2001 г. наивысшей производительности достигла суперЭВМ ASCI White, изготовленная корпорацией IBM и построенная на 8192 процессорах SP Power 3. Производительность этой ЭВМ достигает более 7 терафлопов, т.е.

она способна выполнять более семи тысяч миллиардов операций с десятичными числами в секунду. Ее лидерство проверено на контрольном пакете Unpack, предназначенном для решения системы алгебраических уравнений. Известны также близкие по характеристикам суперкомпьютеры ASCI Red компании «Интел» (более девяти тысяч процессоров).

Так, корпорация IBM подписала контракт с американским правительством на создание суперкомпьютера ASCI Purple стоимостью 290 млн долларов США. Производительность ASCI Purple — 100 терафлопов (100 триллионов операций с плавающей точкой в секунду), что в 8 раз больше скорости компьютера ASCI White, использующегося для моделирования атомных испытаний. Представители IBM утверждают, что скорость вычислений нового кластера сравнима с «производительностью» человеческого мозга. ASCI Purple включает 12 тысяч процессоров Power 5, что на 4 тысячи больше, чем число процессоров ASCI White, использующего процессоры Power4. Оперативная память нового кластера насчитывает 50 Тбайт, а емкость дисковой подсистемы — два петабайта, что эквивалентно количеству информации миллиарда 200-страничных книг.

В стоимость контракта входит разработка еще более мощного компьютера, названного BlueGene/L, который планируется использовать для выявления взаимосвязи между выбросами в атмосферу промышленных загрязнений и глобальным потеплением, для прогнозирования климатических изменений, а также моделирования таких природных явлений, как ураганы. Заявленная производительность BlueGene/L — 360 терафлопов. Дата ввода в эксплуатацию — 2005 г.

Подавляющее большинство суперкомпьютеров работают под управлением так называемых UNIX-подобных операционных систем, которые традиционно относятся к системам реального масштаба времени. Достижения в области создания суперЭВМ не могли не повлиять на

развитие «обычных» компьютеров. В них также появились сопроцессоры, процессоры ввода-вывода и элементы параллельной (или конвейерной) обработки.

Однако «персоналкам», конечно, далеко до современных суперкомпьютеров по такому параметру, как производительность, хотя их тактовые частоты в ряде случаев превышают частоты суперЭВМ.

Вопрос подбора подходящих аппаратных средств связан с выбором операционной системы (ОС). Из довольно большого числа ОС в качестве альтернативных обычно рассматриваются две, а именно Windows и UNIX. Фактически это не две системы, а два клона ОС, имеющих ряд принципиальных различий. Прослеживается отчетливая закономерность, заключающаяся в том, что предпочтение ОС UNIX отдают крупные западные фирмы, имеющие многолетний опыт разработки больших вычислительных и корпоративных информационных систем (в качестве примера служат фирмы THALES, LockheedMartin, Alenia и ряд других). Основные особенности ОС UNIX состоят в следующем:

- все клоны ОС UNIX с самого начала были ориентированы на «большие» ЭВМ (а ныне — на суперкомпьютеры) и обеспечивали решение специализированных трудоемких вычислительных задач;
- обслуживание системы и работа с ней требовали привлечения персонала высокой квалификации;

Как следствие, UNIX-подобные ОС не имеют развитого интерфейса каждая версия ОС по существу уникальна, а следовательно, имеет высокую цену; соответственно высока и стоимость обслуживания системы.

Для сложных программно-аппаратных комплексов со множеством взаимодействующих систем и подсистем, какими являются современные АС УВД, трудозатраты на интеграцию оказываются непомерно большими.

Альтернативная ОС Windows отличается от ОС UNIX и других клонов прежде всего стоимостью, подобно тому как массовый РС различается от суперкомпьютера — все универсальное (и, следовательно, массовое) действительно дешевле специального. Несомненным и в ряде случаев решающим достоинством продукта фирмы Microsoft является наличие развитого пользовательского интерфейса и множества доступных драйверов (графической карты, принтера, модема, АЦП и другого периферийного и системного оборудования).

Тот факт, что загрузка современных вычислительных комплексов, входящих в состав АС УВД и использующих ОС Windows и стандартные платформы, даже при расширенном круге решаемых задач не превышает 20- 30 %, делает иллюзорными и по существу сводит на нет преимущество UNIX-подобных ОС как систем реального времени.

Следует принимать во внимание свойство устойчивости ОС. Известно, что кроме собственно устойчивости ОС на работу комплекса под ее управлением влияют по крайней мере три следующих фактора: качественный выбор аппаратных средств, профессиональная инсталляция лицензионной системы и корректная разработка программных приложений

(самых прикладных программ). В свою очередь, устойчивость программы зависит от качества тестирования. В этом отношении все преимущества на стороне Windows как самой массовой и быстро развивающейся системы.

Для российских производителей в конце прошлого и начале нового века вопрос выбора ОС определил пути развития систем аэроконтроля нового поколения. Этот путь состоял в максимальном применении массовых стандартных универсальных средств для решения специальных задач.

Используя эти средства, можно было быстро создавать и эффективно развивать комплексы средств автоматизации процессов обработки оперативной информации в интересах УВД современного уровня, и притом более дешевые и мобильные, нежели ориентированные на специализированную вычислительную технику.

Контрольные вопросы.

1. Как расшифровывается АС УВД ?
2. Как расшифровывается (CPDLC)?
3. Какие задачи стоят перед автоматизацией УВД?
4. Какие функции выполняет авиадиспетчер?

ЛИТЕРАТУРЫ

- Авиационные Правила Республики Узбекистан «Правила полетов гражданской и экспериментальной авиации в воздушном пространстве Республики Узбекистан» (АП РУз-91);
- Руководство по организации воздушного движения (ПСК/ЦУАН/ОВД-01);
- Р.М. Ахмедов, А.А. Бибутов, А.В. Васильев. Автоматизированные системы управления воздушным движением: новые информационные технологии в авиации. Санкт-Петербург, 2004;
- Cir 326 AN/188 ICAO. Оценка наблюдения с использованием систем ADS-B и мультilaterации в целях обеспечения обслуживания воздушного движения и рекомендации по их внедрению. Монреаль, 2013

ТЕМА - 2: Автоматизированные системы управления воздушным движением, вычислительные системы и программное обеспечение.

План:

1. Назначение и решаемые задачи.
2. Состав и характеристика элементов системы.
3. Информационные потоки в системе.
4. Технический контроль аппаратуры центра управления воздушным движением.
5. Функции технического контроля и управления АС УВД.
6. Обеспечение безопасности в компьютерных сетях.

***Ключевые слова:** автоматизированного управления, АСУ(автоматизированной системы управления), плановой информации, программное обеспечение автоматизированных систем управления воздушным движением.*

Назначение и решаемые задачи автоматизированной системы управления воздушным движением (АС УВД) определены . Любая сложная техническая система относится к классу объектов, краткая и емкая характеристика которых способна дать лишь самое общее, если не тривиальное, представление о предмете. Наглядным примером является энциклопедическое определение АС УВД как совокупности математических методов, технических средств (вычислительных, передачи данных, отображения и т.д.) и организационных комплексов, обеспечивающих рациональное управление сложным процессом в соответствии с заданной целью. На самом деле это понятие охватывает все существующее разнообразие АСУ. Дальнейшая детализация исходит из анализа признаков функционального назначения процесса, пропускной способности системы и размера территории (пространства), на которой разворачивается АСУ. Существенным признаком является время реакции на события, составляющие управляемый процесс. Если требуется, чтобы реакция на изменение состояний контролируемых объектов была такова, чтобы обеспечить: своевременное прохождение информации, выработку решений и эффективное воздействие на ход процесса, то такие АСУ принято относить к классу работающих в реальном масштабе времени. Отметим, что в приведенной формулировке отсутствуют конкретные ограничения. Они зависят от скорости протекания процессов. Система должна «успевать» за управляемым процессом, и если изменения его состояний происходят в темпе смены сезонов года, то к соответствующей АСУ предъявляются требования обеспечить аналогичные показатели.

АС УВД относятся к классу жестко регламентированного режима реального времени, с высокой реактивностью на входной поток данных.

Время доведения информации о состоянии процесса до удаленных абонентов должно составлять секунды, время обработки поступающих кодограмм сообщений – миллисекунды, время принятия решения и его доведения до исполнителей – секунды. Технические средства этой территориальной системы могут развертываться на поверхности земли площадью в сотни тысяч квадратных километров. Радиолокационные комплексы, предназначенные для наблюдения движущихся воздушных судов (ВС), удалены друг от друга и от центра управления на сотни километров и сопряжены с ним среднескоростными телекодowymi трактами передачи данных. Приемопередающие центры, через которые осуществляется связь с ВС, связаны с диспетчерами телефонными каналами и т.д. АС УВД высокого уровня автоматизации оснащаются источниками первичной и вторичной радиолокационной информации, радиопеленгаторами. На них возлагаются процессы планирования в пределах зоны ответственности и непосредственного управления движением ВС на трассах и по маршрутам вне трасс в целях увеличения пропускной способности воздушного пространства (ВП) и экономичности перевозок при высоком уровне безопасности полетов.

Основными задачами, решаемыми программным обеспечением, являются:

- сбор, обработка и трансляция в центр управления по высокоскоростным каналам связи координатной информации от первичных и вторичных радиолокационных комплексов (РЛК) и автоматических радиопеленгаторов (АРП);
- сбор, обработка и трансляция в центр управления метеорологической информации, поступающей от метеоролокаторов, пунктов зондирования атмосферы и метеостанций;
- сбор, обработка и трансляция в центр управления радионавигационной информации, измеренной на бортах ВС и поступающей по каналам автоматического зависимого наблюдения;
- сбор информации о планах полетов, поступающей в систему автоматически по наземным каналам (авиационная наземная сеть передачи данных и телеграфных сообщений – АНС ПД и ТС), телефонам и радиоканалам от ВС с ручным вводом в систему, ее обработка и распределение по рабочим местам;
- автоматический и ручной ввод в автосопровождение ВС по информации первичных и вторичных радиолокаторов;
- хранение в системе стандартных, пассивных и текущих планов полетов;
- формирование сводного суточного плана, печать элементов плана;
- корректировка и рассылка текущих и суточных планов полетов по секторам управления и взаимодействующим службам и системам;

- объективный контроль работы технических средств центра управления и периферийного оборудования;
- тренировка диспетчерского персонала;
- документирование радиолокационной, плановой и речевой информации и ее воспроизведение;
- форматно-логический контроль информации, вводимой в систему диспетчерами и операторами с помощью технических средств;
- представление картографической и динамической радиолокационной информации на индикаторах воздушной обстановки.

Решение перечисленных задач возможно лишь при согласованной работе всего многообразия технических средств, входящих в состав системы.

Для организации взаимодействия элементов, для контроля состояния аппаратуры периферии и центра в программном обеспечении (ПО) АС УВД предусматривается специальный комплекс программ (КП) контроля и управления источниками информации (абонентами) и связью. В качестве достаточно полного примера представлена структура районной АС УВД «Стрела», заимствованная издающая представление об этих функциях.

Условные обозначения:

АДП – аэродромный диспетчерский пункт;

АРП – автоматический радиопеленгатор;

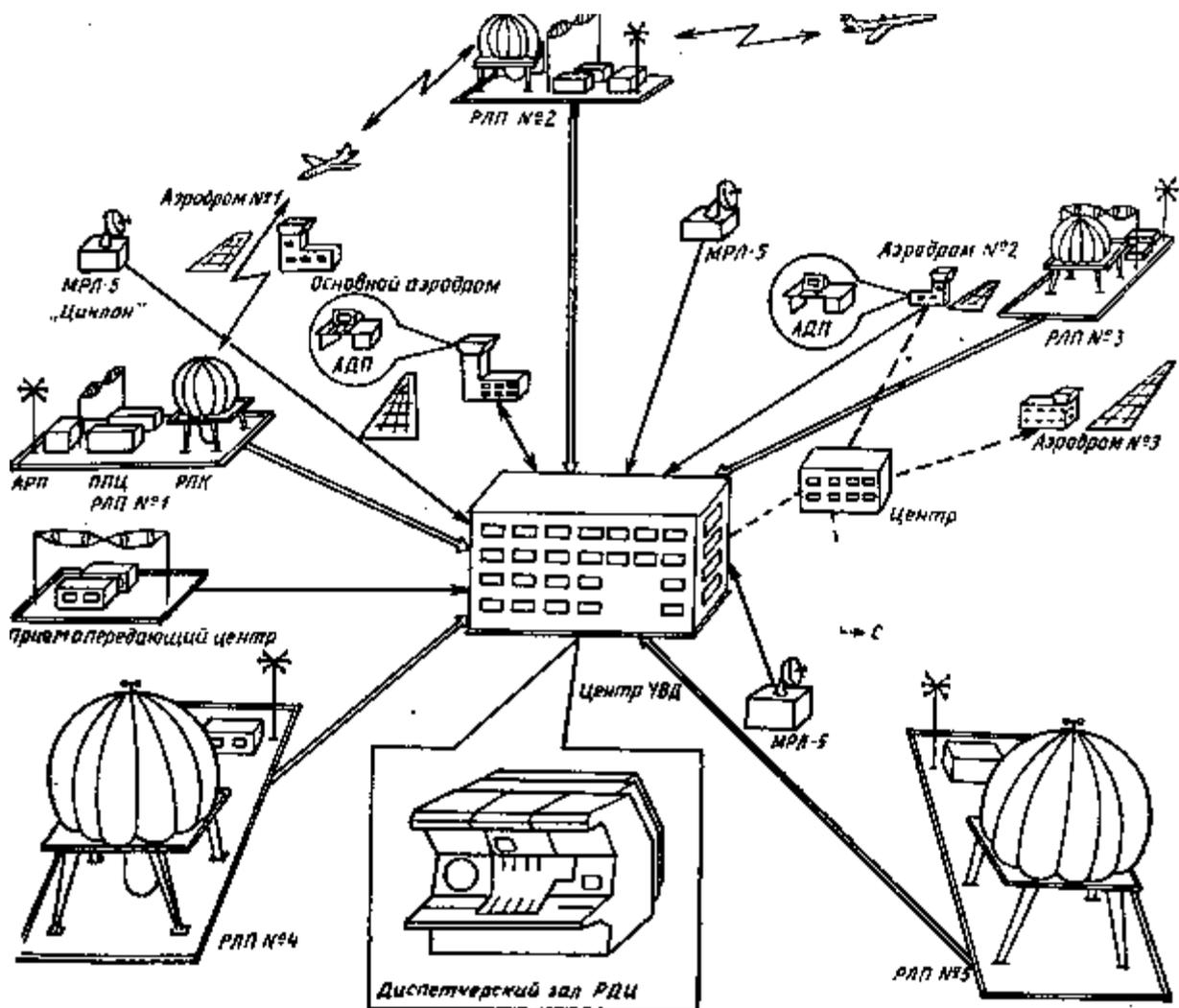
МРЛ – метеорологический радиолокатор;

ППЦ – приемо-передающий центр;

РДЦ – районный диспетчерский центр;

РЛК – радиолокационный комплекс;

РЛП – радиолокационная позиция.



2. Состав и характеристика элементов системы. В состав системы «Стрела» входят: комплекс аппаратуры автоматизированного управления (КААУ) районного центра (РЦ);

- радиолокационные позиции (РЛП) с установленными на них радиолокационными комплексами (РЛК), автоматическими радиопеленгаторами (АРП-АС) и приемо-передающими центрами (ППЦ) для связи с ВС;
- подсистемы связи и передачи данных;
- автономные радиопеленгаторы (АРП-АС);
- комплекс аппаратуры речевой связи (КАРС) «Стрела-Р»;
- специализированные автоматизированные абонентские пункты (СААП) «Октава-3»;
- отдельные приемо-передающие центры (ППЦ);
- подсистема метеорологического обеспечения;
- подсистема документирования и воспроизведения;
- тренировочный модуль.

КААУ РЦ осуществляет обработку информации и ее отображение на автоматизированных рабочих местах (АРМ) диспетчеров и состоит из аппаратного комплекса технических средств (АКТС) и программного обеспечения (ПО). В состав АКТС входят:

- вычислительный комплекс (ВК);
- комплекс технических средств отображения (КТСО);
- комплекс аппаратуры передачи данных (КАПД);
- аппаратура формирования сигналов единого времени (АФСЕВ);
- аппаратура документирования (АД);
- подсистема метеорологического обеспечения (ПМО).

Вычислительный комплекс системы «Стрела» – это многомашинный комплекс, организуемый на уровне каналов, посредством адаптеров «канал-канал», средств прямого управления и общего поля внешней памяти. Состоит из двух комплексов ВК-2Р-60, каждый из которых представляет собой двух машинную систему на базе ЭВМ ЕС-1060. Один ВК ведет обработку радио локационной, а другой – плановой информации. Результаты обработки выдаются на КТСО, обеспечивающий отображение необходимой динамической радиолокационной, плановой и картографической информации на средствах индивидуального и **коллективного пользования. КТСО включает в себя:**

- индикаторы воздушной обстановки (ИВО);
- таблично-знаковые индикаторы (ТЗИ);
- мнемоиндикаторы (РИМ);
- световое табло («Поиск-20»);
- малогабаритное печатающее устройство (МПУ5-1).

КАПД осуществляет прием, обработку и двусторонний обмен информацией КААУ с периферийными и взаимодействующими объектами системы.

Аппаратура документирования обеспечивает непрерывную регистрацию всей входной информации, вводимых команд, отображаемой информации, внутренних и внешних переговоров, а также печать на бумажных носителях итоговых отчетно-статистических документов.

Аппаратура формирования сигналов единого времени вырабатывает сигналы точного времени, которые поступают на рабочие места диспетчеров, а также сигналы в виде кода времени и синхронизирующих частот для ВК.

Программное обеспечение КААУ построено по модульному принципу с иерархической организацией взаимодействия отдельных модулей. Система функционирует в мультипрограммном режиме и обеспечивает автоматизацию функциональных задач процесса УВД в реальном масштабе времени.

Программное обеспечение автоматизирует процессы сбора, обработки, расчета и отображения радиолокационной и плановой информации, необходимые для решения задач планирования и управления. Информация представляется диспетчерскому составу в объеме, форме и последовательности, необходимых для выполнения работы в соответствии с технологией.

Основными источниками информации являются РЛП в составе радиолокационного комплекса ТРЛК-10 (первичный радиолокатор «Скала-

М», вторичный радиолокатор «Корень-С», аппаратура первичной обработки информации «Обзор-С», аппаратура передачи данных АИ-010), телефонной станции АТСКЭ-32, резервного дизель-агрегата, автоматического радиопеленгатора АРП-АС и приемо-передающего центра ППЦ.

Первичная радиолокация (ПРЛ) измеряет координаты ВС (азимут и дальность), вторичная радиолокация (ВРЛ) обеспечивает определение координат и запрос полетной информации (номер борта, текущая высота, остаток топлива и др.) в международном диапазоне частот и прием этой информации в международном и отечественном диапазонах частот. В РЛК предусмотрено изменение режимов работы, бланкирование зон и выдача донесений о техническом состоянии. АПОИ «Обзор-С» автоматически обрабатывает и преобразует в цифровую форму радиолокационную, пеленгационную и метеорологическую информацию, отождествляет информацию от ПРЛ и ВРЛ, подавляет помехи отместных предметов и атмосферных образований за счет критерийной и межобзорной обработки информации и через аппаратуру передачи данных транслирует эту информацию в центр управления.

Подсистема речевой связи предназначена для обеспечения переговоров: между диспетчерами РЦ и наземными объектами (РЛК, аэродромами, соседними РЦ и другими взаимодействующими объектами); между диспетчерами РЦ и экипажами ВС через выносные радиостанции внутри функциональных групп РЦ.

В состав комплекса «Стрела-Р» входят:

аппаратура речевой связи для РЦ;

аппаратура речевой связи для РЛП.

Аппаратура связи РЦ включает:

автоматическую станцию диспетчерской связи АСДС-512;

автоматическую телефонную станцию квазиэлектронную АТСКЭ-1024;

абонентские пульты связи;

аппаратуру документирования речевой связи.

3. Информационные потоки в системе. Схема сбора, обработки и отображения полетной информации, управляемой ПО АС УВД «Синтез»,

Обратим внимание, что она дает возможность уяснить роль и место в организации воздушного движения не только программных средств, но и любой другой составляющей системы вплоть до каждого ее элемента. Основное назначение аппаратно-программных средств состоит в обеспечении диспетчерского персонала информацией, необходимой для управления потоками ВС. Для достижения этой цели и развертывается территориальная система взаимодействующих элементов, объединенная связями в единое целое, работающая непрерывно в течение длительного времени.

Поддержание целостности составляет основную задачу комплекса программ технического контроля и управления, описываемого в данной книге серии «Программное обеспечение автоматизированных систем управления воздушным движением».

Средства обеспечения безопасности в информационно-вычислительных сетях.

Определение понятия безопасности и ее основные характеристики.

Безопасность в области информатики в широком смысле включает ограничение доступа к информации, предотвращение ее несанкционированного (незаконного) использования и обеспечение сохранности при сбоях и отказах.

Введем основные определения, относящиеся к защите информации в информационно-вычислительных сетях (ИВС).

Безопасность данных – это такое состояние хранимых, обрабатываемых и передаваемых данных, при котором невозможно их случайное или преднамеренное получение, изменение или уничтожение.

Защита данных – совокупность целенаправленных действий и мероприятий по обеспечению безопасности данных.

Таким образом, защита данных есть процесс обеспечения безопасности данных, а безопасность – состояние данных, конечный результат процесса защиты. Защита данных осуществляется с использованием методов (способов) защиты.

Механизм защиты – совокупность средств защиты, функционирующих совместно для выполнения определенной задачи по защите данных.

В качестве механизмов защиты могут выступать криптографические протоколы, механизмы защиты операционных систем (ОС), баз данных (БД) и др.

Система обеспечения безопасности данных – совокупность средств и механизмов защиты данных.

Ресурсом, как известно, называется любой компонент ИВС (устройство, программа, файл, БД и т.п.), который может использоваться для выполнения каких-либо операций в ИВС.

Доступ – процесс использования технических и программных средств, обеспечивающий логическую (физическую) связь с каким-либо ресурсом для его функционального использования или получения (модификации) поддерживаемых этим ресурсом данных.

Субъект доступа – активный ресурс, осуществляющий какие-либо действия над другими ресурсами.

В качестве субъекта доступа могут выступать оператор, процесс или устройство.

Объект доступа – пассивный ресурс, используемый субъектом доступа для выполнения операций.

В процессе функционирования ИВС множества субъектов и объектов доступа могут динамически изменяться.

Сформулированные определения позволяют с единых позиций подойти к рассмотрению проблемы безопасности данных в ЭВМ, вычислительных системах и ИВС.

Под угрозой безопасности данных будем понимать потенциально существующую возможность случайного или преднамеренного действия или бездействия, в результате которого может быть нарушена безопасность данных.

Несанкционированный доступ к данным – это злоумышленное или случайное действие, нарушающее технологическую схему обработки данных и ведущее к получению, модификации или уничтожению данных. Несанкционированный доступ к данным (НСД) может быть пассивным (чтение, фотографирование и т.п.) и активным (модификация, уничтожение).

Нарушитель – субъект, осуществляющий НСД к данным.

Нарушение безопасности данных возможно вследствие как различных возмущающих воздействий, в результате которых происходит уничтожение (модификация) данных или создаются каналы утечки данных, так и вследствие использования нарушителем каналов утечки данных.

Виды угроз безопасности данных приведены на рис. 12.2.



Рис. 12.2. Виды угроз безопасности данных

Воздействия, в результате которых может быть нарушена безопасность данных, включают:

- случайные воздействия природной среды (ураган, землетрясение, пожар, наводнение и т.п.);
- целенаправленные воздействия нарушителя (шпионаж, разрушение компонентов ИВС, использование прямых каналов утечки данных);
- внутренние возмущающие факторы (отказы аппаратуры, ошибки в математическом и программном обеспечении, недостаточная профессиональная и морально-психологическая подготовка персонала и т.д.).

Принципы организации системы обеспечения безопасности данных.

Организация системы обеспечения безопасности данных в ИВС предусматривает несколько принципов.

Принцип системности означает, что обеспечение безопасности данных представляет собой регулярный процесс, осуществляемый на всех этапах жизненного цикла ИВС при комплексном использовании всех средств и механизмов защиты данных для предотвращения или компенсации последствий возможных НСД.

Принцип специализированности включает три аспекта:

1. Надежные механизмы защиты данных могут быть разработаны только профессиональными специалистами.

2. Осуществление непрерывного процесса обеспечения безопасности данных возможно только на базе средств и механизмов защиты промышленного производства.

3. Обеспечивать эффективное функционирование СОБД должны специалисты по защите данных.

Принцип неформальности означает, что методология проектирования СОБД и отдельных механизмов защиты в своей основе является неформальной.

К СОБД и ее элементам предъявляются следующие основные требования:

■ *Адекватность*. СОБД должна надежно обеспечить безопасность данных в ИВС.

■ *Экономичность*. Создание и эксплуатация СОБД должны осуществляться с минимальным расходом материальных и сетевых ресурсов.

■ *Эргономичность* (психологическая приемлемость). Механизмы защиты данных не должны создавать дополнительных трудностей законным пользователям сети.

■ *Открытость проектирования*. Механизмы защиты данных должны эффективно функционировать даже в том случае, когда их структуры и алгоритмы работы известны нарушителю.

■ *Минимизация привилегий*. Каждому пользователю предоставляются только действительно необходимые ему права по доступу к ресурсам (данным) системы.

■ *Полное посредничество* (полнота контроля) должно осуществляться при каждом обращении к защищаемому ресурсу (данным).

■ *Распределение полномочий*. Каждая важная операция должна разрешаться при наличии, как минимум, двух условий.

■ *Минимум общего механизма*. Использование многими пользователями одного механизма защиты может привести к раскрытию механизма.

■ *Наказуемость нарушений*. В СОБД должны быть предусмотрены «наказания» за нарушения (например, блокировка терминала при вводе пароля больше разрешенного числа раз).

Основные подсистемы, входящие в состав СОБД ИВС, представлены на рис.12.3.

Подсистема доступа объединяет механизмы управления доступом и предназначена для предотвращения несанкционированного использования ресурсов сети.

Подсистема обеспечения безопасности передаваемых данных выполняет функции защиты передаваемых данных от пассивного (раскрытие содержания, анализ трафика) и активного (изменение, прерывание потока данных, инициация ложного соединения и др.) перехвата данных. В состав подсистемы входят механизмы шифрования, цифровой (электронной) подписи, обеспечения целостности, управления доступом и освидетельствования данных.

В тесном взаимодействии с подсистемой обеспечения безопасности передаваемых данных функционирует подсистема аутентификации, которая объединяет различные механизмы аутентификации и обеспечивает подтверждение подлинности пользователей и элементов ИВС.

В подсистему обеспечения безопасности данных в БД входят механизмы доступа к данным и механизмы поддержания целостности данных в БД.

Подсистему обеспечения безопасности ОС составляют механизмы надзора, профилактического контроля, мониторинга и управления доступом, функционирующие в составе ОС.

Подсистема управления защитой данных выполняет функции обнаружения и компенсации последствий нарушения функционирования СОБД, а также координации функционирования подсистем и элементов СОБД.

Контрольные вопросы.

1. Как расшифровывается (КСА ТУК)?
2. Как расшифровывается (NOTAM)?
3. Какие функции выполняет Радиолокационные комплексы?
4. Что такое Критерий отказа?

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Р.М. Ахмедов, А.А. Бибутов, А.В. Васильев. Автоматизированные системы управления воздушным движением: новые информационные технологии в авиации. Санкт-Петербург, 2004;
2. Cir 326 AN/188 ICAO. Оценка наблюдения с использованием систем ADS-B и мультilaterации в целях обеспечения обслуживания воздушного движения и рекомендации по их внедрению. Монреаль, 2013
3. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации / Под ред. С.Г. Пятко, А.И.Красова. - СПб.: Политехника, 2004. – ISBN 5-7325-0779-5.

Тема № 3.. Процесс мониторинга с помощью информационных технологий в управлении воздушным движением. Автоматизация мониторинга воздушного движения.

План:

1. Автоматизация обработки метеорологической информации.
2. Процесс мониторинга с помощью информационных технологий в управлении воздушным движением.
3. Автоматизация мониторинга воздушного движения.
4. Автоматическое зависимое отслеживание.

Метеослужба в ГА предназначена для обеспечения метеорологической информацией остальных служб аэропорта, смежных РЦ и других потребителей.

Метеослужба обеспечивает:

- взаимодействие с АС УВД по протоколу функционального взаимодействия;
- выполнение выборки метеорологических сообщений о фактической и прогнозируемой погоде, штормовых предупреждениях по аэродромам зоны ответственности АС УВД, трассам, маршрутам и площадям, преобразование формата и передачу метеорологических данных в объеме, предусмотренном протоколом информационного обмена в АС УВД;
- передачу в АС УВД сообщений от автоматизированных метеорологических радиолокационных комплексов (АМРК) с данными о контурах зон опасных для авиации явлений погоды;
- передачу в АС УВД сообщений о прогнозируемом ветре и температуре на высотах;
- передачу в АС УВД информации о планируемом выпуске радиозондов и расчетной траектории их перемещения.

Датчики информации – это приборное оборудование метеостанций (приборы барометрической группы, анемометры и др.), замеряющее метеорологические элементы (температуру, атмосферное давление, влажность, направление и скорость ветра и пр.), а также шары-радиозонды и метеорологические искусственные спутники Земли.

Важную роль играют также метеорологические радиолокаторы (МРЛ).

МРЛ существенно отличаются от обзорных диспетчерских радиолокаторов. При довольно большой дальности действия (до 300 км и больше) они обладают высокой точностью и разрешающей способностью при вероятности обнаружения метеообразований (гидрометеоров) не менее 0,8...0,9. Кроме того, МРЛ наряду с наклонной дальностью и азимутом гидрометеоров должны измерять и угол места (высоту до них).

В связи с этим МРЛ обладают нижеследующими конструктивными особенностями.

- Длительность зондирующего импульса весьма мала и составляет для ряда МРЛ 0,1 мкс, что обеспечивает высокую разрешающую способность.

- Частота несущей соответствует сантиметровому и миллиметровому диапазону радиоволн. Это, во-первых, позволяет без особого труда с помощью антенны параболического типа относительно небольших размеров получать узкие (до 13' в миллиметровом и 44' в сантиметровых диапазонах) диаграммы направленности. Во-вторых, как известно из теории радиолокации, эффективная отражающая поверхность такого элемента, как гидрометеор, обратно пропорциональна четвертой степени длины облучающей радиоволны, что в свою очередь повышает уровень отраженных сигналов, а следовательно, и дальность действия МРЛ.

- Диаграмма направленности антенны МРЛ имеет «игольчатую» форму. Это позволяет не только обеспечивать высокую вероятность обнаружения метеообразований, но и определить их характер и тип.

- При относительно невысокой скорости обзора пространства (см. ниже) период повторения зондирующих импульсов делается как можно меньше, чтобы добиться значительного числа импульсов в пакете, а следовательно, и высокой его информативности.

- Антенны МРЛ снабжены приводом для их вращения в горизонтальной и качания в вертикальной плоскостях. Программы (законы) обзора пространства разнообразны и сложны. Возможно не только автоматическое, но и ручное управление положением антенны.

Так, метеорологический локатор типа МРЛ-5 может работать в следующих режимах:

- круговой обзор с варьируемым периодом длительностью от 10 с и до полной остановки;

- секторный обзор по азимуту и углу места в пределах 45°;

- вертикальное сканирование в пределах от - 1° до 95° (МРЛ - 2 до 105°) с переменным регулируемым периодом обзора от 24 с до 72 с;

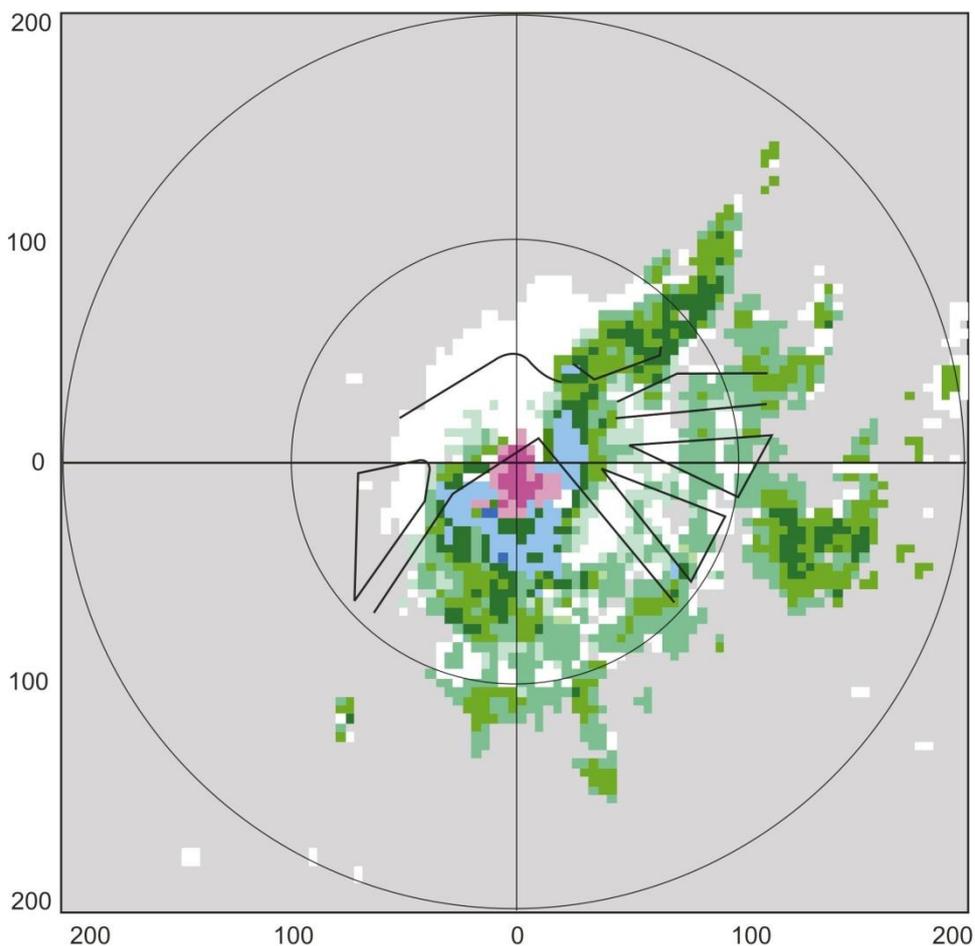
- программный (автоматический) круговой обзор со ступенчатым изменением азимута через 0,5 или 1° или 1,5° (режим построчного обзора);

- ручное управление круговым обзором и качанием в вертикальной плоскости со скоростями 0...36°/с по азимуту и 0...75°/с по углу места.

Таким образом, МРЛ позволяют решать такие задачи, как обнаружение атмосферных образований, оценивание границ и их классификация по характеру; оценивание высоты и толщины слоя облачности и распределения облачности по высотам; оценка количественных характеристик атмосферных образований, в том числе градовых очагов и интенсивности осадков; определение направления и скорости перемещения облачности. Это позволяет оценить состояние атмосферы в воздушном пространстве и сделать прогноз его развития. Пример обработки данных МРЛ представлен на рис.1.7.

Информация от МРЛ и полученные от метеослужбы данные поступают в систему управления воздушным движениям по цифровым каналам данных (сети, выделенные телеграфные и телефонные линии).

Карта метеоявлений



Облачность	Кучевая облачность	Гроза
Слоистообразная	Ливень слабый	Гроза
Осадки слабые	Ливень умеренный	Град слабый
Осадки умеренные	Ливень сильный	Град умеренный
Осадки сильные	(Гроза)	Град сильный
		Нет данных

Глава 1. Системы автоматического зависимого наблюдения.

В недавнем прошлом диспетчеру, имеющему в своем распоряжении современный локатор, положение ВС зачастую было известно точнее, чем его экипажу.

Сложившееся таким образом положение радикально изменилось с вводом в эксплуатацию спутниковых радионавигационных систем (СРНС) второго поколения, таких как NAVSTAR и ГЛОНАСС. При установке на ВС навигационного приемника такой системы у экипажа появляется возможность определять собственное местоположение с точностью 30 м каждую секунду, а при наличии вблизи ВС станции дифференциальных поправок эта точность может быть значительно повышена. Кроме того, при интеграции (комплексировании) GNSS-приемника с бортовым навигационным комплексом появляется возможность повышения надежности местоопределения за счет сопряжения его с инерциальной системой навигации. В этом случае при получении очередного отсчета координат вычисляется его отклонение от данных инерциальной системы. Если оно находится в пределах допустимой погрешности, то начало отсчета инерциальной системы устанавливается по данным спутникового приемника. При обнаружении же аномально большого отклонения определение координат по СРНС считается недостоверным и игнорируется, а положение определяется по инерциальной системе. Такой комплекс способен выдавать координаты даже не ежесекундно, а практически непрерывно, используя для их экстраполяции инерциальную систему навигации. По оперативности и точности координатной информации такая система оставляет далеко позади лучшие современные радиолокаторы.

Таким образом, с появлением СРНС положение ВС стало лучше определяться его бортовым навигационным комплексом, чем наземными средствами наблюдения, которыми располагает диспетчер. В связи с этим появилась идея передавать данные о местоположении с борта ВС на землю, снабдив тем самым авиадиспетчера высокоточной и оперативной информацией о воздушной обстановке. Такая трансляция возможна только по линиям цифровой радиосвязи (VDL). В свою очередь, при успешной организации надежного и устойчивого канала такой связи в процессе УВД появляется ряд принципиально новых возможностей. В частности, его можно использовать не только для трансляции координат, но и для безголосового обмена другой информацией, необходимой как авиадиспетчеру, так и экипажу ВС. Это могут быть связь диспетчера с экипажем для обеспечения УВД или даже прямое управление бортовым оборудованием ВС, метеоинформация, оперативная связь с авиакомпанией или дифференциальные поправки от базовой станции СРНС для увеличения точности местоопределения, что особенно актуально на этапе посадки.

Таким образом, было признано, что автоматическое зависимое наблюдение (АЗН) как метод наблюдения, при котором ВС автоматически по цифровой

линии передачи данных (ЛПД) предоставляет пользователям информацию своих бортовых систем, является чрезвычайно перспективным средством УВД и альтернативой вторичной радиолокации. При этом логика работы ЛПД может быть как широковещательной, так и основанной на принципе подписки, или контракта.

К настоящему времени, таким образом, существуют системы АЗН двух основных типов:

- АЗН-К контрактного типа (ADS-C, где С – первая буква слова contract);

- АЗН-В широковещательного типа (ADS-B, где В – первая буква слова broadcast).

При контрактном АЗН автоматическая передача данных с борта ВС начинается после того, как орган УВД или другое ВС подписались (или заключили контракт) на получение этих данных. При этом посылки являются адресными, т.е. доступными только пользователю или группе пользователей, подписавшихся на их получение. Содержимое и частота посылок определяются контрактом. Напротив, при широковещательном АЗН ВС осуществляет периодическую (до 1 сообщения в секунду) рассылку своих данных по ЛПД широковещательного типа (без установления контракта). При этом рассылаемые данные доступны для всех заинтересованных пользователей.

Еще до появления стандартов ICAO в США была сделана попытка реализации контрактного АЗН, в результате чего появились комплекты бортового оборудования FANS-1 и FANS-A, которые устанавливались на ВС таких авиакомпаний, как American Airlines, японская JAL, австралийская Qantas и др. Отметим совпадение названий системы FANS и одноименного комитета ICAO. Деятельность по внедрению системы FANS в России началась с установки в РПП «Магаданаэроконтроль» оборудования FANS фирмы ARING. Однако система FANS оказалась несовместима с появившимися позднее стандартами (SARPS) ICAO контрактного АЗН на основе сети авиационной электросвязи (ATN). Настойчивые попытки компании-разработчика FANS добиться совместимости этой системы с ATN не дали результата, и FANS-1/A из-за своих низких системных характеристик оказалась за рамками международного стандарта. Поэтому ICAO определила, что подобные промежуточные системы могут использоваться для наблюдения только в океанических и малонаселенных районах. В Российской Федерации применение этой системы планируется в Дальневосточном и Арктическом регионах.

Разработка широковещательного АЗН проводилась с начала 90-х годов параллельно в Европе и в США. Однако в США в это время осуществлялась долговременная скоординированная программа внедрения моноимпульсных радиолокаторов с поддержкой контрактного АЗН (режим S). На эту программу были затрачены значительные финансовые ресурсы, поэтому альтернативный широковещательный режим не получил в США широкой поддержки (в настоящее время в США планируется использовать АЗН-В

формата UAT для «малой» авиации, в частности, на Аляске). Напротив, в Европе большое распространение получила идея реализации АЗН-В на базе разработанной в Швеции УКВ ЛПД режима 4 (VDL mode 4). В то время как SARPS ICAO на этот режим проходил стадию подтверждения, в Европе осуществлялся целый ряд проектов по разработке, экспериментальной проверке и внедрению общеевропейской сети АЗН-В. На момент написания этой книги уже функционирует североевропейская сеть АЗН (NEAN), включающая Швецию, Данию и северную часть Германии. На юге Европы приступает к созданию своей сети Италия.

Летом 1997 г. в России совместно фирмой «НИТА» и ГосНИИ АС в а/п Жуковский была проведена демонстрация технологий АЗН-В с использованием транспондеров, применявшихся в сети NEAN. По результатам анализа этих испытаний 15 января 1998 г. было принято совместное решение ФАС России, ГосНИИ «Аэронавигация» и ГосНИИ АС, в котором было признано, что ЛПД режима 4 обеспечивает наиболее рациональный путь перехода к перспективным системам УВД в России. В развитие этого решения был выпущен приказ ФСВТ России № 80 от 14 октября 1999 г. «О создании и внедрении системы радиовещательного автоматического зависимого наблюдения (АЗН-В) в гражданской авиации России». Что касается контрактного АЗН на основе АТН, то оно будет использоваться главным образом для обеспечения океанских полетов и полетов над малонаселенной местностью и оснащаться им будут в основном межконтинентальные ВС. Таким образом, все ВС, осуществляющие полеты в континентальном воздушном пространстве России, будут нести оборудование АЗН-В, а оборудование межконтинентальных ВС, кроме этого, должно быть способно при необходимости поддерживать режим АЗН-К на основе АТН. Что касается промежуточных систем, таких как FANS-1/A, то их развитие и разработка отечественных аналогов представляются нецелесообразными в силу ограниченности преимуществ, получаемых от их эксплуатации.

Технология АЗН-К и система FANS.

Технология АЗН-К является самым простым по структуре вариантом автоматического зависимого наблюдения и представляет собой, по сути дела, обобщение принципа вторичной радиолокации. В самом деле, классический вторичный локатор постоянно посылает запросы о бортовом номере, высоте и других параметрах. Бортовой трансивер ВС, приняв такой запрос, посылает затребованную информацию. Таким образом, вторичный локатор связан с ВС по низкоскоростной цифровой ЛПД, организованной по принципу запрос–ответ. Теперь предположим, что передающая антенна локатора ненаправленная. В этом случае широковещательный запрос вызвал бы поток ответов от всех ВС, находящихся в зоне видимости, транслированных одновременно на одной и той же частоте. Декодировать эти ответы было бы невозможно из-за их наложения. Поэтому такой локатор должен посылать бортам не широковещательные, а адресные

запросы, чтобы не допустить наложения ответов. Именно на этом принципе базируется технология АЗН-К. При этом она не требует, чтобы канал связи ВС–земля обязательно строился на основе УКВ ЛПД. Это может быть, например, канал цифровой спутниковой связи. Таким образом, АЗН-К можно рассматривать как средство вторичной радиолокации с расширенным набором функций, работающее с каждым ВС индивидуально. Правда, в отличие от вторичного радиолокатора, период обновления информации не постоянен, при передаче данных возможны значительные задержки (до нескольких минут).

Рассмотрим технологию АЗН-К на примере системы FANS, которая на момент написания книги является самой разработанной в плане практической реализации. Изначально эта система создавалась для обеспечения авиакомпаний оперативной связью с принадлежащими им ВС, т.е. не для УВД. Основным элементом системы FANS является глобальная компьютерная сеть, предназначенная для сбора информации о ВС, рассылки этой информации по потребителям и трансляции сообщений с борта ВС на землю и обратно. Для связи с ВС эта система сопрягается со станциями УКВ ЛПД, способными работать с ВС, находящимися в зоне радиовидимости, а также со спутниковыми каналами, дальность действия которых значительно выше. С другой стороны, потребитель через шлюз соединяется с этой сетью и получает от нее ту информацию, на которую подписан. Таким образом, прямая связь потребителя через базовую станцию УКВ ЛПД с ВС в системе FANS не предусмотрена. Образно говоря, все контракты на получение информации и обмен сообщениями осуществляются в этой системе через посредников, каковыми являются серверы компьютерной сети FANS. Это вполне логичная структура с коммерческой точки зрения, поскольку позволяет удобно организовать тарификацию. В самом деле, весь обмен сообщениями идет через серверы, где может быть точно учтено количество информации, полученной шлюзом конкретной авиакомпании, и с этой авиакомпанией взыскана соответствующая плата за пользование системой FANS.

Идея использовать систему FANS как источник информации для УВД выявила как достоинства, так и недостатки такой схемы. К несомненным достоинствам следует отнести то, что быстродействие канала связи с бортом ВС для нее не является критическим. Это дает возможность использовать для этой цели не только УКВ, но и низкоскоростные каналы, такие как КВ и спутниковая связь. Эту возможность трудно переоценить при решении задачи наблюдения в океанических и малонаселенных районах, где отсутствует сеть станций УКВ ЛПД. Для организации крупных центров УВД удобно также наличие глобальной компьютерной сети, в которой имеется информация о всех бортах, находящихся на сопровождении системы FANS. В результате размер зоны управления данного центра УВД не ограничивается зоной радиовидимости. Обратной же стороной этой медали является слишком опосредованная связь диспетчера с ВС. В самом деле, для УВД, в отличие от связи авиакомпаний,

превалирующим критерием является обеспечение безопасности движения, а не удобство финансовых взаиморасчетов. Поэтому внесение в канал связи диспетчер–пилот задержек, неизбежных при прохождении пакета через множество каналов и узлов глобальной компьютерной сети, представляется нежелательным, поскольку при возникновении конфликта ситуация меняется буквально по секундам, и неоперативность канала связи может стать непосредственной причиной катастрофы. связи. Таким образом, АЗН-К можно рассматривать как средство вторичной радиолокации с расширенным набором функций, работающее с каждым ВС индивидуально. Правда, в отличие от вторичного радиолокатора, период обновления информации не постоянен, при передаче данных возможны значительные задержки (до нескольких минут).

Рассмотрим технологию АЗН-К на примере системы FANS, которая на момент написания книги является самой разработанной в плане практической реализации. Изначально эта система создавалась для обеспечения авиакомпаний оперативной связью с принадлежащими им ВС, т.е. не для УВД. Основным элементом системы FANS является глобальная компьютерная сеть, предназначенная для сбора информации о ВС, рассылки этой информации по потребителям и трансляции сообщений с борта ВС на землю и обратно. Для связи с ВС эта система сопрягается со станциями УКВ ЛПД, способными работать с ВС, находящимися в зоне радиовидимости, а также со спутниковыми каналами, дальность действия которых значительно выше. С другой стороны, потребитель через шлюз соединяется с этой сетью и получает от нее ту информацию, на которую подписан. Таким образом, прямая связь потребителя через базовую станцию УКВ ЛПД с ВС в системе FANS не предусмотрена. Образно говоря, все контракты на получение информации и обмен сообщениями осуществляются в этой системе через посредников, каковыми являются серверы компьютерной сети FANS. Это вполне логичная структура с коммерческой точки зрения, поскольку позволяет удобно организовать тарификацию. В самом деле, весь обмен сообщениями идет через серверы, где может быть точно учтено количество информации, полученной шлюзом конкретной авиакомпании, и с этой авиакомпанией взыскана соответствующая плата за пользование системой FANS.

Идея использовать систему FANS как источник информации для УВД выявила как достоинства, так и недостатки такой схемы. К несомненным достоинствам следует отнести то, что быстродействие канала связи с бортом ВС для нее не является критическим. Это дает возможность использовать для этой цели не только УКВ, но и низкоскоростные каналы, такие как КВ и спутниковая связь. Эту возможность трудно переоценить при решении задачи наблюдения в океанических и малонаселенных районах, где отсутствует сеть станций УКВ ЛПД. Для организации крупных центров УВД удобно также наличие глобальной компьютерной сети, в которой имеется информация о всех бортах, находящихся на сопровождении системы FANS. В результате размер зоны управления

данного центра УВД не ограничивается зоной радиовидимости. Обратной же стороной этой медали является слишком опосредованная связь диспетчера с ВС. В самом деле, для УВД, в отличие от связи авиакомпаний, превалирующим критерием является обеспечение безопасности движения, а не удобство финансовых взаиморасчетов. Поэтому внесение в канал связи диспетчер–пилот задержек, неизбежных при прохождении пакета через множество каналов и узлов глобальной компьютерной сети, представляется нежелательным, поскольку при возникновении конфликта ситуация меняется буквально по секундам, и неоперативность канала связи может стать непосредственной причиной катастрофы.

Рассмотрим предполагаемую схему оснащения центра УВД системой FANS. Как упоминалось выше, расположение центра УВД при этом никак не привязано к расположению станций связи с бортом ВС. В центре должен стоять только шлюз компьютерной сети FANS. Шлюз является мультиплексором потока сообщений между системой и центром УВД. Также он содержит средства записи и воспроизведения потока и системный менеджер – программу контроля состояния шлюза и настройки его рабочей конфигурации (рис. 10.1).

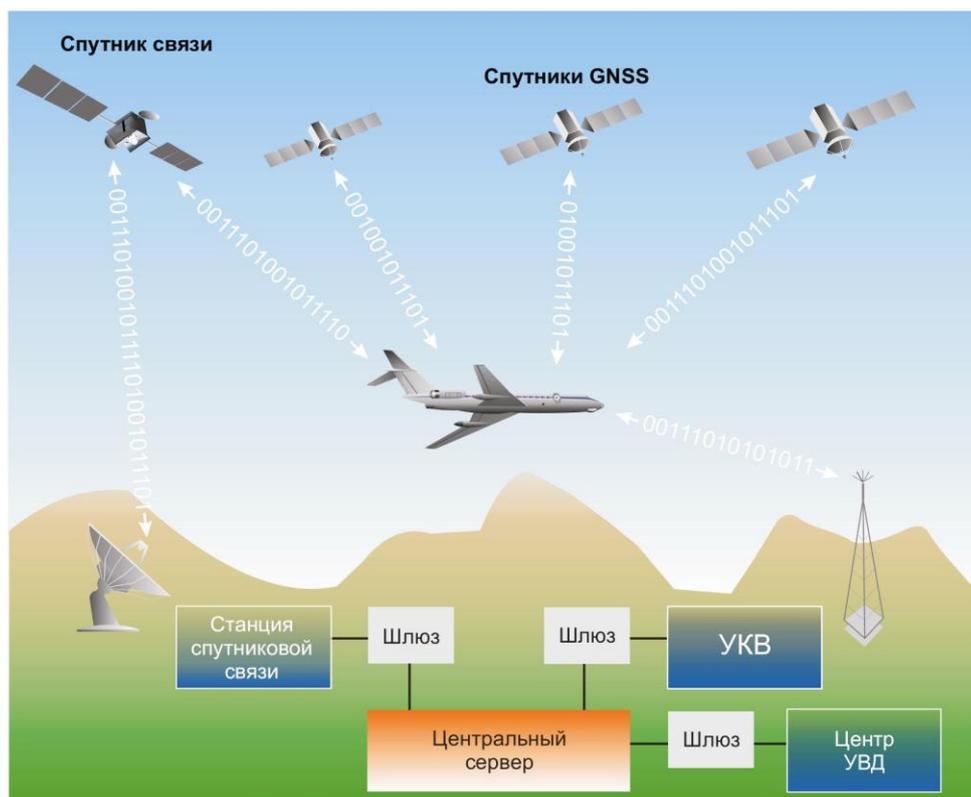


Рис. 10.1. Система FANS

На рабочем месте диспетчера УВД устанавливается специальная программа отображения воздушной обстановки. Она сопрягается со шлюзом и обеспечивает автоматизацию управления контрактами путем их автоматической установки или отмены. Цикл работы этой программы с бортом начинается, когда от ВС поступает запрос на подключение. Если ВС

находится в зоне ответственности данного диспетчера, то ПО его рабочего места устанавливает контракт на получение координатной информации от данного ВС с частотой, заданной в настройках рабочего места. Когда ВС покидает зону ответственности, то контракт разрывается. При необходимости вести наблюдение за ВС, находящимся за пределами зоны управления, контракт следует установить, а по окончании наблюдения разорвать вручную. Вся получаемая по этим контрактам координатная информация отображается на дисплее рабочего места.

Кроме доставки координатной информации система FANS предоставляет услугу безголосовой связи пилот–диспетчер (CPDLC). Эта система является конечным устройством, также подключаемым к шлюзу в качестве клиента. Ее функцией является предоставление диспетчеру средств создания, передачи и приема стандартных формализованных сообщений. Диспетчер имеет возможность просмотреть предысторию сообщений по сопровождаемым ВС, создать новое сообщение, используя стандартные формы, контролировать ответы ВС, а также устанавливать и отменять контракты на автоматическое получение той или иной информации. Дисплей CPDLC содержит окно со списком ВС, находящихся на обслуживании, ожидающих обслуживания, предыстории сообщений по определенному ВС, а также область окна для подготовки сообщения. Кроме того, дисплей содержит кнопки-функции, ассоциированные с перечнем стандартных, элементарных сообщений. Диспетчер-оператор CPDLC может также управлять контрактами АЗН и контролировать состояние линий связи.

Все формализованные сообщения сгруппированы по категориям, таким как «Набрать высоту», «Сбросить высоту», «Изменить маршрут» и др. После выбора категории выбирается конкретное сообщение. Например, категория «Назначение крейсерского эшелона» содержит следующие сообщения:

- Следовать на эшелоне <высота>;
- Набрать эшелон до <высота>;
- Занять эшелон выше <высота>.

Выбрав сообщение, диспетчер вводит, если необходимо, его параметры (в вышеприведенном примере параметры указаны в угловых скобках) и отправляет сообщение. Существует категория аварийных сообщений, которые отправляются с наивысшим приоритетом. Возможна также отправка сообщения свободного текста, не относящегося к стандартным.

Сеть системы FANS позволяет диспетчеру осуществлять обмен сообщениями не только с ВС, но и с соседними центрами УВД. Процедуры согласования, приема-передачи управления и другие также могут производиться через интерфейс CPDLC.

Система широковещательного зависимого наблюдения.

По отношению к технологии АЗН-К, являющейся фактически обобщением метода вторичной локации по принципу запрос-ответ, вещательное АЗН представляет собой следующий шаг автоматизации наблюдения. А именно,

ключевой особенностью АЗН-В является способность работать без сложной наземной инфраструктуры.



Рис. 10.2. Структурная схема транспондера АЗН-В

Транспондер АЗН-В (рис. 10.2) представляет собой устройство, содержащее GNSS-приемник, цифровой УКВ приемопередатчик (радиомодем) и контроллер, связывающий эти устройства. Все приемопередатчики настроены на одну частоту, т.е. ВС, оснащенные АЗН-В и находящиеся на расстоянии прямой видимости друг от друга, можно считать связанными одним цифровым радиоканалом. Каждый из них, прослушивая этот канал, получает координатную информацию о других ВС, находящихся в зоне радиовидимости, а также транслирует в него информацию о себе. В итоге выполняется принцип «все видят всех», и диспетчер УВД в этом смысле ничем не выделен по отношению к пилотам ВС (рис. 10.3).

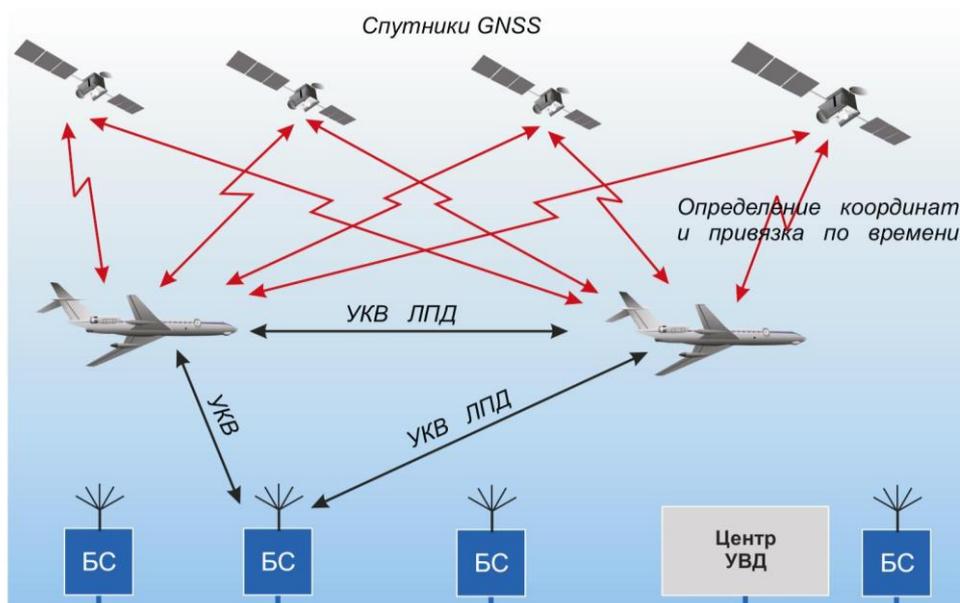


Рис. 10.3. Обмен информацией в системе АЗН-В с УКВ ЛПД режима 4

При реализации такого канала основной проблемой является организация разделения доступа, т.е. необходимо добиться того, чтобы посылки от

разных ВС при прослушивании можно было разделить. В АЗН-В с УКВ ЛПД режима 4 выбран *временной способ разделения доступа*. Основным мотивом такого решения послужил тот факт, что в состав транспондера входит GNSS-приемник, используя который все потребители канала могут получить привязку к единой шкале времени с точностью порядка 100 мкс. Таким образом, общая структура УКВ ЛПД режима 4 выглядит так: шкала времени GNSS делится на кванты, или *слоты*, равной длины. При этом длина кванта достаточна не только для трансляции координатного сообщения, но и для передачи дополнительной информации. Прослушивая эфир, каждый транспондер определяет слоты, которые он может занять, не конфликтуя с интересами других пользователей канала. После этого в выбранных слотах начинается трансляция координат. В отличие от стандартного протокола временного разделения доступа (TDMA), этот протокол является самоорганизующимся (STDMA), т.е. не требующим диспетчеризации слотов базовой станцией (рис. 10.4).

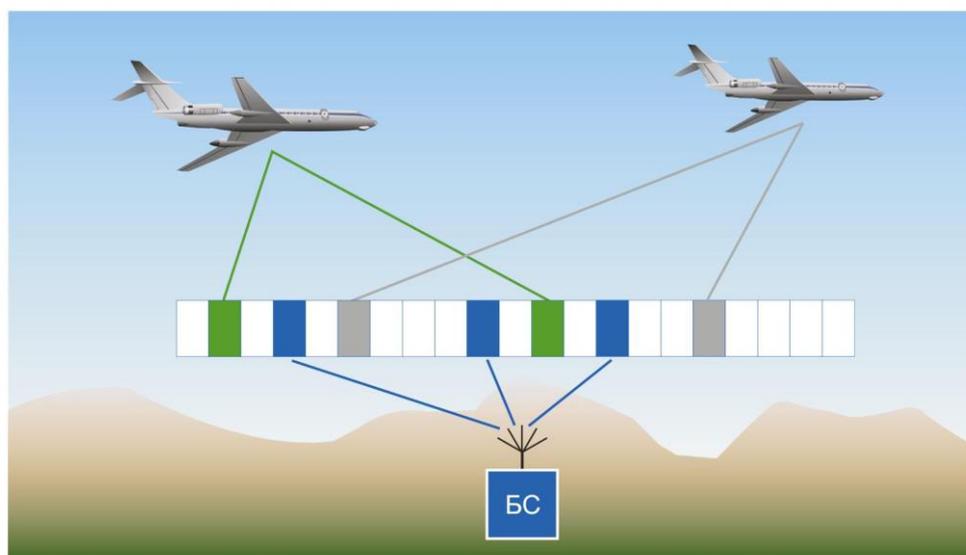


Рис 10.4. Распределение слотов в УКВ ЛПД режима 4

Синхронизация времени в транспондере в нормальном режиме осуществляется от GNSS-приемника. При его отказе или отсутствии видимых спутников возможны аварийные методы синхронизации, перечисленные ниже.

1. Посылки наземных станций. Наземные станции ЛПД режима 4 передают синхронизирующие пакеты на регулярной основе, гарантируя тем самым доступность точного времени.

2. Другие источники точного времени, находящиеся на борту ВС.

3. Другие пользователи канала с функционирующим приемником GNSS, пакеты которых привязаны к шкале.

4. Плавающая сеть. Этот вариант аналогичен предыдущему с тем лишь различием, что все пользователи потеряли синхронизацию GNSS. В этом случае они все равно будут пытаться вести передачу, стараясь добиться взаимной синхронизации.

Для работы АЗН-В по всему миру выделяются два глобальных канала. Транспондеры АЗН-В ведут независимую трансляцию на этих каналах с одним и тем же периодом и сдвигом посылок в одном канале относительно другого примерно на половину периода, с тем чтобы обеспечить равномерность получения информации по двум каналам совместно. В сильно загруженных аэропортах планируется выделять еще два или более локальных каналов (рис. 10.5).

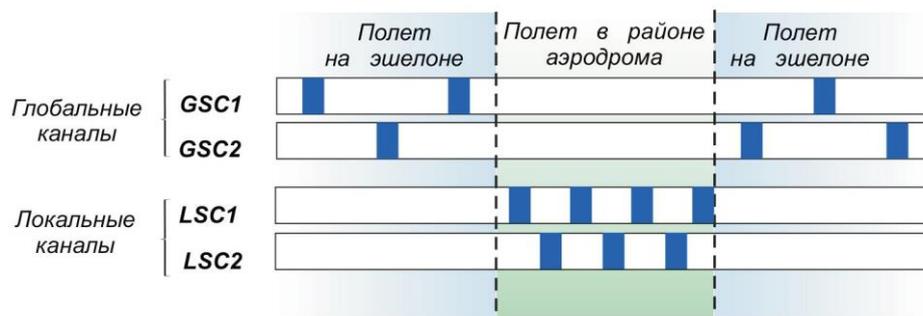


Рис. 10.5. Каналы ЛПД режима 4

Таким образом, каждый транспондер должен иметь не менее четырех независимых передатчиков.

Отметим, что система АЗН-В является значительно более распределенной, чем АЗН-К. В самом деле, при контрактном режиме работы ЛПД централизованно управляется базовой станцией, которая своими запросами инициирует посылки информации от ВС и тем самым полностью их контролирует. При вещательном режиме подобная централизация отсутствует, а базовая станция (БС) в простейшем варианте представляет собой такой же транспондер, как и на ВС, и является не диспетчером канала связи, но всего лишь наблюдателем. Это позволяет системе сохранять работоспособность при отказе наземных средств.

Рассмотрим системные требования к аппаратуре транспондера АЗН-В. Требуется минимизация задержки между включением GNSS-приемника и первым определением координат. Критичность этого параметра обусловлена тем, что до определения координат нет точной привязки ко времени и, следовательно, невозможно построить сетку слотов. Кроме того, на эффективность использования радиоканала влияет задержка t_3 между отправкой пакета в радиомодем и началом трансляции этого пакета в эфир. В самом деле, при скорости V бод и длине координатного пакета n байт время передачи этого пакета (в секундах) примерно равно $t_n = 8n/V$ с. Однако размер слота следует задать больше на величину t_3 , чтобы оставить радиомодему время для выхода на режим передачи. Таким образом, пропускная способность канала будет использоваться не полностью. Конкретно только доля пропускной способности, равная отношению $t_n / (t_n + t_3)$, будет использоваться собственно для передачи информации. Минимизировав величину t_3 , получим максимально возможное количество слотов в секунду, ограниченное характеристиками радиомодема:

$$N = \frac{1}{8n/B + t_3}. \quad (10.1)$$

Транспондер, удовлетворяющий вышеописанным требованиям, позволяет выполнять сразу несколько задач, а именно:

- собственно АЗН-В, т.е. наблюдение за ВС в зоне радиовидимости БС (размер слота приспособлен именно для этой задачи, хотя возможна передача и другой информации);
- наблюдение в большой географической области посредством сети наземных станций;
- эмуляция режима АЗН-К для совместимости с сетью АТН;
- навигация ВС и снабжение пилотов информацией о воздушной обстановке;
- служба информации о движении, а именно трансляция БС в канал АЗН-В радиолокационных данных о ВС, не оборудованных АЗН;
- наблюдение за движением на поверхности (при снабжении всего парка автомобилей аэропорта транспондерами АЗН-В диспетчер наблюдает также и за ними, решая такие задачи, как недопущение выезда на ВПП);
- линия связи между пилотом и диспетчером (аналогично CPDLC системы FANS), а также прямая связь между пилотами;
- служба полетной информации (передача на ВС метеоинформации, информации КДП и пр.);
- оперативная связь авиакомпаний;
- передача на борт ВС дифференциальных поправок для уточнения местопределения.

Как видно из этого списка, в технологии АЗН-В предусматривается эмуляция режима АЗН-К. Это не только необходимо для совместимости с сетью АТН, но и имеет самостоятельную ценность. В ранних версиях транспондеров АЗН-В, используемых в сети NEAN, предусматривались даже два независимых режима работы – автономный и управляемый. Автономный режим предполагал самостоятельный выбор транспондером слотов для передачи, в управляемом же режиме слоты для вещания ему назначает БС. В SARPS на режим 4 управляемый режим явно не выделяется, но возможность назначить бортовому транспондеру слоты для передачи у БС остается. Эта возможность актуальна не только для эмуляции АЗН-К, но и для быстрого входа в сеть и наблюдения за поверхностью. В самом деле, запросить БС о доступных слотах быстрее, чем самому собирать эту информацию. А что касается наблюдения за поверхностью, то условия радиосвязи между ВС, находящимся на расстоянии прямой видимости, как правило, удовлетворительные, чего нельзя сказать о наземном транспорте. Между транспондерами на поверхности земли, даже находящимися достаточно близко, радиовидимость может отсутствовать из-за застройки или помех распространению сигнала вдоль поверхности.

Можно только расположить антенну БС достаточно высоко, так чтобы обеспечивалась радиовидимость между БС и наземным транспортом. В таких условиях, когда связь отдельных единиц мобильного транспорта между собой практически отсутствует и можно рассчитывать только на связь их с БС, режим диспетчеризации слотов базовой станцией представляется наиболее жизнеспособным.

Организация АЗН-В на базе УКВ ЛПД режима 4.

УКВ ЛПД режима 4 (VDL mode 4) действует в диапазоне частот воздушной навигации 108–136, 975 МГц. Ширина канала 25 КГц, применяемый способ модуляции – фазовый с гауссовой фильтрацией (GFSK). Ключевой особенностью такой схемы модуляции является допустимое отношение сигнал/шум 12 Дб. Это означает, что при наложении сигналов с таким отношением мощностей транспондер корректно декодирует более мощный, отфильтровав слабый наравне с шумами. При равных мощностях передатчиков транспондеров отношение мощности 12 Дб образуется при отношении расстояний до них, примерно равном 3. Скорость радиомодема в транспондерах сети NEAN составляла 9600 бод. В SARPS на УКВ ЛПД режима 4 она была повышена до 19 200 бод. Размер же слота выбирается как время чистой ($t_s=0$) трансляции пакета в 32 байта, что по формуле (10.1) дает $N=75$ слотов в секунду. Длительность слота при этом составляет $13 \frac{1}{3}$ мс. При этом реальная длина пакета не должна превышать 30 байт, дабы оставить 2 байта, т.е. 1 мс, на задержку в тракте радиомодема и погрешность привязки к шкале времени. Одно сообщение о положении занимает один слот на линии связи, другие передачи могут занимать больше одного слота.

Важнейшим понятием в ЛПД режима 4 является *суперфрейм*. Это группа из 4500 слотов, охватывающих период в 1 мин. Группа же слотов, образующая целую секунду, называется фреймом. Основной принцип распределения слотов в ЛПД режима 4 состоит в следующем. Распределение слотов в большой степени периодически от одного суперфрейма к другому. Если транспондер выбрал для вещания какую-то последовательность слотов в суперфрейме, то в следующую минуту он будет либо вещать в слотах с теми же порядковыми номерами, либо предупредит об их изменении заранее. Это позволяет вновь включившимся транспондерам, прослушав один суперфрейм, с известной долей уверенности предсказать распределение слотов в следующем и выбрать там свободные слоты для себя.

Наложение передач разных транспондеров может произойти только при одновременном (с точностью до минуты) их включении. Для решения этой проблемы алгоритм выбора слотов делается недетерминированным, т.е. два одинаковых транспондера при одновременном включении случайно выбирают разные наборы слотов для вещания. Некоторые элементы этого

набора могут совпасть, но вероятность совпадения всех выбранных слотов близка к нулю.

Итак, вероятность захвата одного и того же слота в суперфрейме несколькими транспондерами все же существует. Помимо одновременного включения транспондеров, она может иметь причиной непрохождение пакета от работающего транспондера к вновь включившемуся, в результате чего последний ошибочно сочтет слот свободным и займет его. Для того чтобы это наложение не сохранялось на протяжении всего сеанса работы, предусмотрены периодические (через 4–8 суперфреймов) смены слота для вещания, производящиеся также случайным образом (рис. 10.6).

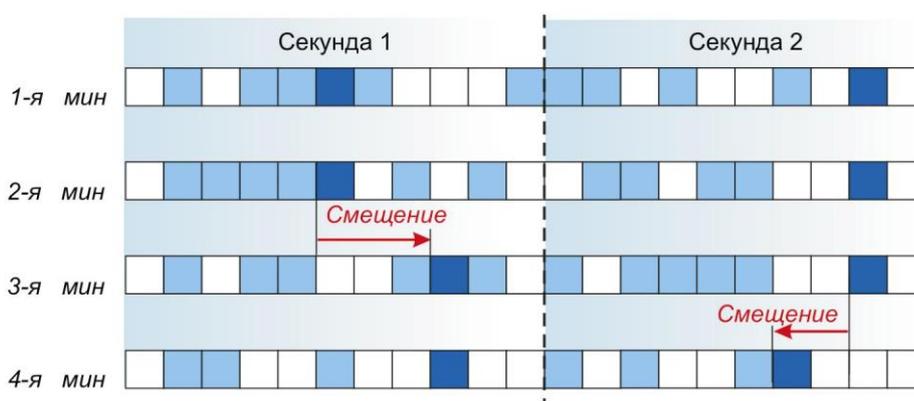


Рис. 10.6. Распределение слотов суперфреймов

Таким образом, алгоритм работы транспондера включает ряд случайных шагов, которые делают наложения передач маловероятными и кратковременными.

Поскольку идеология АЗН-В в режиме 4 предусматривает некоторую избыточность передачи информации, потеря нескольких сообщений (при наложении слотов) не критична.

Протоколы

Перечень протоколов работы ЛПД режима 4 приведен ниже.

Протоколы постоянной трансляции:

■ Протокол периодического вещания. В пакете передается величина тайм-аута, т.е. количество суперфреймов, в течение которых транспондером будет вестись передача в данном слоте, и смещение того слота, в который переместится передача по истечении тайм-аута. Смещение лежит в пределах $-127...+127$. Этот протокол является основным для постоянной работы уже включившегося транспондера.

■ *Вещание с приращением.* Передается смещение следующей посылки относительно предыдущей в данном суперфрейме. Может комбинироваться с периодическим вещанием, что имеет смысл в первом суперфрейме после включения, так как в этом случае другие станции будут заранее знать, какие слоты в данном суперфрейме выбрал для себя вновь включившийся транспондер.

■ *Протокол фиксированного доступа.* За базовыми станциями могут жестко закрепляться группы слотов в суперфрейме, например, для передачи дифференциальных поправок. Мобильные станции не имеют права резервировать эти слоты для себя.

Протоколы обмена информацией:

■ *Узковещательный запрос.* Данный транспондер посылает адресный запрос другому и резервирует слот или группу слотов для ответа.

■ *Автонастройка.* Данный транспондер указывает другому вести регулярную передачу каких-либо данных, например данных о положении. Передаются требуемая частота обновления, смещение первого слота для вещания, количество резервирований в одном суперфрейме, количество суперфреймов, для которых сохраняется резервирование. Этот протокол используется для управляемого режима, при этом БС осуществляет резервирование автонастройки для всех транспондеров в зоне управления.

■ *Запрос о передаче информации.* Аналогичен узковещательному запросу, но дополнительно предусматривает подтверждение о приеме от запрашивающей станции.

■ *Протокол длинной передачи (DLS).* Обеспечивает поддержку связи АТН и обмена другой информацией большого объема. Станция-отправитель посылает узковещательный запрос об отправке сообщения с резервированием слота для ответа. В этом слоте станция-адресат подтверждает прием запроса и дает право на отправку данных, резервируя посредством запроса о передаче информации слоты для посылки сообщения отправителем и слот для подтверждения о приеме. В зарезервированных слотах отправитель шлет сообщение, при успешном приеме которого адресат подтверждает, что все в порядке. Если в какой-то момент одна станция, пославшая запрос другой с резервированием слота для ответа, не получает ответа в этом слоте, то она либо еще раз передает этот пакет, либо, сделав определенное количество попыток, запрашивает у оператора подтверждение на продолжение попыток.

Протоколы включения:

■ *Протокол произвольного доступа.* Это основной протокол для включения транспондера. Прослушав один суперфрейм и определив незарезервированные слоты в следующем, транспондер с использованием псевдослучайных факторов выбирает слоты для передачи и далее осуществляет ее в соответствии с протоколом периодического вещания. Таким образом, при входе в сеть по этому протоколу требуется одна минута. Для случаев, когда необходим более быстрый вход в сеть, используется комбинация протоколов входа, описанных ниже.

■ *Резервирование большого отрицательного добавочного псевдослучайного смещения (BND).* Может использоваться для резервирования слота при отсутствии полной карты суперфрейма. Именно, прослушав участок суперфрейма длиной 255 слотов, можно определить, зарезервирован ли центральный слот этого участка или нет. Это возможно благодаря тому, что по протоколу периодического вещания смещение по

модулю не может превышать 127. Поэтому если ни в одном слоте участка нет резервирования центрального слота на следующий суперфрейм, то это значит, что работающие транспондеры его не резервируют вообще.

- *Передача в половине слота.* В начале каждого слота станция определяет, ведется ли в нем передача. Если нет, то начиная с половины слота она шлет короткий пакет, в котором недостаточно места для вещания координат, но достаточно для резервирования BND или запроса plea (см. ниже).

- *Запрос plea.* Вновь включившийся транспондер запрашивает другой, уже работающий и имеющий карту распределения слотов, о том, какие слоты свободны. Ответ работающей станции содержит группу слотов, доступных для передачи. При трансляции в этих слотах вновь включившийся транспондер может дополнительно применить резервирование BND для перемещения своих передач в те слоты, которые он считает более подходящими.

Протоколы защиты резервирования:

- *Резервирование блока суперфрейма.* В связи с тем, что дальность радиовидимости с борта ВС значительно выше, чем с БС, воздушное судно, не видящее БС, может захватить зарезервированные ею слоты, создав тем самым для остальных ВС помехи при приеме пакетов базовой станции. Для этого предусмотрена возможность повторной трансляции резервирования слотов для БС. Именно, БС выбирает один или несколько мобильных транспондеров, наиболее подходящих с точки зрения радиовидимости, и дает им указания транслировать номера слотов, зарезервированные БС. В результате остальные ВС, услышавшие эту посылку, получают информацию о резервировании, сделанном БС, и воздержатся от захвата этих слотов.

- *Резервирование блока фрейма.* Предусмотрена возможность для базовой станции резервировать несколько слотов (по умолчанию 8), в начале каждой секунды, для важных периодических передач на бортовые устройства. Каждая конкретная базовая станция сама решает, устанавливать ли в зоне управления резервирование блока фрейма, и если да, то какого размера. Если этот режим установлен, то никакой мобильный транспондер не имеет права резервировать слоты в начале фрейма для собственных передач.

Информационные характеристики.

Занятие транспондером свободных слотов, т.е. слотов, в которых никакие другие транспондеры в зоне радиовидимости не ведут передачу, возможно, только если в радиусе прямой видимости находится достаточно мало ВС, так что слотов в суперфрейме хватает на всех. В противном случае, когда свободных слотов просто нет, транспондер начинает захватывать слоты, принадлежащие наиболее удаленным ВС. В первом случае, когда свободных слотов достаточно, дальность действия системы АЗН-В равна просто дальности УКВ-радиосвязи, т.е. расстоянию прямой видимости. Во втором же случае дальность действия системы равна радиусу

круга, количество ВС внутри которого соответствует пропускной способности ЛПД. Приведем метод количественной оценки этих величин. Предположим для простоты, что все ВС находятся на одной высоте H и имеют один и тот же период обновления информации T секунд. Пусть дальность радиовидимости из точки установки БС на высоте H равна R , и внутри этого радиуса наблюдается в среднем N воздушных судов. Тогда, полагая распределение ВС в пространстве в среднем равномерным, получаем для круга произвольным радиусом r количество ВС внутри этого круга

$$n = N \left(\frac{r}{R} \right)^2. \quad (10.2)$$

Количество слотов в секунду, необходимое для обновления информации от n воздушных судов, равно $\frac{n}{T}$. При пропускной способности ЛПД S слотов в секунду соотношение

$$\frac{N_{\max}}{T} = S \quad (10.3)$$

определяет максимальное количество ВС, при котором слотов хватает на всех. Таким образом, при $n \leq N_{\max} = ST$ дальность действия системы ограничивается не пропускной способностью, а дальностью радиовидимости. Если же $n > N_{\max}$, то ЛПД обеспечивает доставку на БС информации не от всех N воздушных судов, а только от N_{\max} ближайших. Приравнивая n из (10.2) и N_{\max} из (10.3), получаем в случае $n > N_{\max}$ дальность действия системы r , равную

$$r = R \sqrt{\frac{ST}{N}}. \quad (10.4)$$

Получив таким образом все необходимые формулы, рассмотрим характерные значения вычисленных параметров. Для двух глобальных каналов ЛПД при 75 слотах в секунду на каждый канал получаем $S=150$. При навигации на эшелоне, например при $H=10\,000$ м и $R = 400$ км, время обновления достаточно установить равным 10 с, тогда для математического количества ВС, которые могут быть обслужены одновременно, получаем величину $N_{\max} = 1500$, что лежит далеко за пределами реального трафика даже в самых загруженных аэропортах Европы. Таким образом, емкость ЛПД режима 4 выбрана с большим запасом. Рассмотрим поэтому обратную задачу: какой поток ВС может быть обслужен при максимально возможной частоте обновления $T=1$ с? Из (10.3) получаем $N_{\max} = 150$. На данный момент реальным представляется максимальное количество бортов в зоне видимости $N=300$. Тогда по формуле (10.4) радиус действия АЗН-В с УКВ ЛПД режима 4 при такой насыщенности воздушного пространства и максимальной частоте обновления равен 280 км, что для стран Европы с большим трафиком воздушного движения является вполне допустимым радиусом видимости одной наземной станции АЗН-В. Таким образом, по своей пропускной способности УКВ ЛПД режима 4 далеко превосходит реальные потребности УВД в настоящее время.

Общая структура пакета АЗН-В с УКВ ЛПД режима 4 имеет следующий состав:

- флаги начала и конца пакета;
- контрольную сумму;
- номер версии протокола;
- идентификатор транспондера;
- поле резервирования, содержащее в той или иной форме указания на слоты, в которых будет в дальнейшем вестись передача;
- поле сообщения, в котором передается собственно содержательная информация.

Поле сообщения может быть использовано для целей собственно АЗН, т.е. наблюдения. При этом в поле сообщения передается так называемый пакет синхронизации, содержащий фиксированную и переменную части. Фиксированная часть используется для общего управления связью и получения грубых данных о положении, а в переменную включается дополнительная информация.

Содержание фиксированной части пакета синхронизации:

- флаг автономности/направленности;
- тип высоты (барометрическая или геометрическая);
- координаты (широта и долгота) с разрешением 140 м, для кодирования с более высоким разрешением уточняющее смещение может передаваться в переменной части;
- погрешность координат;
- высота;
- возраст данных;
- обозначение типа переменной части.

В переменной части пакета синхронизации могут передаваться следующие данные:

- координаты с высоким разрешением;
- полное время;
- сообщение директории услуг – список информации, которую базовая станция может предоставить по дополнительному запросу.

Помимо пакета синхронизации, поле сообщения может использоваться для услуг безголосовой связи, трансляции радиолокационной информации о бортах, не оборудованных АЗН-В, и для других функций, поддержку которых обеспечивает УКВ ЛПД режима 4.

Возможности автоматического зависимого наблюдения.

С точки зрения АС УВД, базовая станция АЗН является всего лишь источником вторичной информации, подобным АПОИ. Однако есть ряд тонкостей, которые усложняют включение АЗН в комплекс средств УВД и требуют от разработчиков АС УВД дополнительных усилий.

Процедуры траекторной обработки, которые строят траекторию по дискретным отсчетам координат цели, обычно существенно привязаны к

периоду обзора локатора, поставляющего координаты. В АЗН нет строго понятия обзора, а данные о координатах ВС приходят неравномерно, в зависимости от того, в каком месте суперфрейма транспондеру удалось зарезервировать слот. Точность же координатной информации от АЗН такова, что за время между моментом вычисления координат GNSS-приемником на борту ВС и моментом доставки их на сервер АС УВД широта и долгота меняются существенно по сравнению со своей погрешностью. Поэтому полагать период обновления координат в среднем постоянным нельзя, и траекторная обработка должна уметь строить траекторию по неравномерному ряду координат (неравномерной сетке замеров).

В настоящее время ВС выдерживают заданный эшелон, пользуясь барометрическим высотомером. При попадании в зону высокого или низкого давления его показания меняются, однако эти изменения одинаковы у всех близких бортов. Поэтому этот фактор не приводит к конфликтам ВС. Напротив, спутниковый навигационный приемник определяет *геометрическую* высоту над земным эллипсоидом, которая не зависит от атмосферного давления. Поэтому ситуация, когда часть ВС летит по изобаре, а часть – по поверхности эллипсоида, потенциально чревата необходимостью увеличивать интервалы эшелонирования на величину разности между барометрической и геометрической высотой, что нежелательно. Для решения этой проблемы предлагается временно использовать широту и долготу от GNSS-приемника, а высоту – от барометрического высотомера.

Известной проблемой мультирадарной обработки является то, что при использовании наклонной дальности координаты одной и той же цели от разных локаторов не совпадают, причем несовпадение тем больше, чем ближе цель к одному из локаторов. Учет этой погрешности возможен только при наличии данных о высоте. С включением в мультирадарную обработку данных АЗН эта проблема лишь усугубляется высокой точностью координатных отсчетов, что не позволяет пренебречь разностью между наклонной и проекционной дальностью без потери точности.

Следует подчеркнуть важность реализации на базе АЗН функций обнаружения ПКС и разрешения КС, использующих эффективные методы и алгоритмы (подобные рассмотренным в главе 7).

Использование широких возможностей, предоставляемых системами АЗН в рамках стратегии CNS/ATM, сопровождается изменением ролей и ответственности как пользователей ВП, так и органов, обеспечивающих его использование. При широком внедрении АЗН следует ожидать и существенных изменений технологии УВД. Внедрение АЗН и перспективы его развития.

По рекомендациям ИКАО, основные работы по планированию систем АЗН осуществляются в группах регионального планирования. В США планируется придать АЗН-В статус основного метода наблюдения в континентальном воздушном пространстве к 2010 г. При этом

предполагается, что воздушные суда, входящие в воздушное пространство США с океанических маршрутов, будут переходить с контрактного на радиовещательное АЗН. Европейская же стратегия (см. приложение 7) включает ряд концептуальных положений, реализация которых возможна только на базе АЗН-В. Именно, на первом этапе, т.е. до 2005 г., предполагается:

- внедрение в практику производство полетов по свободным маршрутам;
- совершенствование управления наземным движением в аэропортах.

На втором этапе (2005–2010 г.):

- совершенствование прогнозирования конфликтных ситуаций и планирования траекторий за счет возможностей, предоставляемых ЛПД;
- комплексное управление вылетами и прилетами ВС;
- дальнейшее улучшение управления наземным движением;
- расширение районов и практики производства полетов по свободным маршрутам;
- частичная передача ответственности за эшелонирование с земли на борт.

На третьем этапе (2010–2015 годы и далее):

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

Реализация первого этапа стратегии начнется модернизацией североευропейской сети NEAN с заменой прототипных транспондеров на сертифицированные по SARPS ICAO транспондеры УКВ ЛПД режима 4. Далее, к 2004 г. предполагается развертывание сети АЗН-В в южной части Европы в рамках проекта MEDUP. Устанавливаемые базовые станции АЗН-В будут обеспечивать радиовещательную трансляцию на борт информации о воздушной обстановке, дифференциальных поправок и параметров целостности сигнала навигационных спутников, карт погоды, а также информации NOTAM (данные об изменениях в состоянии аэронавигационного оборудования, правилах полетов и другие существенные для навигации сведения).

Внедрение АЗН в России представляется особенно перспективным в свете старения парка традиционных средств наблюдения. По данным ГосНИИ «Аэронавигация» и Госкорпорации по ОВД РФ, на продленном ресурсе работает более 45% технических средств УВД, навигации, посадки и связи, при этом средняя выработка их технического ресурса составляет 70%. Поэтому недорогая, но значительно более функциональная аппаратура АЗН является выгодным кандидатом на замену устаревших вторичных РЛС (рис. 10.7).

Кроме обновления, требуется и повышение эффективности существующих средств наблюдения за воздушной обстановкой. В первую очередь это относится к районам прохождения международных воздушных

трасс (МВТ). В районах Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока на отдельных участках МВТ разрывы в радиолокационном поле достигают 500 км, ВРЛ также отсутствуют. При неразвитой наземной инфраструктуре в этих районах очевидным решением является АЗН как вещательное, позволяющее пилотам видеть друг друга, так и контрактное, доставляющее диспетчеру координатную информацию о бортах по каналам спутниковой связи.

Характерной чертой аппаратуры АЗН, предназначенной для использования в России, должна быть способность GNSS-приемника работать по двум системам: NAVSTAR и ГЛОНАСС. Предполагается, что разработкой и производством этой аппаратуры будут заниматься именно отечественные предприятия. При этом приоритет отдается радиовещательному АЗН как универсальному методу наблюдения и на земле, и на борту. Аппаратуру контрактного АЗН, в том числе промежуточные системы типа FANS-1/A, также предполагается использовать, но только в океанических и малонаселенных районах. При входе в континентальное воздушное пространство ВС будет переходить на режим АЗН-В.

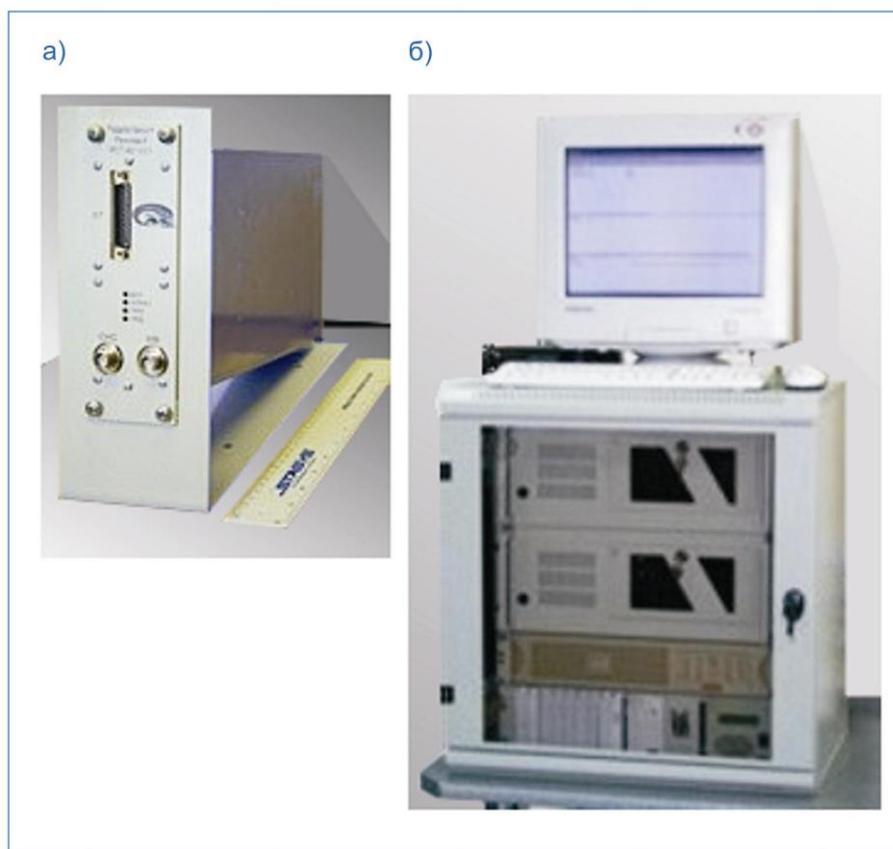


Рис. 10.7. Аппаратура АЗН: а – бортовой комплекс АЗН-В; б – базовая станция АЗН-В

Переход на наблюдение через систему АЗН сложнее, нежели просто замена РЛС, так как требует переоборудования бортовой аппаратуры воздушных судов. В соответствии с «Программой поэтапной реализации

АЗН в ЕС ОВД России» к 2005 г. планируется оснастить транспондерами АЗН-В 30% парка ВС. К этому же сроку предполагается создание сплошного поля базовых станций АЗН-В, эквивалентного или превышающего радиолокационное, что позволит использовать АЗН как средство наблюдения на всей территории РФ.

Должны быть также разработаны предложения по оснащению ВС государственной авиации.

Эффективность внедрения АЗН будет зависеть от того, насколько гармонично будут развиваться наземный и бортовой сегменты системы.

Контрольные вопросы.

1. Как расшифровывается АРМК ?
2. Как расшифровывается МРЛ ?
3. Как расшифровывается ADS-C?
4. Как расшифровывается ADS-B?

ЛИТЕРАТУРЫ

1.Авиационные Правила Республики Узбекистан «Правила полетов гражданской и экспериментальной авиации в воздушном пространстве

2..Республики Узбекистан» (АП РУз-91)Руководство по организации воздушного движения (ПСК/ЦУАН/ОВД-01);

3.Р.М. Ахмедов, А.А. Бибутов, А.В. Васильев. Автоматизированные системы управления воздушным движением: новые информационные технологии в авиации. Санкт-Петербург, 2004;

4.Cir 326 AN/188 ICAO. Оценка наблюдения с использованием систем ADS-B и мультилатерации в целях обеспечения обслуживания воздушного движения и рекомендации по их внедрению. Монреаль, 2013

5. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации / Под ред. С.Г. Пятко, А.И.Красова. - СПб.: Политехника, 2004. – ISBN 5-7325-0779-5.

ТЕМА – 4: Системы информационных технологий в управлении воздушным движением.

План:

1. Обработка радиолокационной информации. Первичная обработка радиолокационной информации.
2. Вторичная обработка радиолокационной информации.
3. Третичная обработка радиолокационной информации.
4. Системы информационных технологий в управлении воздушным движением.

4.1.Обработка радиолокационной информации.

Основной задачей радиолокации является сбор и обработка информации относительно зондируемых объектов. В многопозиционных наземных РЛС, как нам известно, вся обработка радиолокационной информации подразделяется на три этапа. *Первичная обработка* заключается в обнаружении сигнала цели и измерении ее координат с соответствующими качеством или погрешностями. *Вторичная обработка* предусматривает определение параметров траектории каждой цели по сигналам одной или ряда позиций МПРЛС, включая операции отождествления отметок целей. При *третичной обработке* объединяются параметры траекторий целей, полученных различными приемными устройствами МПРЛС с отождествлением траекторий. Содержание данных этапов свидетельствует об их важности и необходимости для создания полной картины о воздушной обстановке. Поэтому рассмотрение сущности всех видов обработки радиолокационной информации является весьма актуальным. Для достижения поставленных целей рассмотрим следующие вопросы:

1. Первичная обработка радиолокационной информации.
2. Вторичная обработка радиолокационной информации.
3. Третичная обработка радиолокационной информации.

1.Первичная обработка радиолокационной информации.

Для автоматизации процессов управления авиацией необходимо иметь исчерпывающую и непрерывно обновляющуюся информацию о координатах и характеристиках воздушных целей. Эту информацию в автоматизированных системах управления (АСУ) получают с помощью средств, входящих в подсистему сбора и обработки радиолокационной информации (РЛИ), а именно: постов и центров обработки РЛИ, авиационных комплексов радиолокационного дозора и наведения.

Основными средствами получения сведений о воздушных целях являются РЛС. Процесс получения сведений об объектах, находящихся в зоне видимости РЛС, называется обработкой РЛИ. Такая обработка позволяет получать данные о координатах цели, параметрах ее траектории, времени локации и др. Совокупность сведений о цели условно называют отметкой. В состав отметок, кроме указанных выше данных, могут входить сведения о номере цели, ее государственной принадлежности, количестве, типе, важности и др. Сигналы, которые несут необходимую для оператора информацию, называют полезными, но на них, как правило, обязательно накладываются помехи, искажающие информацию. В связи с этим в процессе обработки возникают задачи выделения полезных сигналов и получения необходимых сведений в условиях помех. Обработка информации основывается на существовании различий между полезным сигналом и помехой. Весь процесс обработки РЛИ можно разделить на три основных этапа: первичную, вторичную и третичную обработку.

На этапе первичной обработки РЛИ цель обнаруживают и определяют ее координаты. Первичная обработка осуществляется по одной, но чаще по нескольким смежным разверткам дальности. Этого хватает для обнаружения цели и определения ее координат. Таким образом, первичной обработкой РЛИ называется обработка информации за один период обзора РЛС. В состав первичной обработки РЛИ включают: обнаружение полезного сигнала в шумах; определение координат цели; кодирование координат цели; присвоение номеров целям. До недавнего времени эту задачу решал оператор РЛС. Но в настоящее время в реальных условиях слежения по индикаторам за многими целями, движущимися с большими скоростями, человек – оператор не в состоянии оценивать многообразие воздушной обстановки, пользуясь только визуальным способом. В связи с этим возникла проблема передачи части или всех функций человека – оператора при обработке РЛИ вычислительным средствам, которые были созданы на объектах АСУ авиацией. Первичная обработка РЛИ начинается с обнаружения полезного сигнала в шумах. Этот процесс складывается из нескольких этапов: обнаружение одиночного сигнала; обнаружение пакета сигналов; формирование полного пакета сигналов; определение дальности до цели и ее азимута. Все эти этапы реализуются с использованием оптимальных алгоритмов, основанных на критериях минимума ошибок принятия решения и результатов измерения. Таким образом, операции, производимые при первичной обработке, может производить РЛС самостоятельно.

2. Вторичная обработка радиолокационной информации.

Единичная отметка от цели лишь приближенно отражает истинное положение цели в момент локации. По ней еще нельзя принять достоверного решения об обнаружении цели, тем более судить о параметрах движения цели. В связи с этим становится очевидным, что первичная обработка не дает исчерпывающей информации о целях,

находящихся в зоне обзора РЛС. Чтобы принять правильное решение о наличии цели и определить параметры ее движения, необходимо проанализировать информацию, полученную за несколько периодов обзора. Именно так и поступает оператор, наблюдающий за экраном индикатора. Если в какой-либо точке экрана появилась одиночная отметка, оператор фиксирует ее как возможную цель. Если в следующем обзоре отметка появилась вновь и, кроме того, сдвинулась на некоторое расстояние, то уже имеется основание для принятия решения об обнаружении цели. Одновременно можно определить направление и скорость движения цели. Операции, выполняемые оператором, могут быть формализованы, а их выполнение возложено на специализированную ЭВМ. При этом возможны полуавтоматическая и автоматическая системы обработки информации. Автоматическая или полуавтоматическая обработка информации, полученной за несколько периодов обзора РЛС с целью обнаружения и непрерывного сопровождения траекторий целей, называется вторичной обработкой радиолокационной информации. Она включает в себя следующие операции: определение параметров движения целей (курс, скорость, ускорение и т. д.) по данным, полученным за несколько обзоров РЛС; выделение области пространства, в которой с некоторой вероятностью ожидается появление отметки в следующем обзоре (экстраполяция отметок); сличение экстраполированных координат с вновь полученными и привязка новой отметки к траектории цели (продолжение траектории). Основными данными, *определяющими траекторию движения цели*, являются пространственные координаты отметок цели, изменение которых соответствует закону движения цели в пространстве. Траектория движения цели зависит от многих факторов и условий, таких, как тип цели, высота полета, скорость, маневренные возможности и т. п. Кроме того, на траекторию полета оказывает влияние цели ряд случайных факторов, под которыми подразумеваются все причины, искажающие траекторию или затрудняющие ее обнаружение и воспроизведение. Перечисленные и некоторые другие факторы вынуждают отнести движение целей к категории процессов со случайно изменяющимися во времени параметрами. Очевидно, для статистического описания таких процессов необходимо знать законы распределения вероятности параметров, определяющих эти процессы. Однако практически таких законов получить не удастся, поэтому приходится задаваться некоторыми гипотезами о статистических характеристиках обрабатываемых сигналов, т.е. исходить из более или менее правдоподобной статистической модели движения цели. Если устройство предназначено для обработки траекторий самолетов или крылатых ракет, то модели их движения представляют собой совокупность участков с прямолинейным и равномерным движением и участков маневра. Для такого рода устройств за основу может быть взята полиномиальная модель движения. Она основана на представлении процесса изменения координат цели на ограниченном участке наблюдения в виде полинома

степени n относительно времени: , (5.1) где b_i – коэффициент, определяющий параметры траектории, на которые накладываются те или иные ограничения. Исходя из характера движения целей, формируются три основных требования к системам автосопровождения: на участках прямолинейного полета и на участках маневра гипотезы о характере изменения координат во времени должны быть различными; на участке прямолинейного полета изменение координат во времени проще описывать полиномами первой степени ; (5.2) на участке маневра процесс изменения координат во времени лучше всего описывать полиномами второй степени , (5.3) где ax, ay, az – ускорения по каждой координате. Процесс вторичной обработки разбивается на два самостоятельных этапа: обнаружение траекторий и слежение за траекториями. *Автоматическое обнаружение* является начальным моментом вторичной обработки. Пусть появилась одиночная отметка № 1 от цели. Она принимается за начальную отметку траектории. В следующем обзоре вторую отметку, принадлежащую той же траектории, следует искать в некоторой области, заключенной внутри кольца и имеющую площадь , (5.4) где T_0 – период обзора РЛС; v_{min}, v_{max} – возможные минимальная и максимальная скорости цели. В область S_1 может попасть не одна, а несколько отметок, и каждую из них следует считать как возможное продолжение предполагаемой траектории. По двум отметкам вычисляются скорость и направление движения каждой из предполагаемых целей, а затем экстраполируется положение отметки на следующий обзор. Вокруг экстраполируемых отметок образуются круговые области S_2 . Если в какую-либо область S_2 в третьем обзоре попала отметка, она считается принадлежащей к обнаруживаемой траектории, траектория продолжается, и отметка передается на сопровождение.

Операции, которые выполняются при автообнаружении, сводятся к экстраполяции координат, их сглаживанию и стробированию отметок. Процесс экстраполяции состоит в том, что по координатам ранее полученных отметок вычисляются координаты будущей отметки. Экстраполяция требует знания закономерностей движения цели, на основе которых прокладывается траектория. *Слежение за траекториями целей* заключается в непрерывной привязке вновь полученных отметок к своим траекториям, в сглаживании координат и вычислении параметров движения целей. Если слежение производится автоматически, то его называют автосопровождением. Пусть в n смежных обзорах РЛС получены отметки, создающие траекторию полета цели (рис. 5.1). Сначала производится сглаживание координат и вычисление параметров траектории, которые выдаются потребителю. Если в $(n+1)$ -м обзоре получено несколько отметок, то необходимо определить, какая из них принадлежит данной траектории. Используя данные известных $(n-2)$, $(n-1)$ и n -го обзоров, и, экстраполируя на один обзор вперед, можно предсказать положение $(n+1)$ -й отметки траектории $(n+1)$ э. Как правило, эта

рассчитанная отметка не совпадает ни с одной из вновь полученных. Если известны статистические характеристики ошибок измерения координат и заданы вероятностные характеристики степени достоверности полученного решения, то можно выделить вокруг экстраполированной отметки область, например, в виде прямоугольника со сторонами a и b , которую принято называть стробом. Координаты центра строба совпадают с координатами экстраполированной отметки. Если размеры строба выбраны так, что вероятность попадания в него истинной отметки велика, то отметку, попавшую в строб, следует отнести к данной траектории. Таким образом, в процессе автосопровождения выполняются следующие операции: сглаживание координат и определение параметров траектории; экстраполяция координат цели на следующий обзор или на несколько обзоров вперед; выделение строба, в котором с некоторой вероятностью ожидается появление новой отметки; сличение координат экстраполированной отметки с координатами отметок, попавших в строб, и выбор одной из них для продолжения траектории. Стробирование может быть физическим и математическим. Физическое стробирование – это выделение предполагаемой области появления отметки, принадлежащей сопровождаемой траектории, путем непосредственного воздействия на приемное устройство РЛС. Математическое стробирование – это формирование предполагаемой области появления отметки в виде границ строба. Строб может задаваться в полярной и прямоугольной системах координат x y .

Задача селекции отметок, т.е. выбора единственной отметки из всех имеющихся в стробе, решается путем вычисления квадратов линейных отклонений отметок от центра и сравнению результатов с целью выбора минимального. Таким образом, если при первичной обработке из смеси сигнала с шумом на основе статистического различия структуры сигнала и шума выделяется полезная информация, то вторичная обработка, используя различия в закономерностях появления ложных отметок и отметок от целей, должна обеспечить выделение траекторий движущихся целей. Траектория движения цели представляется в виде последовательности полиномиальных участков с различными коэффициентами и степенями полиномов, т.е. система обработки должна перестраиваться в соответствии с характером движения каждой цели.

3. Третичная обработка радиолокационной информации.

Системы управления боевыми действиями авиации, кроме рассмотренных выше задач по обработке информации, поступающей от одной РЛС, решают еще одну задачу, которая связана с объединением информации о целях, полученных от нескольких РЛС или первичных постов обработки РЛИ, и созданием общей картины воздушной обстановки. Обработку РЛИ, поступающей от нескольких источников, условились называть третичной обработкой информации (ТОИ). Ввиду того, что зоны обзора РЛС или зоны ответственности постов обычно перекрываются,

сведения об одной и той же цели могут поступать одновременно от нескольких станций. В идеальном случае такие отметки должны накладываться одна на другую. Однако на практике этого не наблюдается из-за систематических и случайных ошибок в измерении координат, различного времени локации, а также из-за ошибок пересчета координат между точками стояния источника и приемника информации. Главной задачей третичной обработки является решение вопроса, сколько целей находится в действительности в зоне ответственности. Для решения этой задачи необходимо выполнить следующие операции: произвести сбор донесений от источников; привести отметки к единой системе координат и единому времени отсчета; установить принадлежность отметок к целям, т.е. решить задачу отождествления отметок; выполнить укрупнение информации.

Для решения этих задач используются все характеристики целей. Устройства третичной обработки реализуются на специализированных ЭВМ с полной автоматизацией всех выполняемых операций. Однако иногда для упрощения автоматических устройств некоторые операции ТОИ могут производиться по командам и с участием оператора. В частности, таким образом выполняются операции отождествления и укрупнения.

Третичная обработка является завершающим этапом получения информации о воздушной обстановке. *Донесением о целях* принято называть информацию, содержащую сведения о местоположении целей, об их характеристиках, выдаваемую от источников по каналам связи для ее дальнейшей обработки и использования. Задача *сбора донесений* заключается в том, чтобы принять возможно больше информации при минимальных потерях. Каждое поступающее на вход донесение должно быть обработано, на что требуется некоторое время. Пусть в момент поступления донесения производится обработка предыдущего донесения. В этом случае поступившее донесение может либо покинуть систему необработанным, либо ждать своей очереди на обслуживание, пока система не освободится, либо ожидать обработки строго ограниченное время. В соответствии с этим все системы массового обслуживания разделяются на системы с отказами, системы с ожиданием и системы с ограниченным ожиданием (смешанного типа). На практике получили распространение системы смешанного типа с временем ожидания, выбранным из условия наилучшей обработки. Координаты целей измеряются в системе координат обнаружившей их РЛС, поэтому при передаче данных на пункт ТОИ необходимо *пересчитать их к точке стояния приемника информации*. В качестве единой системы координат могут использоваться геодезическая, полярная или прямоугольная системы координат. Наиболее точной является геодезическая, однако расчеты в ней сложны. Поэтому она используется лишь тогда, когда источники и приемники информации находятся на больших расстояниях друг от друга и велик фактор кривизны Земли. В остальных случаях пользуются полярной или прямоугольными системами

координат с поправкой по высоте. Расчеты в этих системах достаточно просты и приемлемы для решения целого ряда практических задач.

В АСУ передача координат целей обычно осуществляется в прямоугольной системе координат. На пункте обработки также используется прямоугольная система. Следовательно, задача сводится к преобразованию прямоугольных координат целей относительно точки стояния источника в прямоугольные координаты относительно точки стояния пункта обработки. К единому времени отсчета приводятся отметки, полученные на пункте ТОИ от разных источников. Единое время необходимо для того, чтобы определить положение обрабатываемых отметок по состоянию на какой-то один момент времени. Эта операция значительно облегчает задачу отождествления отметок. Координаты отметок приводятся к единому времени путем определения для каждой отметки времени экстраполяции относительно заданного момента сравнения. Учитывая сравнительно высокий темп обновления информации, целесообразно при экстраполяции принимать гипотезу равномерного и прямолинейного изменения координат. Все источники РЛИ обрабатывают информацию автономно и независимо друг от друга. За счет перекрытия зон ответственности в составе донесений могут быть дублирующие донесения, полученные от нескольких источников по одной и той же цели. В процессе *отождествления отметок целей* вырабатывается решение, устанавливающее: сколько целей имеется в действительности, если донесения о них поступают от нескольких источников; как распределяются поступившие донесения по целям. Обычно отождествление выполняется в два этапа. Сначала производится грубое отождествление или сравнение отметок, а затем проводится распределение отметок, позволяющее принять более точное решение на отождествление.

В основе этапа сравнения лежит предположение, что донесения об одной и той же цели должны содержать одинаковые характеристики. В силу этого решение о тождественности отметок принимают на основании сравнения характеристик. Однако в действительности из-за различных ошибок полного совпадения характеристик не бывает. В результате возникает неопределенность, выражаемая двумя конкурирующими гипотезами: 1. Гипотеза Н1 предполагает, что отметки от одной и той же цели, хотя произошло несовпадение. 2. Гипотеза Н2 предполагает, что отметки от разных целей, поэтому произошло несовпадение. Решение на выбор той или иной гипотезы принимается на основании оценки величины несовпадения и использования критерия минимума ошибки принятия решения. На этапе распределения для группирования отметок по отдельным целям используются признаки их принадлежности к источникам информации и нумерации целей в системе этих источников. Правила логического группирования отметок в соответствии с принадлежностью донесений о целях к источникам информации формулируются следующим образом. 1. Если в области допустимых отклонений получены отметки от одного и того же источника, то число целей равно числу отметок, так как одна станция в один и тот же момент времени не может выдавать от одной цели несколько

отметок. 2. Если в области допустимых отклонений от каждого источника получено по одной отметке, то считается, что эти отметки относятся к одной и той же цели. 3. Если от каждой станции получено по равному числу отметок, то очевидно, что число целей равно числу отметок, полученных от одной станции, ибо маловероятно, чтобы в пределах небольшой области станция обнаруживала только свои цели и не обнаруживала цель, которую наблюдает соседняя станция.

4. Если от нескольких источников поступило неодинаковое количество отметок, принимается, что источник, от которого получено наибольшее количество отметок, дает наиболее вероятную обстановку. При этом общее количество целей определяется числом отметок, принятых от указанного источника. Таким образом, обработка донесений в группе состоит в группировании отметок от нескольких источников к одной цели. Эта задача решается сравнительно просто при использовании первого и второго правила и значительно труднее при применении третьего и четвертого. По гипотезе третьего правила имеем две цели, к каждой из которых относится по одному донесению от каждого источника. Необходимо определить, какие пары отметок относятся к каждой цели. Наиболее правдоподобный вариант выбирается в результате сравнения сумм квадратов расстояний между отметками. Принимается та комбинация, для которой эта сумма минимальна. Приведенные правила сравнения и распределения отметок не единственные, и в зависимости от требуемой точности могут быть усложнены или упрощены. После отождествления сведения о цели выражаются группой отметок, полученных от нескольких источников. Для формирования одной отметки с более точными характеристиками координаты и параметры траектории усредняются. Простейший способ усреднения заключается в том, что вычисляется среднее арифметическое координат. Этот способ достаточно прост, но он не учитывает точностных характеристик источников информации. Более правильным является усреднение отметок целей с учетом коэффициента веса отметок, а коэффициент выбирается в зависимости от точности источника. И наконец, в качестве усредненных можно взять ординаты отметки, полученные от одного источника, если имеются данные, что этот источник выдает наиболее точную информацию.

Укрупнение (группирование) отметок целей проводится в тех пунктах обработки, где не требуется информация по каждой цели или же плотность поступления отметок от целей оказывается выше рассчитанной пропускной способности. Обычно группирование производится на высших инстанциях системы управления. Группирование осуществляется теми же способами, что и отождествление, и ведется по признаку близости координатных описаний группируемых объектов. Для этого формируется строб по тем координатам, которые назначаются как характерные для группы целей. Координаты центра стоба распространяются на всю группу. Обычно делается так, что центр стоба совпадает с отметкой головной цели в группе. Размеры стоба определяются, исходя из

навигационных и тактических требований. Обычно используется полуавтоматический метод укрупнения, который включает в себя следующие основные этапы: 1. Выделение компактных групп целей на основе близости координат x , y , H . Оператор визуально определяет компактную группу целей по координатам, выделяет головную цель, назначает один из стробов укрупнения и вводит в ЭВМ номер строга и головной цели. На основе этой информации ЭВМ завершает процесс выделения компактной группы. 2. Селекция внутри выделенных групп по скорости. Цель остается в составе укрупненной цели, если: (5.5) где v_{x2} , v_{y2} – составляющие скорости головной цели; $v_{п}$ – порог селекции по скорости. 3. Определение характеристик укрупненной цели. Укрупненной цели присваивается количественный состав, и формируется обобщенный признак действия. 4. Корректировка решения оператора. Ввиду того что обстановка в воздухе меняется, имеется возможность скорректировать данные укрупненной цели путем ее укрупнения, разукрупнения, отукрупнения или приукрупнения.

Сопровождение укрупненной цели. Эта операция осуществляется автоматически ЭВМ. При этом производится корректировка координат, обеспечивается выбор головной цели при исчезновении информации о старой головной цели. Таким образом, в процессе ТОИ производится сбор донесений от источников, приведение отметок к единой системе координат и единому времени отсчета, установление принадлежности отметок к целям (отождествление отметок) и выполнение укрупнения информации.

4. Системы информационных технологий в управлении воздушным движением.

Информационные технологии разработки и проектирования

Создание АС УВД нового поколения представляет собой сложную и трудоемкую научно-техническую проблему. Ее решение требует привлечения значительных сил и средств. В данной работе используется новый подход к созданию системы, на котором строится ее техническая реализация.

Он основан на следующих принципиальных положениях:

- АС УВД рассматривается как информационно-вычислительная система (ИВС);
- вся информация представляется в цифровой форме;
- система имеет сетевую структуру;
- система имеет функциональную иерархию уровней;
- система топологически однородна, состоит из модулей;
- техническая реализация системы рассчитана на максимальное применение стандартных аппаратных и программных средств, элементной базы промышленного производства.

Перечень задач, решаемых при разработке системы, методология создания систем обработки данных в последние годы претерпела коренные

изменения. Термин «технология» применительно современным методологиям показывает, что они основаны на формализованных дисциплинах с точными, продуманными методами, а неизобретаемыми по ходу дела и часто некорректными. Строго говоря, термин «информационная технология» (ИТ) относится к набору взаимосвязанных дисциплин, которые требуются для создания и построения компьютеризированных систем, основывающихся на современных интегрированных базах данных. Основа информационной технологии данные, а также информация, извлекаемая из этих данных. Информационная технология предполагает формализацию методов создания современных сложных автоматизированных систем. Начнем с предпосылок применения ИТ для создания систем аэроконтроля нового поколения. Перечень задач, решаемых при разработке системы

Первая и основная предпосылка создания информационной технологии автоматизированных систем в ГА, включая и АС УВД, состоит в том, что в центре современного управления производством и процессом принятия решений находятся данные о функционировании транспортной системы. Данные хранятся и ведутся с помощью различных систем управления базами данных.

В мировой практике при создании сложной наукоемкой продукции в последнее время используются технологии, получившие название PDM (ProductDataManagement). В узком смысле PDM технология есть совокупность методов представления в электронном виде полных данных об изделии и процессе его производства. Соответственно PDM-система рассматривается как интегрированная единая логическая модель данных об изделии, поддерживаемая соответствующими программными средствами хранения данных и доступа к ним.

Полная доступность и является тем свойством PDM-систем, которое обусловило существенный положительный эффект, заключающийся в сокращении сроков разработки изделий, снижении трудоемкости проектирования и технологического обеспечения. Сформированная выше сущность PDM-технологии (в дальнейшем — информационной технологии, или ИТ), естественно, должна быть конкретизирована для определенной предметной области (в нашем случае — области ОВД).

Вторая предпосылка создания информационной технологии заключается в том, что типы используемых данных в течение достаточно долгого периода времени стабильны. Объект — это то, о чем мы храним данные, например: «воздушное судно», «аэропорт», «радиолокатор», «радиомаяк» и т. д. Типы объектов не изменяются на протяжении длительного срока, за исключением относительно редких добавлений новых типов объектов. Типы атрибутов этих объектов также изменяются редко.

Значения данных меняются постоянно, но структура этих данных изменяется не часто, если с самого начала системы были хорошо спроектированы. Имея определенный набор типов элементов данных, можно найти оптимальный способ их логического построения, тем самым

создав устойчивую модель данных. И наконец, третья предпосылка создания информационной технологии разработки системы состоит в ее экономической целесообразности.

Ясно, что работа, основанная на этих положениях, требует немалых затрат. Минимизация краткосрочных затрат на разработку ИТ приводит к высокой стоимости обслуживания в дальнейшем и препятствует созданию ИТ, которые позволили бы быстро и недорого реализовать приложения. Здесь необходимо отметить, что расходы на разработку информационной технологии относятся к тому виду затрат, которые следует рассматривать как капитальные вложения в основные средства производства. Как и оборудование, информационная технология будет служить многие годы. Если разработчикам удастся создать стабильные структуры данных на основе моделей данных, срок службы такой ИТ составит не менее 10 лет, а возможно, и более. Фундамент ИТ будет жизнеспособным, только если данные правильно идентифицированы и структурированы так, чтобы ими можно было пользоваться с достаточной гибкостью. Это непростая задача. Общую методологию построения информационно-вычислительных систем можно представить в виде нескольких блоков. Первый (верхний) блок представляет создание информационно-топологической модели системы. Модель системы должна отражать не только существующие взаимосвязи, например, с источниками информации, но и возможные в будущем. При построении модели следует изучить все источники информации, необходимые для функционирования системы, включая и те, которые в текущий момент не используются (например, спутниковые системы слежения и связи).

Второй блок — это стратегический план данных; два этих блока вместе служат фундаментом компьютеризованной организации и составляют предмет данного проекта. Они обеспечивают гарантию, что вместо множества отдельных АРМов (разрабатываемых различными исполнителями) с несовместимыми данными будет построена интегрированная система данных, отвечающая всем требованиям, предъявляемым к таким системам.

Третий блок связан с построением стабильных детальных моделей данных. Над этой задачей уже могут работать различные исполнители, имеющие дело с определенными группами объектов или предметных баз данных, но уже в рамках единой информационной модели системы. Три нижних блока образуют ту основу, на которой будет строиться автоматизированная система. Как только они будут построены целиком или частично, можно начать разработку вычислительных процедур и алгоритмов обработки данных. Затем процедуры и алгоритмы реализуются в виде физического проекта баз данных. И только после этого физический проект баз данных программируется на одном из процедурных языков и разрабатываются прикладные программы для решения функциональных задач. Разработка информационной модели системы и стратегическое

планирование информационных ресурсов проводятся с привлечением новых технологий.

Построение ИВС должно начинаться с закладки фундамента системы — стратегического планирования информационных ресурсов и информационной модели системы. Методология разработки информационной модели должна удовлетворять таким требованиям, как надежность, достоверность, длительный жизненный цикл системы, возможность ее наложения на существующую организационную структуру, исключать неоправданное дублирование потоков информации и баз данных, необходимых для управления и принятия решений, обеспечивать качественный анализ данных, и все это — при максимально сжатых сроках создания системы. Наиболее полно отвечает этим условиям методология, органично сочетающая в себе два процесса: планирование «сверху вниз» и проектирование «снизу вверх». Первым шагом на пути планирования является создание схемы или модели системы в укрупненном виде, т. е. выделение основных функциональных областей. Оно должно по возможности охватывать все, включая планируемые в перспективе направления работы, что обеспечит длительный период существования информационной модели и, следовательно, проектируемой АС УВД. Вторым (после составления модели функциональных областей) этапом создания системы следует считать ее детализацию в части выделения процессов, происходящих в каждой области (первичная и вторичная обработка, обработка плановой информации и т. д.).

Проектирование стабильной, хорошо документированной и в основном избыточной структуры данных в конечном счете обеспечивает более простую и ясную форму обработки данных, чем вложение отдельно проектируемых данных в десятки и сотни процессов. Накладывая список предметных баз данных на процессы и анализируя результат с точки зрения создания или использования конкретной БД тем или иным процессом, определяем базы данных, характерные для протекания процессов внутри подсистем, и внешние базы данных (ППЛ, ЛТХ, РЛС и т. д.).

Здесь необходимо отметить, что процесс планирования сверху заканчивается в момент определения укрупненных БД (классов данных) и описания конкретных данных, необходимых для решения всех возможных задач. Создание структуры предметных БД относится уже к процессу проектирования снизу. Аналогичным образом проводится последний этап проектирования информационной модели системы. Таким образом, можно подвести черту, определив исходные данные (обобщенная модель процессов в АС УВД), методы решения (планирование сверху и проектирование снизу) и конечный результат (информационную модель) методологии создания автоматизированной системы управления воздушным движением. Следует отметить, что в отличие от «обычных» ИВС основные операции по обработке данных о ВД должны производиться в реальном времени. В связи с этим соответствующие базы данных имеют гибкую структуру, отличную от РБД (используемых, например, для составления

финансово-экономических отчетов). В заключение заметим, что описанная выше методология была в достаточной мере реализована при разработке АС УВД «Альфа» и системы «Норд», что позволило создать эти ИВС в довольно сжатые сроки.

Функции перспективных автоматизированных систем

Автоматизация функций УВД является главным фактором повышения безопасности, пропускной способности и эффективности управления на всех фазах полета. При этом улучшаются условия работы для диспетчерского и инженерного персонала, повышается производительность их труда. Важнейшей задачей автоматизации процессов УВД является снижение риска диспетчерских ошибок. Кроме того, автоматизация позволяет сократить эксплуатационные затраты системы. Автоматизация обеспечивает обработку, хранение и обмен все большими объемами информации, с постоянно возрастающей скоростью при повышении достоверности и точности. Эксплуатационные задачи, стоящие перед автоматизацией в целях увеличения пропускной способности и безопасности УВД при улучшении условий труда диспетчеров, заключаются в следующем:

- 1) улучшении процессов наблюдения, включая сбор, обработку и хранение информации от различных источников:
 - обзорных РЛ, ПРЛ, ВРЛ, АРП;
 - АЗН;
 - планов полетов;
 - метеорологических данных;
 - развитие цифровой связи для обмена сообщениями между органами ОВД и обеспечение диалога между пилотом и диспетчером (CPDLC);
- 2) реализация и развитие функций предотвращения столкновений:
 - между ВС в полете;
 - между ВС на земле;
 - между ВС и землей; совершенствование дружественного интерфейса человек—машина за счет использования передовых средств диалога (экран с высоким разрешением, многооконный интерфейс, плазменные экраны, «мышь»);
- 3) развитие средств наблюдения и помощи в принятии решений:
 - прогнозирование траекторий полета;
 - обнаружение конфликтных ситуаций;
- 4) разрешение конфликтов:
 - автоматическое обнаружение отклонений от траектории;
 - развитие элементов искусственного интеллекта (экспертных систем); оптимизированное присвоение кода ВРЯ в соответствии с принципом ORCAM (OriginatingRegionCodeAssignmentMethod);

5) корреляция между бесконфликтными траекториями и данными наблюдений (текущими и экстраполированными). Степень реализации этих функций будет повышаться по мере развития стратегии CNS/ATM.

Аппаратные и программные средства, с помощью которых обеспечивается поддержка функций автоматизированной обработки, должны удовлетворять ряду требований. Общие требования к перспективным системам определяются рамками новой концепции развития связи, навигации и наблюдения в целях управления ВД (CNS/ATM). Ввиду важности этих технических требований, часть которых являются новыми, следует уточнить их содержание. Перечислим основные характеристики, непосредственно влияющие на уровень безопасности полетов, дав им строгие определения:

1. Готовность. Свойство системы выполнять заданные функции по соответствующей инициации. Количественной мерой готовности является отношение фактического времени (длительности) функционирования от подачи сигнала инициации до завершения предписанных операций к запланированному времени (интервалу) функционирования. С готовностью связана полнота, заключающаяся в отсутствии задержек инициации системы или латентного интервала времени, обусловленного, например, «занятостью» системы.

2. Целостность. Свойство системы обнаруживать и исправлять ошибки двух родов:

- Ошибочное действие (сообщение) расценивается как правильное («пропуск ошибки», или «ложная тревога»);

- Правильное _____ действие (сообщение) квалифицируется как ошибочное («пропуск сигнала»). В качестве меры целостности обычно принимаются соответствующие вероятности или их комбинация. С содержательной точки зрения целостность отражает степень доверия к действиям системы и их результатам.

3. Непрерывность. Свойство системы выполнять в реальном времени свои функции без незапланированных прерываний в течение заранее заданного периода работы. За количественную меру непрерывности обычно принимают вероятность отсутствия прерываний. На практике численно ее можно оценивать как отношение суммарного времени прерываний к общему (заданному) времени функционирования.

4. Эргономичность. Свойство системы, состоящее в доступности и удобстве работы с ней человека-оператора, включая управление, контроль и предоставление необходимой информации.

5. Надежность. Свойство системы выполнять все свои функции, адекватно реагируя как на заранее определенные воздействия, так и на их отсутствие. Нарушение этого свойства расценивается как отказ. Обычно принято оценивать степень надежности вероятностью отказов или временем наработки на отказ. Следует различать отказ и неисправность. В последнем случае речь идет о ситуации, когда выход из строя отдельных элементов не приводит к нарушению работоспособности системы в целом.

6. Открытость. Свойство информационных систем, состоящее в наличии возможностей замены программных и аппаратных средств или внесения в них ограниченных изменений. Степень открытости определяется пределами этих ограничений и обусловлена соответствующими конструктивными и технологическими мерами.

7. Эксплуатационные требования (ОР). Заявления эксплуатационных атрибутов, обеспечивающих эффективное использование системы, в том числе и с экономической точки зрения. При этом разработчик АС УВД должен стремиться обеспечить наивысшие характеристики, в то время как допустимые их значения определяются нормативными документами (стандартами).

По своим характеристикам конкретные системы аэроконтроля отличаются друг от друга. Они могут иметь и различную структуру, т. е. разбиение на отдельные функциональные части (подсистемы) и средства их объединения в единое целое. АС УВД высокого уровня следует рассматривать как разновидность корпоративных ИВС. Для них характерны большая вычислительная мощность, развитой интерфейс и наличие периферийного оборудования (как источников, так и потребителей информации). Одной из главных характеристик ИВС является их архитектура. При всей схожести понятий структуры и архитектуры применительно к ИВС они имеют разный смысл. Если структура — понятие функциональное, то архитектура учитывает также и пространственное расположение составных частей ИВС (в связи с этим иногда применяют термин «информационно-топологическая структура»). Рациональная архитектура АС УВД позволяет, с одной стороны, «вписаться» в структуру ЕС ОрВД, а с другой — в значительной мере определяет состав и характеристики аппаратных и программных вычислительных средств. Известны информационно-вычислительные системы с архитектурой четырех типов (можно в некотором смысле соотнести их с определенными периодами развития ИВС). Они различаются, прежде всего, по способу организации и конфигурации вычислительных ресурсов, ограничивающих средства централизованной и распределенной обработки (три типа архитектуры ИВС представлены на рис. 3).

Первый тип — полностью централизованная информационно-вычислительная система, построенная на базе мейнфреймов (центральных ЭВМ) по принципу «одно предприятие — один центр обработки». В качестве стандартной среды приложений служили операционные системы MVS ЦВМ IBM (системы ЕС). Этот тип организации ИВС получил исторически наибольшее распространение в 60-70-х гг. Три типа архитектуры ИВС: а — централизованная ИВС; б — одноранговая сетевая ИВС; в — иерархическая структура ИВС

Второй тип реализует двухуровневую организацию по принципу «центральная ЭВМ (мейнфрейм) — мини-компьютеры» с фундаментом в виде центральной базы данных и пакетов прикладных

программ. Этот тип развивался в период 1970-1980 гг. в связи с появлением мини-компьютеров и СУБД.

Третий тип — полностью распределенная система, построенная в виде одноуровневой (одноранговой) сети из персональных компьютеров (рабочих станций) и реализующая, соответственно, принцип распределенной обработки.

Четвертый тип, развитие которого началось в последние годы, относится к двухуровневым структурам, в которых централизованная обработка и единое управление ресурсами ИВС на верхнем уровне сочетаются с распределенной предварительной обработкой на нижнем.

На верхнем уровне центральная ЭВМ (мейнфрейм) выполняет следующие функции:

- управление системой;
- формирование запросов;
- анализ входных данных;
- формирование выходных данных.

На нижнем уровне локальные серверы обеспечивают:

- кодирование информации;
- исполнение приложений; факсимильную связь;
- печать и архивирование.

К такому типу структуры ИВС привела сама логика развития современного производства, требующая _____ для выживания и развития в условиях рыночной экономики глубокого и оперативного анализа конъюнктуры, чуткого реагирования на ее изменения. Это определило возрастающую потребность в концентрации информационных ресурсов, ответственных за администрирование системы поддержки корпоративной базы данных и выполнение связанных с ней приложений (оценка, анализ, оптимизация и т. д.). Такую иерархическую модель архитектуры «клиент—сервер» следует рассматривать как разумный и естественный компромисс между требованиями максимальной доступности данных для обработки, повышения ее скорости и оперативности, простоты администрирования и снижения эксплуатационных расходов, с одной стороны, и стремлением обеспечить максимальное удобство для пользователей нижнего уровня ввода/вывода данных за счет применения соответствующих аппаратных и программных средств, с другой. При этом следует подчеркнуть, что использование такого сервиса, как, например, «дружественный» графический (визуальный) интерфейс, не только обеспечивает эргономичность, но и повышает производительность труда и достоверность информации за счет снижения уровня ошибок.

К этому добавим следующие особенности рассматриваемой ИВС:

- модульное построение системы, предполагающее различные типы структурных решений в рамках единого комплекса и относительно легкий способ перехода от одного типа к другому;
- полное использование потенциальных возможностей настольных ПК и среды распределенной обработки;

- экономия ресурсов системы за счет централизации хранения и обработки данных на верхнем иерархическом уровне;
- осуществление сквозного контроля за функционированием сети и управление на всех уровнях с помощью эффективных централизованных средств сетевого и системного администрирования;
- возможность изменения конфигурации системы за счет «нежесткости» структуры нижнего уровня системы, позволяющего добавить новые терминалы, заменять один на другой, менять их функции и т. д.

Контрольные вопросы.

1. Как расшифровывается РЛИ ?
2. Как расшифровывается ЭВМ?
2. Как расшифровывается ГОИ?
2. Как расшифровывается АСУ?

ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Авиационные Правила Республики Узбекистан «Правила полетов гражданской и экспериментальной авиации в воздушном пространстве Республики Узбекистан» (АП РУз-91);
2. Руководство по организации воздушного движения (ПСК/ЦУАН/ОВД-01);
3. Р.М. Ахмедов, А.А. Бибутов, А.В. Васильев. Автоматизированные системы управления воздушным движением: новые информационные технологии в авиации. Санкт-Петербург, 2004;
4. Cir 326 AN/188 ICAO. Оценка наблюдения с использованием систем ADS-B и мультilaterации в целях обеспечения обслуживания воздушного движения и рекомендации по их внедрению. Монреаль, 2013
5. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации / Под ред. С.Г. Пятко, А.И. Красова. - СПб.: Политехника, 2004. – ISBN 5-7325-0779-5.

IV. МАТЕРИАЛЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1-практическое занятие: Задачи и классы автоматизированных систем управления воздушным движением и средств автоматизации, используемых в гражданской авиации.

ЦЕЛЬ: Ознакомление автоматизированных систем управления воздушным движением и средств автоматизации, используемых в международной гражданской авиации.

Разработка комплексов автоматизации наблюдения за воздушной обстановкой нового поколения началась в конце 80-х – начале 90-х годов. Работы велись различными предприятиями и фирмами. В перечень отечественных разработок входили: «Синтез КСА-УВД» (ВНИИРА, СПб.), «Коринф» (Радар ГА, Москва), «Строка-Ц» (РИМР, СПб.), «Карм-ДРУ» (СПАС, Москва), «Топаз-2000» (ЛЭМЗ, Москва), «Норд» и «Альфа» (НИТА, СПб.).

Наиболее полное развитие к настоящему времени получили такие системы, как «Топаз-2000», «Синтез» и «Альфа». На базе этих КСА наблюдения строятся АС УВД высокого уровня.

По своей архитектуре КСА наблюдения и АС УВД относятся к иерархическим системам распределенной сетевой структуры. Они призваны на базе современных информационных технологий решать задачи автоматизации отображения информации о воздушном движении на трассах, местных воздушных линиях и в районах аэропортов.

Рассматривая развитие КСА нового поколения, прежде всего следует отметить, что их становление в нашей стране связано с большими трудностями. Они вызваны моральным и физическим старением средств аэронавигационного обеспечения (АНО), части радиотехнического оборудования, РЛС и АС УВД, а также нехваткой капитальных средств на их полную замену. Вместе с тем уровень развития информационных технологий, программных и аппаратных средств, использующих современную элементарную базу, позволяет даже при относительно невысоких затратах решить проблему поэтапной модернизации существующих КСА УВД и существенно поднять уровень организации ВД в соответствии с концепцией CNS/ATM.

КСА УВД нового поколения отражают общие тенденции развития ИВС, такие, как:

- гибкость, обеспечивающая возможность их использования в центрах УВД любого типа;
- нежесткость состава аппаратных средств, позволяющая расширять конструкцию при увеличении интенсивности ВД;
- функциональная эволюционность, позволяющая достаточно легко адаптироваться к новым аппаратным и программным средствам, а также к источникам информации и системам связи (спутниковые системы, АЗН, системы цифровой связи).

В табл. П.22.1 приведены некоторые характеристики, общие для КСА нового поколения, которые производятся (или разрабатываются) в Российской Федерации. К данным таблицы необходимо добавить следующее. В указанных системах обеспечивается возможность процедурного и радиолокационного контроля по данным ПРЛ и ВРЛ. Предусматривается сопряжение с АРМ диспетчера АДП и АРМ «Метео». Количество рабочих мест может быть увеличено. Предусматриваются обработка и отображение плановой информации и сопряжение с AFTN. Во всех системах имеется подсистема технического контроля (и соответствующее АРМ). Предусматривается связь с диспетчерским тренажером (или встроенный тренажер – в «Альфе»). Безопасность и надежность обеспечиваются за счет резервирования и дублирования функций, применения методов защиты информации (в частности от несанкционированного доступа) и использования источников бесперебойного питания. В лучшие из систем заложена возможность развития аппаратных средств по критерию наилучшего соотношения между показателями эффективности и стоимости без необходимости модификации матобеспечения, что отвечает мировым тенденциям. Основные характеристики КСА наблюдения за ВО и УВД

Таблица П.22.1

№ п/п	Функции и параметры	Характеристики и значения параметров
1	Сопряжение с РТС – источниками информации о ВО (РЛС, РЛК, АРП, РСБН, РЛП)	1РЛ-139, ТРЛК-11, Корень-АС, Крона, МВРЛ СВК, ДРЛ-7СМ, Иртыш, Экран-85, АРП-75, РСБН, РП-4Г
2	Количество сопровождаемых целей	600 и более
3	Способы предоставления информации о ВО	Цифровой, аналоговый, аналого-цифровой
4	Количество автоматизированных рабочих мест (АРМ)	Количество АРМ диспетчеров – по требованию заказчика, АРМ ДРУ РЦ и АДЦ, АРМ КДП, АРМ СДП, АРМ МДП, АРМ план и АРМ инж.
5	Элементная база	IBM совместимые ПЭВМ, рабочие станции SUN, DEC, Intel, IBM HP (военная приемка)
6	Операционная система (ОС)	Windows 95, NT, HP, UNIX-подобные ОС

7	Локальная вычислительная сеть (ЛВС)	Дублированная ЛВС Ethernet (100 Mbps), Fast Ethernet
---	-------------------------------------	--

В заключение остановимся на вопросе использования АС УВД для решения задач, выходящих за рамки обработки плановой и радиолокационной информации.

Для обеспечения функций расчетов за АНО и оценки характеристик ИВП наряду с плановой информацией необходима регистрация фактических пространственно-временных траекторий движения каждого ВС. Эти данные могут использоваться также и для автоматизированного анализа показателей безопасности полетов, статистических характеристик потоков ВС и т.д.

В АС УВД прежних поколений такая информация могла собираться с контрольных стрипов. В современных АС УВД, где используется плановая информация, она автоматически сравнивается с реальной траекторией, и при наличии отклонений, превышающих допустимые, в плановую траекторию вносятся соответствующие коррективы. В результате получают скорректированную (реальную) пространственно-временную траекторию ВС. Обмен данными производится с помощью аэронавигационных сообщений, правила составления которых определяются Табелем сообщений о движении ВС транспортной системы РФ (ТС ГА-95) и Правилами аэронавигационного обслуживания (Doc 4444 RAC/501/12 ICAO).

Для этой же цели могут быть также использованы имитаторы программного движения ВС с периодической коррекцией планов полетов по получаемым диспетчером связи данным о фактическом пролете контрольных пунктов. Таким образом, очевидной тенденцией развития АС УВД является создание безстриповых систем.

Выходной информацией являются счета, данные о доходах, задолженности за АНО пользователей, финансовые отчеты и другие сведения, которые могут быть подготовлены и оперативно переданы в адрес ПЭУ.

Системы УВД, представленные в обзоре, предназначены для обработки, распределения и отображения объединенной информации о воздушной обстановке и обеспечивают автоматизацию процессов управления воздушным движением. Архитектура систем предусматривает наличие нескольких функциональных модулей, таких как:

- подсистема отображения воздушной обстановки;
- подсистема обработки плановой информации;
- подсистема документирования и записи;
- тренажерная подсистема;
- подсистема диагностики.

Подсистема отображения воздушной обстановки осуществляет сбор, обработку и отображение координатно-цифровой и дополнительной информации в пределах зоны ответственности. В качестве источников

информации могут быть первичные, вторичные радиолокационные комплексы, системы спутниковой навигации, автоматические радиопеленгаторы. Функционально подсистема отображения позволяет:

- обеспечить мультирадарную обработку сигналов в пределах зоны управления;
- обрабатывать и отображать данные, полученные от метеорадиолокатора;
- отслеживать выдерживание норм вертикального эшелонирования;
- анализировать воздушную обстановку по данным о действительном и экстраполированном местоположении воздушного судна для отображения конфликтных ситуаций, нарушений минимальнобезопасных высот, пересечений границ зон ответственности, нарушений границ запретных зон.

Плановая подсистема осуществляет сбор, обработку планов полетов, отображение плановой информации. В качестве источников плановой информации могут быть использованы сети AFTN, IFPS, автоматизированные рабочие места системы планирования. Плановая подсистема обеспечивает:

- автоматическую печать стрипов и вывод на отдельном мониторе информации о планах полетов;
- расчет маршрута и траектории полета ВС;
- автоматическую корректировку планов полетов по данным радиолокатора;
- автоматическую координацию работы смежных РЦ;
- расчет конфликтных ситуаций.

Подсистема документирования и записи предназначена для документирования и воспроизведение информации о воздушной обстановке и процессе управления. Подсистема документирования позволяет:

- регистрировать воздушную обстановку;
- воспроизвести любой кусок записи;
- воспроизводить запись информации о воздушной обстановке синхронно с голосом.

Тренажерная подсистема предназначена для тренировки диспетчеров УВД одновременно с обеспечением УВД.

Подсистема диагностики использует графический интерфейс пользователя и позволяет оперативно найти и идентифицировать сбой в работе системы и дать рекомендации обслуживающему персоналу по устранению неисправности.

По своей архитектуре все системы УВД являются модульными, имеют распределенную структуру и построены на базе локальной вычислительной сети с применением протоколов TCP/IP. Безопасность и надежность обеспечиваются за счет 100%-ого резервирования всех функциональных модулей и дублирования функций, применения методов защиты информации, в частности от несанкционированного доступа, а также использования источников бесперебойного питания.

Все системы УВД построены на базе стандартных IBM-совместимых промышленных вычислительных комплексов. Для отображения используются цветные мониторы высокого разрешения.

Основной операционной системой является UNIX где используются графический интерфейс пользователя X-WINDOWS, базы данных, обеспечивающие SQL-интерфейс, и языки программирования высокого уровня C и C++. Программное обеспечение позволяет легко реализовывать современный человеко-машинный интерфейс при необходимой надежности системы.

Типовая архитектура системы иллюстрируется рис. П.23.1.

Основные характеристики и отличительные особенности некоторых АС УВД представлены в табл. П.23.1.



Рис. П.23.1. Типовая структура АС УВД

№ п/ п	Функции и параметр	Eurocat 2000 (Thales, Франция)	Letvis (Ales, Чехия)	Skyline (Lockheed Martin, США)	SACTA (Indra, Испания)	AUTOTRAC (Raytheon, США)
1	Сопряжение с РТС (РЛС, АРП, РСБН, ПРЛС)	С любыми вторичными РЛК	С любыми первичными и вторичными РЛС, в режиме RBS и УВД, с метеолокаторами	С любыми вторичными РЛК	С любыми первичными и вторичными РЛС и РЛК	С любыми вторичными РЛК
2	Количество сопровождаемых целей	Сопровождаются все цели	До 300	Все, в пределах зоны ответственности диспетчера	Все, в пределах зоны ответственности диспетчера	Все, в пределах зоны ответственности диспетчера
3	Режимы представления информации	Цифровой	Аналоговый, цифровой, аналого-цифровой	Цифровой	Цифровой	Цифровой
4	Количество рабочих мест	По требованию заказчика	По требованию заказчика	По требованию заказчика	По требованию заказчика	По требованию заказчика
5	Элементная база	Рабочие станции промышленного изготовления	Рабочие станции промышленного изготовления, военная приемка, возможно использование Power PC и Sun.	Рабочие станции промышленного изготовления	Рабочие станции промышленного изготовления	Рабочие станции промышленного изготовления
6	Операционная система	UNIX 4.0 и X-Windows X11-R6	OpenStep	UNIX	UNIX	UNIX
7	Локальная вычислительная сеть	100%-ная резервируемая ЛВС, TCP/IP	Дублированная ЛВС	Дублированная ЛВС	Дублированная ЛВС	Дублированная ЛВС

Автоматизированная система EUROCAT 2000 для центров УВД

В АС УВД EUROCAT 2000 с помощью специальных структурных, аппаратных и программных средств обеспечиваются:

- гибкость, необходимая для ее использования в центрах любых типов;
- возможность ее расширения при увеличении интенсивности воздушного движения;
- функциональная эволюционность, необходимая для ее адаптации к новым техническим средствам (связь для передачи данных, сеть авиационной телесвязи АТН, система АЗН и пр.).

В состав системы EUROCAT 2000 входят:

- ЭВМ с массовой памятью (банк данных);
- АРМ (WS-Workstations);
- локальная сеть цифровой связи (LAN – Local Area Network);
- комплекс средств голосовой связи.

Система построена на полностью распределенной архитектуре, что соответствует концепции современных корпоративных информационных систем:

- каждая основная функция обеспечивается отдельной ЭВМ;
- база данных является распределенной;
- ЭВМ и АРМ связаны посредством сети LAN.

Безопасность и *надежность* системы обеспечиваются за счет резервирования ее элементов, используются дублированные ЭВМ и дублированная сеть LAN.

В зависимости от функций элементов существуют два типа резервирования:

- обработка, проводящаяся параллельно на двух одинаковых ЭВМ (ведущая / ведомая), со сравнением данных и автоматическим переключением с одной на другую в случае обнаружения различий (Multiple Calculation);
- обработка на одной активной ЭВМ, с обновлением базы данных на резервной ЭВМ и с переключением с одной ЭВМ на другую в случае отказа (Hot Stand by).

Система EUROCAT 2000 относится к типу открытых (Open System): при ее разработке предусматривалась возможность адаптации к эволюции функций ОВД и новым технологиям.

Система ориентирована на использование оборудования при соблюдении международных стандартов и SARPS:

- связь (LAN): ETHERNET, FDDI, TCP/IP, X25;
- протоколы TCP/IP, X25;
- операционная система: UNIX;
- графика: X.WINDOW, PHIGS;
- язык: ADA, C.

Элементы оборудования при их замене, не требуют модификации матобеспечения. Их выбор производится по критерию лучшего соотношения между показателями эффективности и стоимостью.

Архитектура системы и распределение функций поясняется на рис. П.24.1. Как уже отмечено выше, каждая функция центра УВД обеспечивается, как правило, дублированной ЭВМ. Центр УВД оснащается оборудованием, количество и характеристики которого (вычислительная

мощность, емкость памяти для хранения данных и т.д.) рассчитываются в зависимости от типа центра и уровня его автоматизации.



Рис. П.24.1. Структура системы EUROCAT 2000

Это оборудование обеспечивает выполнение следующих функций:

1) цифровую связь между внешним окружением и локальной сетью (LAN) центра УВД:

- интерфейс цифровой связи (Communication Gateway) с гражданским окружением:
 - сетью авиационной фиксированной связи (AFTN/CIDIN);
 - сетью SITA;
 - другими центрами УВД (РЦ, АДЦ);
 - гражданскими аэропортами;
 - вышками КДП;
 - станциями спутниковой связи;
 - радиостанциями VHF;
 - метеоцентрами;
 - вынесенными гражданскими АРМ;
- интерфейс цифровой связи (Communication Gateway) с военными абонентами через военную сеть:
 - АСУ другого назначения;
 - зональными центрами;
 - вышками КДП;
 - станциями спутниковой связи;

- радиостанциями UHF;
 - метеоцентрами;
 - вынесенными военными АРМ;
 - процессор сопряжения с линиями передачи данных обнаружения, определения МП, опознавания (Radar front processor) для связи с позициями источников РЛ-информации:
 - РЛ позициями: на таких позициях могут совмещаться РЛС (ПРЛ, ВРЛ и при необходимости МРЛ) и АРП;
 - радиопеленгационными позициями: автономные АРП;
- 2) голосовую связь между внешним окружением и РМ персонала, а также между отдельными РМ, средства речевой связи (VCCS);
- 3) Обработку и хранение данных:
 - ЭВМ обработки РЛ информации (ПРЛ, ВРЛ);
 - ЭВМ обработки информации АЗН (для РЦ с реализацией функций АЗН);
 - ЭВМ обработки планов полетов по трассам;
 - ЭВМ обработки планов полетов вне трасс;
 - ЭВМ документирования данных контроля полетов по трассам;
 - ЭВМ документирования данных контроля полетов вне трасс;
 - ЭВМ обработки метеорологических данных;
 - координирующая ЭВМ;
 - ЭВМ моделирования для обучения диспетчеров;
 - ЭВМ разработки матобеспечения;

4) эксплуатацию центра УВД.

Эксплуатация центра УВД осуществляется персоналом центра, работающим на различных АРМ, подключенных к локальной сети (LAN).

АРМ организованы следующим образом:

- пульты управления, состоящие из РМ диспетчера РЛ и РМ диспетчера планирования;
- по одному пульту на сектор управления полетами по трассам;
- по одному пульту на сектор управления полетами вне трасс;
- пульты руководителя полетов (за исключением центров типа 4);
- пульты технического руководителя;
- пульты обучения диспетчеров, одновременно служащие в качестве резервных;
- АРМ пилота-оператора (для тренировки диспетчеров).

Другие АРМ (для РЦ специальных типов):

- пульты метеоспециалистов;
- пульты ОПВД (АТФМ): связанные с главным центром ОПВД;
- пульты ОВП (АСМ): связанные с зональным центром, за которым закреплен данный РЦ.

Пульты ОрВД распределяются следующим образом:

- пульты суточного планирования;
- пульты текущего планирования;
- пульты руководителя;

- пульты метеоспециалистов.

Рассмотренная архитектура является типовой для целого класса информационных систем в области ОВД. Ряд принципов, заложенных в ней, использованы при разработке АС УВД «Альфа». Вместе с тем следует отметить, что реализация системы, подобной EUROCAT 2000 в РФ, в современных условиях является нецелесообразной как по экономическим, так и по техническим причинам.

Механизмы защиты ОС UNIX

В качестве примера реализации функций защиты в ОС кратко рассмотрим механизмы защиты ОС UNIX.

Размещаемая в ОП часть ОС называется ядром. Ядро ОС UNIX состоит из двух основных частей: управления процессами и управления устройствами. Управление процессами резервирует ресурсы, определяет последовательность выполнения процессов и принимает запросы на обслуживание. Управление устройствами контролирует передачу данных между ОП и периферийным оборудованием.

В любой момент времени выполняется либо программа пользователя (процесс), либо команда ОС. В каждый момент времени лишь один пользовательский процесс активен, а все остальные приостановлены. Ядро ОС UNIX служит для удовлетворения потребностей процессов.

Процесс есть программа на этапе выполнения. В некоторый момент времени программе могут соответствовать один или несколько процессов либо не соответствовать ни один. Считается, что процесс является объектом, учтенным в специальной таблице ядра системы. Наиболее важная информация о процессе хранится в двух местах: таблице процессов и таблице пользователя, называемой также контекстом процесса. Таблица процессов всегда находится в памяти и содержит на каждый процесс по одному элементу, в котором отражается состояние процесса: адрес в памяти или адрес свопинга, размер, идентификаторы процесса и запустившего его пользователя. Таблица пользователя существует для каждого активного процесса, и к ней могут непосредственно адресоваться только программы ядра (ядро резервирует по одному контексту на каждый активный процесс). В этой таблице содержится информация, требуемая во время выполнения процесса: идентификационные номера пользователя и группы, предназначенные для определения привилегий доступа к файлам ссылки на системную таблицу файлов для всех открытых процессом файлов указатель на индексный дескриптор текущего каталога в таблице индексных дескрипторов и список реакций на различные ситуации. Если процесс приостанавливается, контекст становится недоступным и немодифицируемым.

Каталоги файловой системы ОС UNIX «спрятаны» от пользователей и защищены механизмами ОС. Скрытой частью файловой организации в ОС UNIX является индексный дескриптор файла, который описывает расположение файла, его длину, метод доступа к файлу, даты, связанные с

историей создания файла, идентификатор владельца и т.д. Работа с таблицами является привилегией ядра, что обеспечивает сохранность и безопасность системы. Структура данных ядра ОС, обеспечивающих доступ к файлам, приведена на рис. П.25.1.

При взаимодействии с ОС UNIX пользователь может обращаться к большому числу наборов информационных объектов или файлов, объединенных в каталоги. Файловая система ОС UNIX имеет иерархическую структуру.

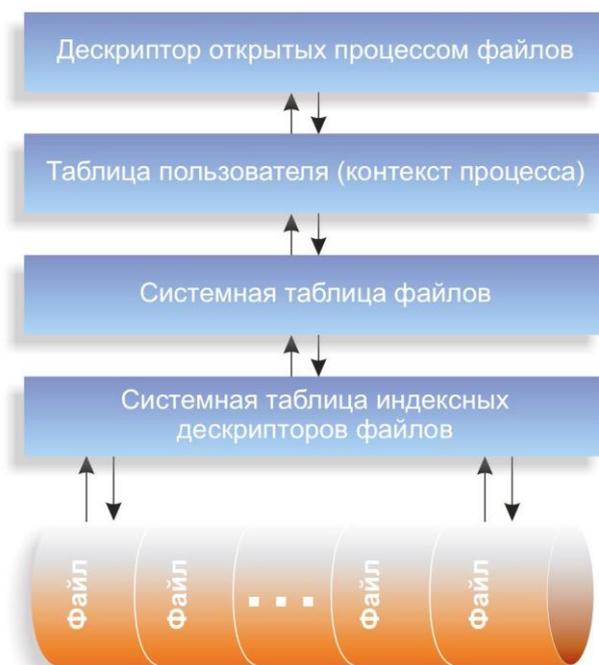


Рис. П.25.1. Структура данных, обеспечивающая доступ к файлам

В ОС UNIX используются четыре типа файлов: обычные, специальные, каталоги, а в некоторых версиях ОС и FIFO-файлы. Обычные файлы содержат данные пользователей. Специальные файлы предназначены для организации взаимодействия с устройствами ввода-вывода. Доступ к любому устройству реализуется как обслуживание запроса к специальному (дисковому) файлу. Каталоги используются системой для поддержания файловой структуры. Особенность каталогов состоит в том, что пользователь может читать их содержимое, но выполнять записи в каталоги (изменять структуру каталогов) может только ОС. В ОС UNIX, где реализованы FIFO-файлы (First in First Out), организуются именованные программные каналы, являющиеся соединительным средством между стандартным выводом одной программы и стандартным вводом другой. Схема типичной файловой системы ОС Unix приведена на рис. П.25.2.

Рассмотрим основные механизмы защиты данных, реализованные в ОС UNIX.

Управление доступом к системе. При включении пользователя в число абонентов ему выдаются регистрационное имя (идентификатор) для входа в систему и пароль, который служит для подтверждения идентификатора пользователя. Вводимые пользователем символы пароля не отображаются на экране терминала. В отдельных версиях ОС UNIX, помимо идентификатора и пароля, требуется ввод номера телефона, с которого выполняется подключение к системе. Администратор системы и пользователь могут изменить пароль командой `passwd`. При вводе этой команды ОС запрашивает ввод текущего пароля, а затем требует ввести новый пароль. Если предложенный пароль слишком прост, ОС может попросить ввести другой. Если предложенный пароль удовлетворителен, ОС просит ввести его снова с тем, чтобы убедиться в корректности ввода пароля.

Пользователи, которым разрешен вход в систему, перечислены в учетном файле пользователей `/etc/passwd`. Этот текстовый файл содержит следующие данные: имя пользователя, зашифрованный пароль, идентификатор пользователя, идентификатор группы, начальный текущий каталог и имя исполняемого файла, служащего в качестве интерпретатора команд. Пароль шифруется, как правило, с использованием DES-алгоритма.

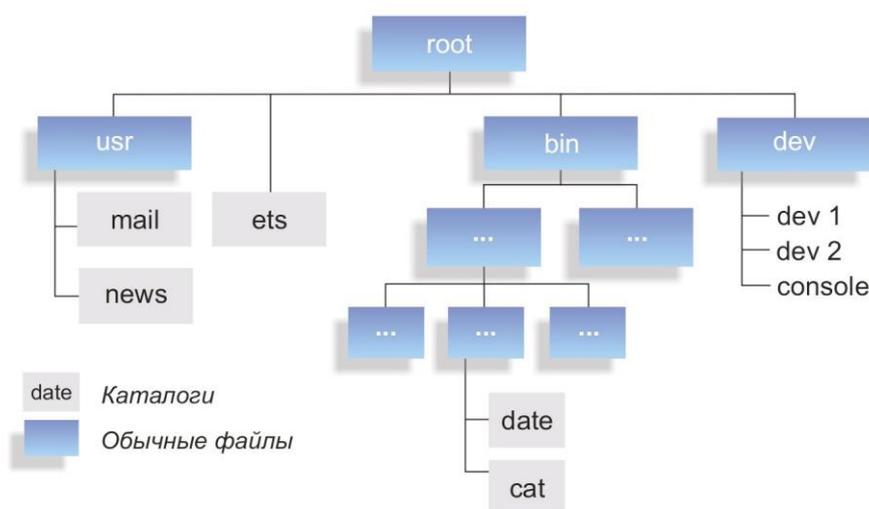


Рис. П.25.2. Схема файловой системы ОС UNIX

Управление доступом к данным. Операционная система UNIX поддерживает для любого файла комплекс характеристик, определяющих санкционированность доступа, тип файла, его размер и точное местоположение на диске. При каждом обращении к файлу система проверяет право пользоваться им.

Операционная система UNIX допускает выполнение трех типов операций над файлами: чтение, запись и выполнение. Чтение файла означает, что доступно его содержимое, а запись – что возможны изменения содержимого файла. Выполнение приводит либо к загрузке файла в ОП либо к реализации содержащихся в файле команд системного монитора Shell. Разрешение на выполнение каталога означает, что в нем допустим поиск в

целях формирования полного имени пути к файлу. Любой из файлов в ОС UNIX имеет определенного владельца и привязан к некоторой группе. Файл наследует их от процесса, создавшего файл. Пользователь и группа, идентификаторы которых связаны с файлом, считаются его владельцами.

Идентификаторы пользователя и группы, связанные с процессом, определяют его права при доступе к файлам. По отношению к конкретному файлу все процессы делятся на три категории:

1) владелец файла (процессы, имевшие идентификатор пользователя, совпадающий с идентификатором владельца файла);

2) члены группы владельца файла (процессы, имеющие идентификатор группы, совпадающий с идентификатором группы, которой принадлежит файл);

3) прочие (процессы, не попавшие в первые две категории).

Сеть ISDN предоставляет базовый абонентский интерфейс, посредством которого пользователь запрашивает различные услуги. Этот интерфейс образуется двумя типами оборудования, устанавливаемого на стороне пользователя:

- терминальным оборудованием (TE), например телефонный аппарат;

- сетевым окончанием (NT) – устройством, образующим канал связи с ближайшим коммутатором ISDN.

Пользовательский интерфейс включает каналы трех типов:

- В, скорость 64 Кбит/с, предназначен для передачи пользовательских данных (например, оцифрованного голоса);

- D, скорость 16 или 64 Кбит/с, предназначен для передачи адресной информации к коммутатору и организации низкоскоростной сети передачи пользовательских данных с коммутацией пакетов;

- H, скорость 384 Кбит/с (H0), 1536 Кбит/с (H11) или 1920 Кбит/с (H12), предназначен для высокоскоростной передачи данных.

Сеть ISDN предоставляет два основных типа пользовательского интерфейса.

Интерфейс BRI (Basic Rate Interface) или 2B+D включает два канала типа В и один типа D (16 Кбит/с), все каналы работают в полнодуплексном режиме, используя одну и ту же двухпроводную физическую линию в режиме разделения времени, суммарная скорость – 144 Кбит/с. Данные передаются кадрами по 48 бит, содержащими 2 байта 1-го В-канала, 2 байта 2-го В-канала и 4 бита D-канала, а также служебную информацию.

Интерфейс PRI (Primary Rate Interface) или 30B+D включает 30 каналов типа В и один типа D (64 Кбит/с), суммарно 2048 Кбит/с. Формат кадра аналогичен формату кадра канала типа E1.

Технологии PDH/SDH и ISDN относятся к сетям с коммутацией каналов.

Существует ряд стандартных решений для организации межцентральной прямой телефонной связи с использованием каналов ТЧ.

Принцип открытого канала – предельно простое решение, при котором используются только разговорные приборы и тангента. В исходном состоянии динамик включен на прослушивание, микрофон отключен. По нажатию тангенты микрофон подключается к линии, а динамик отключается, чтобы избежать самопрослушивания и акустической завязки. Вызов осуществляется голосом или индукторно (звонком). Открытый канал целесообразно применять, только когда с каждой стороны имеется по одному абоненту, так как отсутствует адресная сигнализация (если к каналу подключены разговорные приборы нескольких абонентов, неизвестно, кому из них адресован входящий вызов).

Принцип избирательного вызова предназначен для решения этой проблемы. Рассмотрим ситуацию, когда несколько секторов одного центра УВД граничат с несколькими секторами другого. В этом случае надо обеспечить вызов конкретного абонента «на той стороне», используя один канал связи. Для этого применяется адресная сигнализация, которая указывает, какого абонента надо вызвать. Так как полоса пропускания канала ТЧ ограничена, для сигнализации используются тональные посылки на частотах, выбранных из диапазона 300–3400 Гц. Для большей надежности, как правило, используются двухчастотные комбинации из набора в шесть или семь частот. Таким образом, обеспечивается 15 или 21 комбинация. Являющаяся фактическим стандартом в Российской Федерации аппаратура ИВА-14/ИВА-20 обеспечивает избирательный вызов соответственно 14 или 20 абонентов: оконечное оборудование вызываемого абонента генерирует двухчастотную посылку длительностью 0,6 секунды, интерпретируемую как адрес (номер) вызываемого абонента. Так, комбинация частот 705+900 Гц соответствует №1, 705+1150 Гц – №2 и т. д. Фильтры на стороне вызываемого абонента определяют наличие соответствующей частоты и генерируют вызов на требуемом абонентском комплекте. Существенным недостатком аппаратуры ИВА-14/ИВА-20 является односторонность протокола – нет подтверждения приема вызова и неизвестен номер вызываемого абонента.

Более совершенной является сигнализация, предусматривающая двусторонний обмен сигнальными посылками. При этом посылки в прямом и обратном направлении могут быть разнесены во времени или по частотам, т. е. для запросов используется одна группа из шести частот, а для ответов – другая группа, также из шести частот. Так, стандартный европейский протокол взаимодействия между смежными СРС MFC-R2 использует частоты 540, 660, 780, 900, 1020 и 1140 Гц для посылок в прямом направлении и частоты 1280, 1500, 1620, 1740, 1860 и 1980 Гц – в обратном.

Следует отметить, что некорректная работа аппаратуры частотного уплотнения приводит к искажению (изменению частоты) передаваемого сигнала, что ухудшает работу протоколов, основанных на частотных посылках.

При наличии у обоих смежных центров доступа к сети ISDN становится возможной организация полностью цифрового взаимодействия

между СРС. Для этой цели применяется протокол АТС-QSIG, основанный на протоколе QSIG, разработанном в первой половине 1990-х годов специально для построения корпоративных сетей связи путем их объединения через каналы ISDN.

Применение протоколов МFC-R2 и АТС-QSIG обеспечивает сетеобразование, когда отдельные СРС, развернутые в центрах УВД, образуют единую сеть. Такая сеть применительно к Европе обеспечивает:

- сквозную шестизначную нумерацию, состоящую из двухзначного кода зоны (для России 39 и 40), двухзначного кода центра УВД и двухзначного кода терминала;
- возможность альтернативных маршрутов при отказе прямого канала между двумя центрами.

Сетевой протокол X.25

Протокол X.25 (полное название *CCITT Recommendation X.25* – Рекомендация X.25 ССИТТ) был разработан компаниями общественных линий связи в 1976 году и относится к сетям с пакетной технологией. Эта спецификация разрабатывалась для обеспечения надежной передачи данных независимо от типа системы пользователя или изготовителя. С помощью сетей X.25 можно соединять ЛВС в территориальную сеть, устанавливая между ними мосты X.25.

Чтобы пользоваться сетями с коммутацией пакетов (PSN), пользователи заключают контракты с общедоступными сетями передачи данных (PDN). Предлагаемые услуги и взимаемая плата регулируются Федеральной комиссией по связи (FCC).

Спецификация X.25 определяет двухточечное взаимодействие между терминальным оборудованием (DTE) и оборудованием завершения действия информационной цепи (DCE). Устройства DTE (пользовательские терминалы и вычислительные машины) подключаются к устройствам DCE (модемы, коммутаторы пакетов и другие устройства в сети PSN), которые соединяются с коммутаторами переключения пакетов (*packet switching exchange* PSE, или просто *switches*) и другими DCE внутри PSN, и, наконец, к другому устройству DTE. Взаимоотношения между объектами сети X.25 показаны на рис. П.27.1.

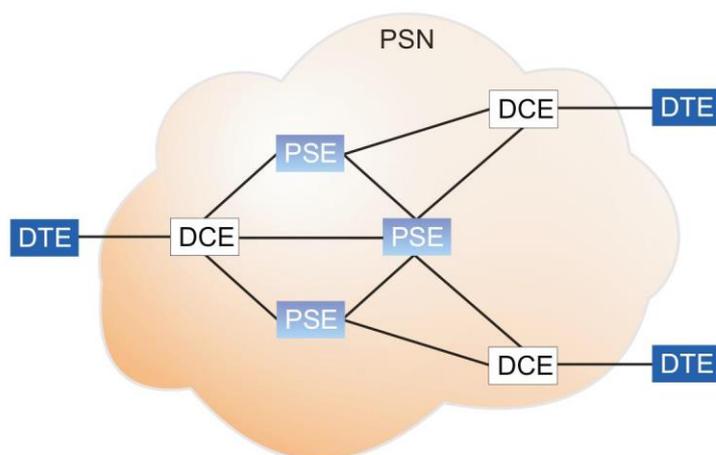


Рис. П.27.1 Сеть X.25

Стандартный DTE в X.25 – синхронный модем с дуплексным бит-ориентированным протоколом. Скорости от 9,6 до 64 Кбит/с. Протокол физического уровня для связи с цифровыми каналами передачи данных – X.21, а с аналоговыми – X.21bis. На канальном уровне используется протокол LAPB – Link Access Procedure Balance – разновидность протокола высокого уровня управления каналом передачи данных HDLC (High-Level Data Link Control).

Для доставки пакетов по необходимому адресу используются номера логических каналов. Пакеты пересылаются через коммутируемые виртуальные каналы (SVC – switched virtual circuit) и постоянные виртуальные каналы (PVC – permanent virtual circuit).

DTE может быть терминалом, который не полностью реализует все функциональные возможности X.25. Такие DTE подключаются к DCE через трансляционное устройство, называемое пакетным ассемблер/дисассемблером – *packet assembler/disassembler* (PAD). Действие интерфейса терминал/PAD, услуги, предлагаемые PAD, и взаимодействие между PAD и главной вычислительной машиной определены соответственно CCITT Recommendations X.28, X.3 и X.29.

Стандарт X.25 относится к трем нижним уровням эталонной модели, т.е. включает протоколы физического, канального и сетевого уровней. На сетевом уровне используется коммутация пакетов. Стандарт X.25 поддерживает три протокола, каждый из которых соответствует определенному уровню (табл. П. 27.1).

Уровни X.25, принадлежащие эталонной модели OSI

Таблица П. 27.1

Уровни X.25	Протоколы, соответствующие уровням X.25
Сетевой уровень	Протокол пакетного уровня
Канальный уровень	Протокол сбалансированного доступа к каналу
Физический	Протокол X.21 или X.21bis

Для установления физического соединения между сетевыми интерфейсами пользователей (UNI – User-to-Network Interface) и собственно сетью X.25 на физическом уровне используется протокол X.21 (или X.21bis), описывающий способы взаимодействия пользователей с сетью X.25. Эти протоколы описывают действительное физическое соединение между интерфейсом пользователя и сетью.

На канальном уровне используются процедуры сбалансированного доступа к каналам (LAPB – Link Access Procedure Balance). LAPB – программный протокол, поддерживающий процедуру дешифрации кадров или сборов битов информации, передающихся по сети различными UNI. Этот протокол добавляет большое количество избыточной информации к передаваемым по сети данным.

На сетевом уровне используется протокол пакетного уровня (LPD – Packet Layer Protocol). LPD объединяет подготовленные на втором уровне кадры в пакеты, которые затем передаются по сети. Для формирования всех передаваемых по сети данных в пакеты используется пакетный адаптер (PAD – Packet Assembler/Disassembler). В пакетах содержится вся передаваемая по сети информация, а также служебные биты этого уровня. Служебная информация хранится в поле логического номера канала (LCN – Logical Channel Number). Значение этого поля используется для определения адресата полученной последовательности пакетов.

Соответствие кадров канального уровня эталонной модели OSI показано на рисунке.

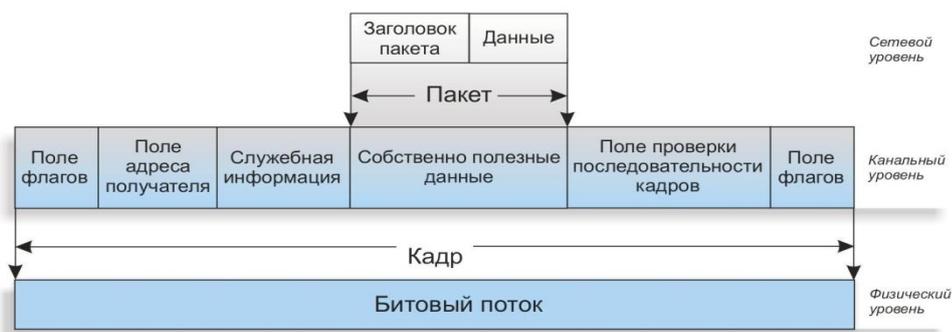


Рис. П.27.2. Уровни протокола X.25

На каждом из трех уровней X.25 выполняется множество проверок целостности данных, а также дополнение собственно данных служебной информацией. Сеть X.25 требует добавления избыточных битов к набору или последовательности пакетов, предназначенных одному получателю. Эта же процедура осуществляется в качестве подтверждения выполнения адекватной проверки целостности данных, а также для уведомления об обнаружении ошибки.

В сетевом протоколе X.25 значительное внимание уделено контролю ошибок (в отличие, например, от протокола IP, в котором обеспечение

надежности передается на транспортный уровень). Эта особенность приводит к уменьшению скорости передачи, т.е. сети X.25 низкоскоростные, но зато эти сети можно реализовать на каналах связи с невысокой помехоустойчивостью. Целостность передаваемых данных обеспечивается процедурами сетевого уровня, осуществляющими контроль пакетов в целях исключения возникновения ошибок на пути между отправителем и адресатом. Контроль ошибок производится при инкапсуляции и восстановлении пакетов (во всех мостах и маршрутизаторах), а не только в конечном узле.

На физическом уровне протокола X.25 предполагается проверка циклического избыточного кода (CRC – Cyclic Redundancy Checking) передаваемых по сети данных. В протоколе LAR к полезным данным добавляются служебные биты, которые используются для стандартной обработки кадров и нахождения ошибок.

В случае обнаружения ошибки узел X.25 посылает отправителю запрос на повторную передачу ошибочного пакета. Описанный способ считается достаточно ненадежным. Однако участие узлов в процедурах проверки целостности данных, запросов на повторную передачу данных и анализ пакетов негативно отражаются на быстродействии сети.

Использованные литературы:

1. Авиационные Правила Республики Узбекистан «Правила полетов гражданской и экспериментальной авиации в воздушном пространстве Республики Узбекистан» (АП РУз-91);
2. Руководство по организации воздушного движения (ПСК/ЦУАН/ОВД- 01);
3. Р.М. Ахмедов, А.А. Бибутов, А.В. Васильев. Автоматизированные системы управления воздушным движением: новые информационные технологии в авиации. Санкт-Петербург, 2004;
4. Cir 326 AN/188 ICAO. Оценка наблюдения с использованием систем ADS-B и мультilaterации в целях обеспечения обслуживания воздушного движения и рекомендации по их внедрению. Монреаль, 2013

Ресурсы интернета

1. www.avia.ru
2. http://www.elibrary.ru/menu_info.asp
3. <http://www.ge.com>

4. <http://www.pw.utc.com>
5. <http://www.rolls-royce.co.uk>
6. <http://www.uacrussia.ru>

2-практические занятия:. Автоматизированные системы управления воздушным движением, вычислительные системы и программное обеспечение.

ЦЕЛЬ: Классификация вычислительных комплексов АС УВД. Требования, предъявляемые к вычислительным комплексам АС УВД. Аппаратные и программные средства вычислительных комплексов АС УВД. Масштаб реального времени; вычислительная мощность; принципы выбора аппаратных и программных средств для АС УВД.

Синхронизация времени в системах УВД. Единое системное время. Синхронизация сервера АС УВД по данным GNSS-приемника; синхронизация автоматизированных рабочих мест и внешних устройств АС УВД.

Формула тарифа за АНО на маршруте. Общепринятый в настоящее время метод определения размера платы за АНО при полете по трассам «расстояние–вес» практически реализуется соответствующей зависимости, которая вид либо таблицы, либо относительно простой алгебраической формулы и может быть представлена в виде графика. В соответствии с рекомендациями ИКАО формула имеет мультипликативную структуру, т.е. параметры, характеризующие расстояние и вес (массу), входят в общее выражение как сомножители. Однако их вхождение неравноправно, и это отвечает рекомендациям.

В соответствии с Заявлением Совета взлетная масса ВС используется как приближенная мера объема аэронавигационного обслуживания. В обоснование этому приводят два довода. Во-первых, с увеличением коммерческой загрузки возрастает объем обслуживания, а во-вторых, вес воздушного судна, выраженный в виде сертифицированного максимального взлетного веса (массы), является в достаточной мере достоверной сравнительной мерой объема обслуживания.

Использование в качестве параметра, характеризующего вес ВС, его максимальной взлетной массы, конечно, весьма удобно. Чем выше максимальная взлетная масса, тем больше, вообще говоря, и максимальная коммерческая нагрузка. Однако, поскольку рассматриваемая зависимость имеет все-таки нелинейный характер, а также поскольку существует общее мнение о необходимости смягчения политики взимания сборов в связи с возросшей производительностью воздушных судов в результате прогресса в авиационной технике, при определении размера сборов за

аэронавигационное обеспечение на маршруте фактор массы воздушного судна следует рассматривать как второстепенный. В связи с этим шкала веса должна учитывать менее чем пропорционально относительно полезную вместимость различных воздушных судов, о которых идет речь.

Выдержки из документов ИКАО приводятся здесь с целью передать сложность и, как принято говорить, неоднозначность проблемы.

Основная формула расчета суммы платы за АНО, взимаемой за конкретный полет воздушного судна определенной взлетной массы, имеет вид

$$C_{sm} = P_m \cdot S, \quad (\text{П.2.1})$$

где C_{sm} – общая сумма платы за АНО, взимаемая за полет ВС по данной трассе, в руб. или \$; s – ортодромическое расстояние полета по трассе (в километрах), измеряемое:

- либо между аэропортом вылета и аэропортом назначения;
- либо между точкой входа в зону ответственности и аэропортом назначения;
- либо между аэропортом вылета и точкой выхода из зоны ответственности;
- либо между точками входа в зону ответственности и выхода из нее.

P_m – ставка платы за АНО с ВС определенной максимальной взлетной массы за каждые 100 км ортодромического расстояния, руб · км⁻¹ (или \$ · км⁻¹).

Ставка платы рассчитывается по формуле:

$$P_m = P_0 \cdot (m/m_0)^I, \quad (\text{П.2.2})$$

где m – максимальная взлетная масса ВС, т;

$m_0 = 50$ – базовая взлетная масса, т;

P_0 – базовая тарифная ставка – тариф платы за АНО, взимаемый за полет по ортодромии на расстояние 100 км воздушного судна, имеющего максимальную взлетную массу $m_0 = 50$ т.

I – коэффициент, величина которого в соответствии с рекомендациями ИКАО находится в пределах: $0 < I < 1$.

Вместо выражения (П.2.2) можно, как уже отмечалось, использовать соответствующую таблицу или интервальную шкалу.

Если пользоваться непрерывными зависимостями, то из соотношений (П.2.1) и (П.2.2) подстановкой можно получить одно:

$$C_{sm} = P_0 \cdot K_m \cdot S / 100, \quad (\text{П.2.3})$$

где $K_m = (m/m_0)^I$ – весовой коэффициент приведения.

На практике большая часть применяемых в настоящее время систем взимания сборов за АНО в той или иной степени соответствует зависимостям (П.2.1) – (П.2.3).

В табл. П.2.1 и на рис. П.2.1 показаны зависимости весовых коэффициентов приведения как функции для максимальной взлетной массы или их значения на интервалах ее изменения, в системах взимания сборов, принятых в трех международных агентствах: Евроконтроль (Европа),

ASECNA (Африка) и COCESNA (Центральная Америка). Наиболее последовательно рекомендациям ИКАО следует агентство Евроконтроль. Здесь используется непрерывная зависимость, а коэффициент $\lambda = 0,5$, так что формула для весового коэффициента приведения имеет вид:

$$K_m = \sqrt{m/m_0} = 0,141 \sqrt{m}.$$

Весовые коэффициенты, принятые в международных авиаассоциациях

Таблица П.2.1

Максимальная взлетная масса, т	Евроконтроль	ASECNA	COCESNA
0	0	0	0
4	0,28	0,28	0,33
10	0,45	0,28	0,33
14	0,53	0,71	0,33
20	0,63	0,86	0,33
30	0,78	0,86	0,67
40	0,89	1	0,67
50	1,0	1	1
60	1,10	1	1
80	1,23	1,14	1,33
100	1,42	1,14	1,67
150	1,73	1,14	1,67
160	1,79	1,29	1,67
200	2	1,29	1,67
300	2,45	1,29	1,67
Интервалы	–	4–14–20–40–80–160	20–40–60–80

В системах агентств ASECNA и COCESNA приняты дискретные шкалы с различными интервалами, причем весовой коэффициент в первой из них изменяется в пределах от 0,28 до 1,29, а для второй - от 0,33 до 1,67. Следует обратить внимание также на то, что система ASECNA имеет наибольшее число интервалов для $0 < m \leq 50$, причем в диапазоне масс от 14 до 50 т. В диапазоне от 80 до 150 т наибольшие значения коэффициента у системы COCESNA.

Это наводит на предположение, что в государствах Африки более пристальное внимание уделяется воздушным судам малой пассажиропропускной способности, а в Центральной Америке – средней. Для ВС большой пассажиропропускной способности максимальные весовые коэффициенты в системе Евроконтроль

$$K_m = m/m_0.$$

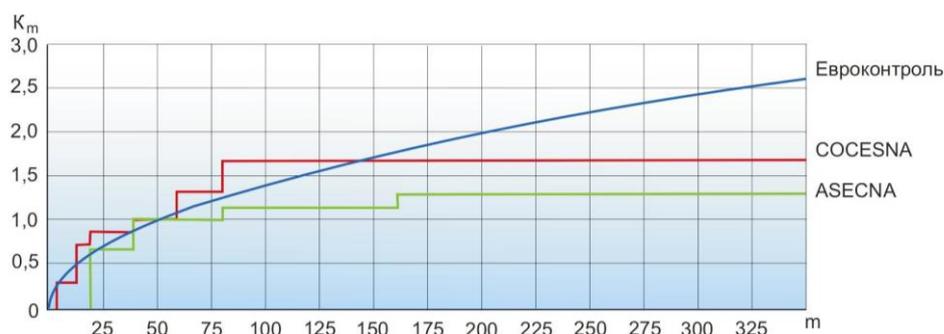


Рис. П.2.1. Весовые коэффициенты приведения, принятые в международных агентствах

Весовые коэффициенты приведения, принятые в РФ, приведены в табл. 2.2. Данные табл. 2.3 дают представления о размерах навигационных ставок за АНО на маршруте.

Весовые коэффициенты приведения, принятые в РФ

Таблица П.2.2

Максимальная взлетная масса, т	Россия		Евроконтроль
	Отечественные пользователи	Иностранные пользователи	
0–5	0,35	1,0	0–0,32
5–20	0,63	1,0	0,32–0,63
20–50	1,0	1,0	0,63–1,0
50–100	1,69	1,37	1,0–1,42
100–200	2,39	1,70	1,42–2,0
200–300	2,39	1,77	2,0–2,45
300–400	2,39	1,80	2,45–2,83
> 400	2,39	1,87	2,83...

Размер национальных ставок за АНО на маршруте (в долларах США на 100 км.)

Таблица П.2.3

Страна	DC 9 (44,5Т)	B 727 (98 Т)	A 310 (150 Т)	B 747 SR (268 Т)	B 747-200 (350 Т)
Белоруссия	30	45	51	54	57
Эстония	35,7	49,98	60,69	64,26	67,83
Финляндия	82,44	117,77	176,66	235,55	235,55
Казахстан	30	41	51	53	54
Латвия	45,5	52,5	70	105	105
Литва	51,89	77	95,26	127,33	145,52
Норвегия	45,35	67,3	83,26	111,29	127,18
Польша	62,26	92,4	114,32	152,8	174,62
Россия	42	57	71	74	75

Украина	32	45	55	57	58
---------	----	----	----	----	----

Приложение 3

Математические модели подвижных объектов

Принципы построения математических моделей траекторного движения. Общеизвестно, что наиболее сложным является полное описание математической модели ВС. Существуют, однако, различные формы таких описаний, и это объясняется спецификой конкретных задач, для решения которых они предназначались. Для целей навигации и УВД непригодны уравнения движения в скоростной, связанной и полусвязанной системах координат, используемые при анализе динамики и устойчивости движения самолета в аэродинамических исследованиях.

Наиболее подходящими по своей форме представляются уравнения движения, которые применяются для анализа угловых движений и движения центра масс ВС в автоматизированном полете. Уравнения движения получаются, как известно, из системы уравнений для сил и моментов. Укажем их основные особенности:

- уравнения записаны в нормальной земной системе координат в соответствии с ГОСТом, что позволяет строить траектории относительно Земли;
- нелинейная система обыкновенных дифференциальных уравнений в форме Коши описывает движение ВС как твердого тела (изгибные колебания не учитываются как несущественные);
- в системе может быть учтено (в виде дополнительных уравнений или при соответствующей корректировке уже имеющихся) влияние автоматических систем управления: системы улучшения характеристик устойчивости и управляемости, автопилота (АП), системы траекторного управления бортовой системы управления полетом и др., входящих в состав ВСУП (FMS).

Порядок системы при этом достигает $n=21$ и более.

Однако анализ показывает, что эта модель практически непригодна для использования в АС УВД по следующим соображениям:

- порядок системы слишком высок, и интегрирование ее в реальном времени представляет существенные трудности;
- модель содержит большое число параметров и коэффициентов, зависящих от типа ВС, и поэтому теряет свою универсальность;
- в систему входит большое число неизвестных (не измеряемых) воздействий.

Полная модель траекторного движения на воздушном участке. Следующая система нелинейных дифференциальных уравнений, которую будем называть полной, с достаточной точностью описывает траекторное движение ВС (погрешность при эволюциях не превышает 100–150 м; такое хорошее совпадение с эталонной траекторией позволяет использовать эту модель для целей прогноза).

В качестве фазовых координат (переменных состояния) в системе выступают линейные координаты ВС (его центра масс) в нормальной земной системе координат $o_g x_g y_g z_g$, скорости их изменения, а также ряд переменных (в частности, угловые координаты), динамикой изменения которых нельзя пренебречь.

Полная система имеет следующий вид (штрих обозначает дифференцирование):

$$\left. \begin{aligned} x' &= V_x = V \cos \psi + W_x, \\ y' &= V_y, \\ z' &= V_z = -V \sin \psi + W_z, \\ \psi' &= -g/V \operatorname{tg} \gamma \\ T_x V_{\text{пр}}' &= V_{\text{прз}} - V_{\text{пр}}, \\ T_y V_y' &= V_{yз} - V_y, \\ T_z \gamma' &= \gamma_з - \gamma, \end{aligned} \right\}, \quad (\text{П.3.1})$$

где x, y, z – координаты ВС в нормальной земной СК, а v_x, v_y, v_z – скорости их изменения; $v_{\text{пр}}, v_{\text{прз}}$ – приборная скорость и ее заданное значение; $v_y, v_{yз}$ – вертикальная скорость и ее заданное значение; ψ – угол рыскания; γ и $\gamma_з$ – крен и его заданное значение; w_x и w_z – составляющие скорости ветра; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; T_x, T_y, T_z – постоянные времени: $T_x = 10 \div 30 \text{ с}$, $T_y = 2 \div 6 \text{ с}$, $T_z = 2 \div 4 \text{ с}$.

Уравнение для угла ψ , в системе (П.3.1) которое описывает вращение в горизонтальной плоскости (рис. П.3.1), легко получить, если учесть, что проекция γ_g вектора подъемной силы γ на ось OY уравновешивает силу веса $G = mg$ (m – масса ЛА), а проекция Y на ось OZ – центробежную силу:

$$F_{\text{цб}} = mV^2/R = mV\psi',$$

где R – радиус разворота.

$$\operatorname{tg} \gamma = Y_z/Y_y = V_g \psi'/g, \text{ ТО } \psi' = g/V_g \operatorname{tg} \gamma,$$

где V_g – путевая скорость.

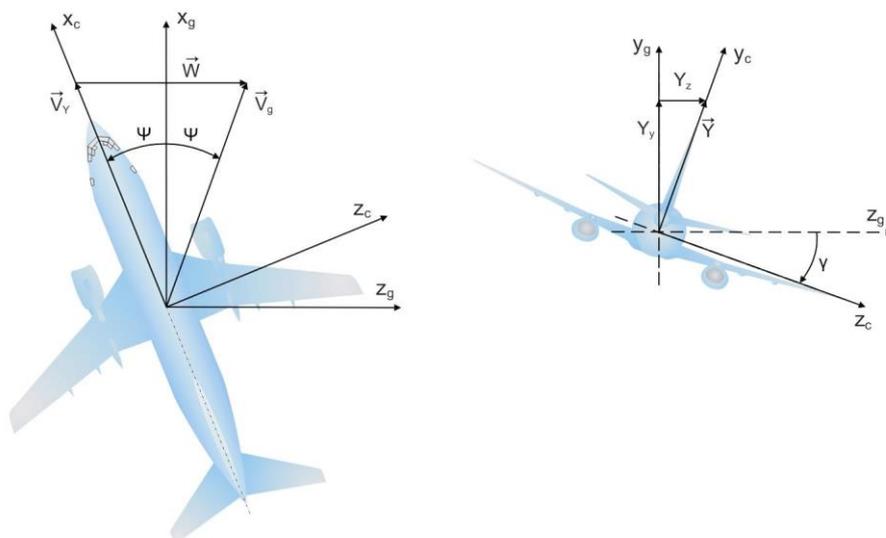


Рис. П.3.1. Параметры движения на воздушном участке

Для радиуса разворота без скольжения с установившейся угловой скоростью $\omega_y = \psi'$ (правильного виража) получаем формулу:

$$R = V / \omega_y = V^2 / (g \operatorname{tg} \gamma) .$$

К системе (П.3.1) добавляются соотношения:

$$V = V_{\text{пр}} (1 - Ah)^B / \sqrt{0,2M^2 + 1} ,$$

$$W_x = W \cos \delta_b , \quad W_z = W \sin \delta_b ,$$

где h — высота полета; m — число Маха; w и δ_b — скорость и направление ветра; w_x, w_z — его составляющие; A и B — коэффициенты, равные соответственно $A = 2,2558 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$, $B = -2,128$.

Примечания:

1. Крайние значения из интервалов постоянных времени отвечают «легким» и «тяжелым» ВС (дальнемагистральным, повышенной пассажировместимости и грузоподъемности). При отсутствии информации о типе ВС значения коэффициентов выбираются исходя из задачи.

2. Как принято в нормальной земной системе, координаты следует снабжать нижним индексом g . Так, вместо x следует писать x_g , вместо v_x — v_{x_g} и т.д. Поскольку (если не оговорено особо) в дальнейшем используется исключительно нормальная земная система координат, то нижние индексы, содержащие букву g , опущены.

3. Предполагается, что ВС имеет хорошие характеристики устойчивости и управляемости (может быть, за счет соответствующих систем), и поэтому боковое скольжение играет незначительную роль, а боковое и продольные движения можно считать независимыми. Поэтому основная система естественным образом распадается на две подсистемы.

Предполагается, что изменение ветра (его силы и направления) происходит достаточно медленно, что характерно для полетов на больших высотах.

Как следует из записи системы уравнений (П.3.1), в качестве возмущающих воздействий в ней могут выступать составляющие ветра w_x, w_z , а за управляющие воздействия (управления) приняты заданные величины угла крена γ_3 , вертикальной скорости v_{y_3} и приборной скорости $V_{\text{пр}_3}$.

В некоторых случаях целесообразно в качестве задающего воздействия вместо заданной вертикальной скорости рассматривать изменение (приращение) угла тангажа. При этом из полной системы может быть получено (при некоторых упрощающих допущениях) следующее уравнение:

$$T_{y\theta} \dot{V}_y = V \Delta \theta_3 - V_y + W_y ,$$

где $\Delta\vartheta_3$ – заданное изменение угла тангажа; w_y – вертикальная составляющая скорости ветра; $T_{y0} = \pi V C_y / (180 C_y^a g)$ – постоянная времени; C_y и C_y^a – коэффициент подъемной силы и его производная по углу атаки соответственно.

Значение постоянной времени T_{y0} можно оценить по формуле $T_{y0} = K_\theta V$, где $K_\theta = 0,01 \div 0,03 \text{ с}^2 / \text{м}$.

В связи с этим полную модель целесообразно использовать лишь в качестве эталонной как при моделировании процессов наблюдения в целях проверки работоспособности алгоритмов, так и при оценке адекватности упрощенных математических моделей.

Полная система уравнений, с достаточной точностью описывающая поведение ВС, может использоваться в диспетчерских тренажерах.

Нижний индекс «g» у путевой скорости опущен.

Основная система уравнений, описывающая движение на воздушном участке. Для описания установившегося движения на участках программных траекторий, когда управляющие и возмущающие воздействия принимают постоянные значения (в частности, равны нулю), а переходными процессами можно пренебречь, используется математическая модель, которую будем называть *основной*.

Действительно, если движение происходит в горизонтальной плоскости, известна и величина крена и путевой скорости, а информация о скорости и направлении ветра отсутствует (или недостоверна), целесообразно математическую модель траекторного движения записывать в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} x' &= V \cos \psi, \\ z' &= V \sin \psi, \\ \psi' &= g/V \operatorname{tg} \gamma, \\ V' &= a, \end{aligned} \right\} \quad (\text{П.3.2})$$

где ψ – угол пути (или путевой угол); V – путевая скорость; a – продольное ускорение.

Последнее уравнение при углах крена $|\gamma| \leq 30^\circ \approx 0,5$ рад заменяется линеаризованным $\psi' = V/g \cdot \gamma$.

Эта система с достаточной точностью описывает процесс разворота и движения на прямолинейных участках.

Математические модели наземного движения. Полная система дифференциальных уравнений, описывающая движение наземного подвижного объекта, может быть получена путем сокращения и некоторого видоизменения уравнений движения ЛА. Различие заключается в том, что одна из степеней свободы (вертикальная) практически не используется (за редкими случаями, относящимися к аварийным ситуациям). Поэтому координаты y_g и v_{y_g} из рассмотрения можно исключить; если к тому же пренебречь сжатием рессор и обжатием пневматиков шасси, то можно не учитывать малоизменяющиеся координаты y, ω_x, ϑ и ω_z .

Однако иногда их игнорировать нельзя. Дело в том, что в движении автомобиля важную роль играет сила сцепления колес с поверхностью, по которой он движется (рулежная дорожка или ВПП – для самолета, спецтранспорта или уборочных машин). Силы сцепления зависят от нормальных сил давления, которые получаются при распределении силы веса между колесами, и в свою очередь, зависящей от углов крена и тангажа автомобиля. Силы сцепления не только обуславливают силы сопротивления

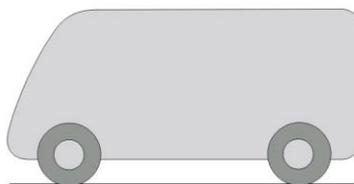
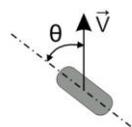


Рис. П.3.2. Угол увода колеса

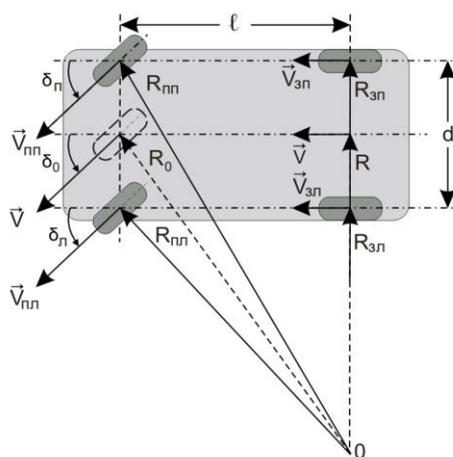


Рис. П.3.3. Параметры траектории

движению (и торможения), но и влияют на «занос» автомобиля, при котором появляются углы увода θ (рис. П.3.2). Заметим, что подобные явления наблюдаются и при движении ВС, имеющего колесные шасси, и, следовательно, должны быть учтены при составлении полной системы уравнений движения на разбеге и пробеге.

Для задач навигации и управления наземным движением ВС и автотранспорта эти явления не учитываются, что позволяет упростить математическую модель.

В качестве типового наземного транспортного средства будем рассматривать четырехколесный автомобиль заднеприводной схемы с передними управляемыми колесами (рис. П.3.3). Введем третье, фиктивное поворотное переднее колесо, расположенное посередине между двумя существующими. Заметим, что трехколесная схема характерна для ВС при движении по земле; здесь третье (переднее) управляемое колесо является уже не фиктивным, а вполне реальным.

Если колеса жестко сцепляются с поверхностью, по которой происходит движение, то углы увода всех колес равны нулю. Из рис. П.3.3 видно, что при маневрировании колеса движутся по кривым с различными радиусами.

При отсутствии увода все дуги имеют один центр разворота (точка O на рис. П.3.3) и все точки подвижного объекта, рассматриваемого как твердое тело, имеют одинаковую скорость вращения вокруг центра ω_y , а их линейные скорости различны.

В качестве скорости движения V подвижного объекта удобно принять скорость точки C , т.е. среднюю величину скорости задних колес $v = (v_{зп} + v_{лп})/2$; в этом выражении $v_{зп}$ и $v_{лп}$ – скорости заднего правого и левого колес соответственно.

Вектор, \vec{v} направлен по оси симметрии.

Из элементарных геометрических соотношений следует, что радиус разворота R точки C равен

$$R = \ell / \operatorname{tg} \delta_0,$$

где ℓ – база транспортного средства; δ_0 – угол поворота переднего (фиктивного) колеса.

Будем полагать, что угол поворота фиктивного колеса пропорционален углу, на который повернут орган управления передними колесами (рулевое колесо).

Учитывая, что $\psi' = \omega_y = V/R$, получаем формулу

$$\psi' = V / \ell \operatorname{tg} \delta_0,$$

которая по форме аналогична соответствующей строчке в системе (П.3.1); первые две строки переносятся в систему дифференциальных уравнений, описывающих наземное движение, без изменений. В результате эта система принимает вид:

$$\left. \begin{aligned} x' &= V \cos \psi, \\ z' &= V \sin \psi, \\ \psi' &= V / \ell \operatorname{tg} \delta_0. \end{aligned} \right\} \quad \text{П.3.3}$$

Заметим, что путевой угол ψ представляет собой угол разворота вектора скорости \vec{v} .

По форме (с точностью до коэффициентов) система (П.3.3) совпадает с первыми тремя уравнениями полной системы (П.3.2).

Углы, на которые должны быть повернуты переднее правое и левое колеса в зависимости от величины δ_0 , определяются выражениями:

$$\delta_n = \operatorname{arccctg}(\operatorname{ctg} \delta_0 + 0,5 d / \ell), \quad \delta_n = \operatorname{arccctg}(\operatorname{ctg} \delta_0 - 0,5 d / \ell),$$

где d – колея шасси.

В соответствии с этими зависимостями должна быть построена кинематическая схема управления передними колесами автомобиля.

Легко находятся радиусы разворота всех колес (включая и переднее в трехколесной схеме):

$$R_m = \ell / \sin \delta_n, \quad R_{лп} = \ell / \sin \delta_n, \quad R_0 = \ell / \sin \delta_0, \quad R_{зп} = R + 0,5d, \quad R_{лп} = R - 0,5d.$$

Поступательные скорости получаются умножением соответствующих радиусов на угловую скорость разворота ω_y .

Количественное измерение информации

Новую *информацию* связывают с получением сообщения (носители могут быть разными).

Теоретически *количество информации* измеряют величиной *снятой* (т.е. устраненной в результате получения сообщения) *неопределенности*.

Пусть априори известно, что может наступить одно из N равновероятных событий ($N \geq 2$ – целое число). Тогда в качестве меры количества информации ℓ_i , содержащейся в i -м сообщении, о наступлении одного из этих событий принята величина, вычисляемая по формуле:

$$\ell_i = \log_2 N, \quad i = 1, 2, \dots, N.$$

Единицами измерения количества информации являются бит и Кбит (возможно применение и байт, Кбайт, Гбайт и т.д.).

Если известны априорные вероятности наступления каждого из N событий $P_i, i = \overline{1, N}$, причем события образуют полную группу и, следовательно, $\sum_{i=1}^N P_i = 1$, то количество информации, содержащееся в сообщении о наступлении i -го события, равно $\zeta_i = -\log_2 P_i$.

Таким образом, чем менее вероятным является событие, тем больше информации содержится в сообщении о его наступлении (количество информации о событии, которое обязательно наступит, равно нулю).

Существует прямая связь между количеством информации и объемом (длиной) сообщения. Рассмотрим снова N равновероятных событий. Сообщение о каждом из них можно закодировать n -разрядным двоичным числом (иными словами длиной n символов самого простого алфавита – двоичного, состоящего лишь из двух символов: 0 и 1). Число таких (различных) слов равно $N = 2^n$.

Количество информации, содержащейся в одном слове (i -м сообщении о соответствующем событии), по определению равно $\zeta_i = \log_2 N = \log_2 2^n = n$. Таким образом, количество информации, которое несет одно слово (двоичное число) длиной n , численно равно этой длине. Общий (суммарный) объем информации о всех событиях, содержащийся в n сообщениях, равен $\zeta_0 = N \cdot n = n2^n$.

Если алфавит состоит из m символов (основание системы равно m), то выражения для количества информации в одном сообщении ζ_i и общего объема информации ζ_0 принимают вид:

$$\zeta_i = n \log_2 m, \quad i = \overline{1, N}, \quad N = m^n, \quad \zeta_0 = nm^n \log_2 m.$$

Формальное определение количества информации не учитывает такие характеристики, как важность, ценность и другие семантические свойства реальных сообщений, но оно удобно для использования в вычислительных и информационных системах. Для диспетчера службы движения такую оценку количества информации, как правило, нельзя считать исчерпывающей, поскольку кроме фактора «неожиданности» события необходимо учитывать и смысл информации, и ее ценность с точки зрения достижения целей управления воздушным движением, обеспечения

безопасности, регулярности и экономичности полетов в воздушном пространстве.

Информационной производительностью источника информации называют скорость образования информации, измеряемой в битах на секунду. Поскольку информационные сообщения в каналах (линиях) передачи данных содержат также и служебную информацию (стартовые и стоповые биты), то с ее учетом единица скорости передачи сообщений известна как бод.

Использованные литературы:

1. Аэропорты и их эксплуатация: учеб. пособие / Сост. Л.Б. Бажов. □ Ульяновск: УВАУ ГА, 2008 г.
2. Слуцкий В. И., Маркова А. К. АМСГ Томск — одна из 300 в России. — Томск, 2009. — 174 с. Редактор: профессор Томского государственного университета, доктор географических наук В. П. Горбатенко
3. Авиационная метеорология. Богаткин О.Г. Учебник. - СПб.: Изд. РГГМУ, 2005.-328 с.

Ресурсы интернета

3. www.avia.ru
4. http://www.elibrary.ru/menu_info.asp
3. <http://www.ge.com>
4. <http://www.pw.utc.com>
5. <http://www.rolls-royce.co.uk>
6. <http://www.uacrussia.ru>

3-практические занятия: Автоматизация обработки плановой информации и метеорологической информации.

ЦЕЛЬ: Назначение и задачи систем обработки плановой информации. Общие сведения об организации обмена плановой информацией в структуре Единой системы организации воздушного движения (ЕС ОрВД). Источники плановой информации в АС УВД. Программное обеспечение вычислительных комплексов для решения задач планирования воздушного движения. Базы данных как основа построения систем обработки плановой информации. Общие сведения об автоматизации обработки метеорологической информации в системах автоматизации УВД. Источники метеорологической информации в АС УВД. Представление метеорологической информации в АС УВД.

Одним из средств коммуникации является сеть АФТН. Принцип ее организации следующий. Существует несколько центров: Санкт-Петербург, Москва, Ростов, Екатеринбург, Новосибирск, Иркутск, Хабаровск – они являются основными пунктами для маршрутизации потоков телеграмм.

Начальные адресные коды этих центров коммутации сообщений (ЦКС):

- УУ – Москва;
- УЛ – Санкт-Петербург;
- УР – Ростов-на-Дону;
- УС – Екатеринбург;
- УН – Новосибирск;
- УИ – Иркутск;
- УХ – Хабаровск.

При максимальной конфигурации такой центр позволяет подключить до 1000 линий АФТН и до 48 линий СИДИН, может обработать до 50 сообщений СИДИН и АФТН в секунду. В состав ЦКС первого уровня входит оборудование Fault Tolerant UNIX Сервер. Здесь производятся обработка и хранение всех поступающих сообщений АФТН и СИДИН. Специальная архитектура предотвращает прерывание процесса обработки информации и не приводит к искажению информации при возникновении аппаратных сбоев. Основные функции такого ЦКС – идентификация и маршрутизация сообщений, ведение журнала и хранение сообщений, управление служебными и ошибочными сообщениями. Сервер передачи данных осуществляет обслуживание СИДИН. Телеграфный сервер управляет телеграфным мультиплексором, передавая его команды и сообщения по телеграфным линиям и принимая входящие сообщения через сеть АФТН других ЦКС или абонентов. Мультиплексор телеграфных линий осуществляет управление телеграфными линиями в соответствии с кодами МТК 5 и МТК 2. Система супервизора осуществляет контроль за состоянием центра, управляет конфигурацией подключенной сети, управляет трафиком АФТН (состояние каналов, служба очередей и т. п.). Система оператора производит генерацию, передачу, поиск, исправление или восстановление сообщений.

Важная часть в адресации сообщений сети АФТН – строка для адреса. Первой буквой адресов в России назначена У (U), вторые буквы означают принадлежность к одному из узлов связи, расположенных на территории России, следующее сочетание букв, от одного до двух знаков, свидетельствуют о принадлежности к ЦКС второго уровня.

Например, адрес УСТРЗТЗЬ расшифровывается так:

- первая буква – принадлежность России;
- вторая буква – ЦКС Екатеринбург;
- третья буква – Тюмень;
- четвертая буква обозначение аэропорта (условное его название, в данном случае – Рошино);
- остальные буквы – означают принадлежность к службе аэропорта (АДП, ПДСП, Штурман и т. д.).

Взаимодействие с автоматизированной системой ППВД ЗЦ

Автоматизированная система планирования воздушного движения зонального центра (АС ПВД ЗЦ) при передаче данных руководствуется руководящими документами и протоколами взаимодействия с комплексами

планирования. Состав информации, передаваемой из АС ПВД ЗЦ, представлен в табл. 4.1.

Информация, передаваемая из АС ПВД ЗЦ

Таблица 4.1

№	Вид информации	Автом РЦ (СПД)	Автом РЦ (АФТН)	НеАвтом РЦ (АФТН)	Примечание
1	Суточный план полетов	+	+	+	в пространстве РЦ
2	Расписание в форме РПЛ	+	+	+	в пространстве РЦ
3	Справочник авиакомпаний	+	+	–	в полном объеме
4	Справочник ВС	+	+	–	в полном объеме
5	Справочник аэродромов	+	+	–	в полном объеме
6	Точки воздушных трасс	+	+	–	в полном объеме
7	Участки воздушных трасс	+	+	–	в полном объеме
8	Воздушные трассы	+	+	–	в полном объеме
9	Маршруты полетов	+	+	–	в полном объеме

В приложении 8 представлен пример адресования стандартных сообщений о движении воздушных судов в центры ОрВД по их подчиненности.

Взаимодействие между смежными органами УВД, оснащенными АС УВД с функцией обработки планов полетов

Одной из важных задач УВД является согласование параметров пролета рубежа (время, борт, высота) со смежным районом. Традиционно это производят «голосом», с использованием телефонных линий передачи. Для автоматизации процедуры передачи управления воздушными судами между смежными органами УВД создан протокол информационного взаимодействия. Он разработан на основе стандарта ОЛДИ (OLDI On-Line Data Interchange) Евроконтроля, созданной в соответствии с требованиями Программы EATCHIP (European Air Traffic Control Harmonisation and Integration Programme) Евроконтроля.

Программное обеспечение для решения задач планирования.

Принципы построения баз данных и их классификация.

В широком смысле понятие «база данных» означает совокупность связанной информации, объединенной по определенному признаку. В настоящее время этот термин используется как относящийся исключительно к компьютерам и обозначает средства хранения информации.

Классическая база данных использует для хранения информации таблицы. Таблицы состоят из *колонок* и *строк*, которые именуются также как *поля* и *записи* соответственно. Таким образом, данные в таблице имеют строго структурированный вид. Кроме того, данные, которые содержит каждое поле таблицы, типизированы. В БД набор допустимых типов данных может быть различным, однако можно выделить основные типы данных, которые поддерживаются практически всегда. Это символы, целые числа, натуральные числа и произвольная информация в бинарном виде. Соответственно данные в таблице БД можно представить как структурированный типизированный массив информации.

Обычно база данных должна иметь в своем составе не одну, а несколько таблиц. Модель базы данных, в которой таблицы связаны между собой, называют *реляционной моделью* баз данных (РБД). Связь между таблицами в РБД организуется посредством так называемых *ключей*, которые состоят из одного или нескольких полей. Каждая запись в РБД имеет уникальное значение ключа, что обеспечивает возможность быстрого доступа к данным. Таблицы в РБД могут быть связаны разными способами. Связи бывают:

- взаимно-однозначные («один к одному»); это значит, что каждая запись в одной таблице соответствует только одной записи в другой таблице;
- многозначные («один ко многим»); каждая запись в одной таблице соответствует нескольким записям в другой таблице;
- взаимно-многозначные («много ко многим»); несколько записей в одной таблице соответствуют нескольким записям в другой таблице.

Наличие множества таблиц в РБД диктует необходимость *нормализации*, уменьшения (исключения) избыточности информации. Существует специальная теория нормализации баз данных, описывающая формализованные подходы по разбиению данных, обладающих сложной структурой, на несколько таблиц. Эта теория оперирует пятью нормальными формами таблиц, которые предназначены для уменьшения избыточности от первой до пятой. Каждая последующая нормальная форма должна удовлетворять требованиям предыдущей и некоторым дополнительным условиям. На практике в подавляющем большинстве случаев используются первые три нормальные формы. Рассмотрим основные требования к нормализованным таблицам до третьей нормальной формы.

Требования к таблице, находящейся в первой нормальной форме:

- таблица не должна иметь повторяющихся записей;
- в таблице должны отсутствовать повторяющиеся группы полей.

Требования к таблице, находящейся во второй нормальной форме:

- таблица должна удовлетворять условиям первой нормальной формы;
- любое неключевое поле однозначно идентифицируется полным набором ключевых полей.

Требования к таблице, находящейся в третьей нормальной форме:

- таблица должна удовлетворять условиям второй нормальной формы;
- ни одно из неключевых полей таблицы не идентифицируется с помощью другого неключевого поля.

Пример построения простейшей БД приведен в приложении 9.

В настоящее время приобретает все большее значение так называемая *разнесенная* модель БД, когда информация хранится не в одной БД на определенном компьютере (сервере), а в нескольких БД на нескольких различных компьютерах. Причем, каждая БД может хранить как общую информацию, так и уникальную. Пользователь такой базы данных может получить доступ к информации не только своей БД, но и всех БД, составляющих сеть разнесенной БД. Наиболее ярким примером разнесенной БД является всемирная сеть Интернет, которая по праву считается крупнейшей в мире глобальной сетью, объединяющей пользователей практически всех стран.

Средства управления базами данных.

Средства, обеспечивающие доступ к информации, хранящейся в БД, называются *системами управления базами данных* (СУБД). Важнейшие задачи, которые должны решать СУБД, – это хранение информации в БД, быстрый поиск нужной информации в БД, возможность редактирования имеющейся в БД информации, возможность импорта и экспорта данных и т.д. Поиск нужной информации в БД отнюдь не всегда подразумевает поиск одной записи, обычно требуется сделать *выборку* информации в БД, удовлетворяющей какому-то условию. Такое условие получило название *запроса* (query). В процессе развития теории баз данных был создан базовый язык составления структурированных запросов SQL (Structured Query Language), который фактически является стандартом и поддерживается в любой БД.

В мире насчитывается более 100 типов СУБД для IBM PC и совместимых с ними компьютеров. Разработчиками широкого спектра СУБД являются такие гиганты современного рынка программного обеспечения (ПО), как Microsoft, Borland, Oracle и др. Такое обилие представленных на рынке СУБД продиктовано большим спросом на данный вид ПО. Одной из наиболее распространенных в мире СУБД является «Microsoft SQL Server», которая предоставляет своим пользователям мощные средства организации БД для решения задач практически любого уровня.

Обеспечение надежности и резервирование данных. Способы оптимизации.

Чем значительнее объем информации БД, тем труднее обработка, тем серьезнее требования, предъявляемые к надежности БД. Для обеспечения надежности БД существует практика регулярного создания резервных копий базы данных (Backup). С определенной периодичностью информация БД копируется на какой-либо носитель, и в случае разрушения основной БД с этого носителя производится восстановление последней зарезервированной копии БД.

Ясно, что чем больше объем информации, тем большее время потребуется для поиска нужной информации. Для увеличения скорости поиска используется инструмент *индексирования* таблицы. В зависимости от количества полей, используемых в индексе, различают *простые* и *составные* индексы. Фактически *индексирование* таблицы означает создание еще одной, укороченной таблицы, которая будет содержать значение индекса и уникальную ссылку, указывающую на местонахождение в основной таблице записи, соответствующей этому индексу. После индексирования при поиске записи осуществляется не последовательный просмотр всей таблицы, а прямой доступ к записи на основании упорядоченных значений индекса.

Базы данных как основа построения плановой подсистемы.

К этому добавим следующие особенности рассматриваемой ИВС:

- модульное построение системы, предполагающее различные типы структурных решений в рамках единого комплекса и относительно легкий способ перехода от одного типа к другому;

- полное использование потенциальных возможностей настольных ПК и среды распределенной обработки;

- экономия ресурсов системы за счет централизации хранения и обработки данных на верхнем иерархическом уровне;

- осуществление сквозного контроля за функционированием сети и управление на всех уровнях с помощью эффективных централизованных средств сетевого и системного администрирования;

- возможность изменения конфигурации системы за счет «нежесткости» структуры нижнего уровня системы, позволяющего добавить новые терминалы, заменять один на другой, менять их функции и т.д.

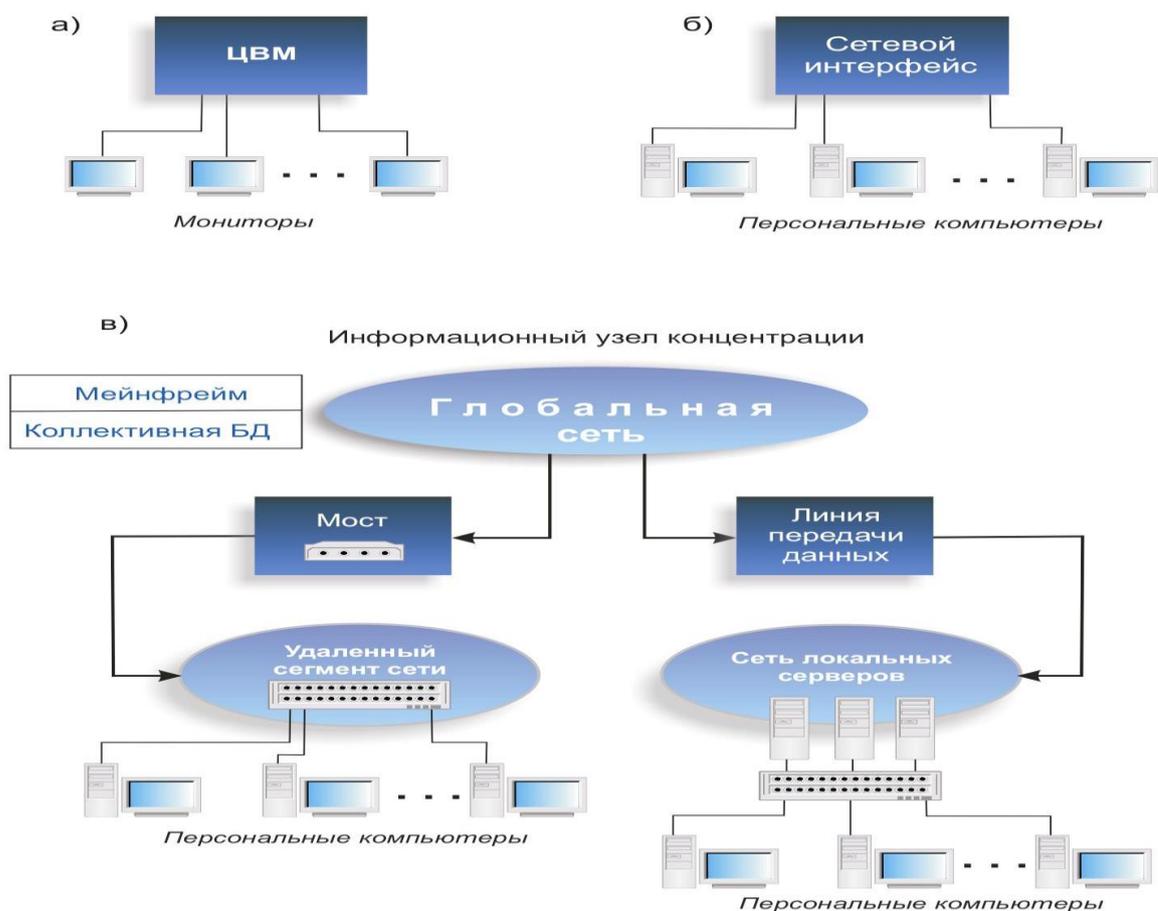


Рис. 3.3. Три типа архитектуры ИВС: а – централизованная ИВС; б – одноранговая сетевая ИВС; в – иерархическая структура ИВС.

Аппаратные и программные средства цифровой обработки информации, являющиеся ядром АС УВД, представляют собой самую важную и в то же время самую дорогостоящую ее часть (если, конечно, не учитывать стоимость радиолокационных комплексов).

Здесь решающее значение имеют две характеристики, о которых речь шла выше:

- быстродействие, определяющее информационную производительность;
- объем памяти, определяющий информационную емкость.

Именно величины этих двух параметров являются самодостаточными для обеспечения решения заданного перечня задач, определенных функциями системы. Алгоритмы, используемые для обработки информации в рассматриваемой предметной области, относятся к полиномиальным, а объем массивов информации о движении ВС в регионе, определяемый суточным планом полетов, не превышает нескольких сотен Мб. Поэтому требуемые значения двух основных характеристик таковы, что им удовлетворяют не единицы, а десятки систем и платформ, начиная от стандартных пользовательских до профессиональных (и тем более систем суперкласса). Это предоставляет возможность широкого выбора. “Ограничение разнообразия” достигается при так называемом системном

подходе с помощью привлечения дополнительных критериев, позволяющих оценить степень удовлетворения множеству условий.

Среди них до недавнего времени существенную роль играли такие показатели, как надежность и эргономичность. Однако в настоящее время технологический уровень производства аппаратных средств, а также степень развития программных методов обеспечения надежности, с одной стороны, и пользовательского интерфейса, с другой, обеспечивают удовлетворение самых жестких требований (во всяком случае для наземного применения в системах связи, наблюдения и управления воздушным движением).

В настоящее время на первый план выступает такое свойство, как открытость систем, под которой понимают возможность адаптации системы к новым задачам и использованию программных средств их решения без коренной ломки или замены аппаратных средств.

Одна из существенных черт современных информационных технологий состоит в ориентации на стратегию проектирования систем, предполагающую их дальнейшее развитие. Такой подход позволяет не только рационально планировать структуру системы, но и выбирать средства ее реализации, обеспечивающие возможность такого развития.

Высказав эти соображения, которые носят довольно общий характер, рассмотрим одно из свойств ИВС сетевого типа, которому до настоящего времени в литературе не уделялось достаточного внимания. Речь идет о так называемых скрытых затратах. Этот вопрос требует обстоятельного анализа. Следует начать с того, что современные системы обработки информации развиваются под влиянием двух тенденций: с одной стороны, увеличивается число компьютеризованных рабочих мест (АРМов), а с другой – усиливается интеграция всех элементов системы, включая и станции-серверы, в единую информационную среду.

При этом неизбежно возрастает доля затрат, приходящаяся на оплату персонала. По данным компьютерной компании IDS (International Data Corporation), оплата труда персонала составляет 51% от общих затрат (табл. 3.1).

Распределение эксплуатационных расходов

Таблица 3.1

Вид затрат	Эксплуатационные расходы %
Коммуникации	7
Программные средства	10
Терминалы и ПК-станции	12
Аппаратные средства серверов	15
Персонал	51
Прочее	5

Исследования показывают, что в общей сумме расходов на персонал кроме доли прямых издержек (которые поддаются измерению,

регламентации и планированию) существует значительная часть (до 15%) незапланированных, *скрытых затрат*. Они вызваны отвлечением персонала на поддержание функционирования распределенной ИВС, в том числе на копирование файлов пользователей на удаленных серверах, настройку конфигурации, рабочих станций и сетевых устройств, устранение последствий сбоев и т.п. Осуществление конечными пользователями этих функций, особенно в децентрализованной среде, и выражается в увеличении доли скрытых расходов. Очевидно также, что эта доля должна увеличиваться при возрастании сложности периферийного оборудования, так как конечные пользователи не являются профессионалами высокой квалификации в этой области. Известно, что централизованные информационные сети требуют больших затрат на создание ИВС (закупка оборудования, пусконаладочные работы) и относительно малых эксплуатационных затрат (особенно на оплату труда конечных пользователей и небольшой доли скрытых затрат), в то время как на распределенных ИВС положение обратное. Оказывается, что ИВС четвертого поколения позволяют и в этом смысле достичь компромисса. Действительно, наиболее сложное оборудование профессионального класса (мейнфреймы) сосредоточено на верхнем уровне системы, где его работу легко обеспечить, имея небольшое количество квалифицированных специалистов, в то время как локальные сети должны быть построены с использованием аппаратных и программных средств общего применения (типа PC), которые обладают следующими полезными свойствами, обусловленными их архитектурой:

- развитый интерфейс;
- высокая надежность;
- невысокая стоимость;
- IBM-совместимость;
- открытость.

Они просты в обращении, их эксплуатация доступна пользователям средней квалификации, а аппаратная модернизация и установка новых версий программного обеспечения достаточно просты. (В аппаратном отношении они могут осуществляться установкой дополнительных плат или их заменой.)

Прослеживается отчетливая закономерность, заключающаяся в том, что предпочтение ОС UNIX отдают крупные западные фирмы, имеющие многолетний опыт разработки больших вычислительных и корпоративных информационных систем (в качестве примера служат фирмы THALES, Lockheed Martin, Alenia и ряд других).

Основные особенности ОС UNIX состоят в следующем:

- все клоны ОС UNIX с самого начала были ориентированы на «большие» ЭВМ (а ныне – на суперкомпьютеры) и обеспечивали решение специализированных трудоемких вычислительных задач;
- обслуживание системы и работа с ней требовали привлечения персонала высокой квалификации;

- как следствие, UNIX-подобные ОС не имеют развитого интерфейса;

- каждая версия ОС по существу уникальна, а, следовательно, имеет высокую цену; соответственно высока и стоимость обслуживания системы;

- для сложных программно-аппаратных комплексов с множеством взаимодействующих систем и подсистем, какими являются современные АС УВД, трудозатраты на интеграцию оказываются непомерно большими.

Альтернативная ОС Windows (NT, XP, NET и, несомненно, ее будущие варианты) отличаются от ОС UNIX и других клонов прежде всего стоимостью (подобно тому как массовый РС разнится от суперкомпьютера – все универсальное (и, следовательно, массовое) действительно дешевле специального).

Несомненным и в ряде случаев решающим достоинством продукта фирмы Microsoft является наличие развитого пользовательского интерфейса и множества доступных драйверов (графической карты, принтера, модема, АЦП и другого периферийного и системного оборудования).

Тот факт, что загрузка современных вычислительных комплексов, входящих в состав АС УВД и использующих ОС Windows NT и стандартные платформы, даже при расширенном круге решаемых задач не превышает 20 – 30%, делает иллюзорными и по существу сводит на нет преимущество UNIX-подобных ОС как систем реального времени.

Следует принимать во внимание свойство устойчивости ОС. Известно, что кроме собственно устойчивости ОС на работу комплекса под ее управлением влияют по крайней мере три следующих фактора: качественный выбор аппаратных средств, профессиональная инсталляция лицензионной системы и корректная разработка программных приложений (самых прикладных программ). В свою очередь, устойчивость программы зависит от качества тестирования. В этом отношении все преимущества на стороне Windows как самой массовой и быстро развивающейся системы.

Для российских производителей в конце прошлого и начале нового века вопрос выбора ОС определил пути развития систем аэроконтроля нового поколения. Этот путь состоял в максимальном применении массовых стандартных универсальных средств для решения специальных задач. Используя эти средства, можно было быстро создавать и эффективно развивать комплексы средств автоматизации процессов обработки оперативной информации в интересах УВД современного уровня, и притом более дешевые и мобильные, нежели ориентированные на специализированную вычислительную технику.

Использованные литературы:

1. Аэропорты и их эксплуатация: учеб. пособие / Сост. Л.Б. Бажов. □ Ульяновск: УВАУ ГА, 2008 г.
2. Слуцкий В. И., Маркова А. К. АМСГ Томск — одна из 300 в России. – Томск, 2009. – 174 с. Редактор: профессор Томского государственного университета, доктор географических наук В. П. Горбатенко
3. Авиационная метеорология. Богаткин О.Г. Учебник. - СПб.: Изд. РГГМУ, 2005.-328 с.

Ресурсы интернета

1. www.avia.ru
2. http://www.elibrary.ru/menu_info.asp
3. <http://www.ge.com>
4. <http://www.pw.utc.com>
5. <http://www.rolls-royce.co.uk>
6. <http://www.uacrussia.ru>

4-практическое занятие:

Первичная обработка радиолокационной информации Вторичная обработка радиолокационной информации

ЦЕЛЬ: Общие сведения о цифровой обработке радиолокационной информации в АС УВД. Методы и алгоритмы первичной обработки радиолокационной информации; дискретизация времени и пространства; обнаружение радиосигналов, цифровое измерение дальности и азимута. Сопряжение информации ПРЛ и ВРЛ. Структура и характеристики АПОИ (экстрактора). Передача радиолокационной информации по узкополосным линиям связи. Задачи вторичной обработки радиолокационной информации. Преобразование полярных координат ВС. Обнаружение начала и окончания траекторий движения ВС; ввод в автосопровождение и построение траекторий движения ВС, последовательный алгоритм обнаружения изменений характера траекторий. Пространственно-временное стробирование. Скользящее сглаживание траекторий и экстраполяция положения ВС; расчет параметров траектории движения ВС. Виды конфликтных ситуаций, общие принципы их обнаружения и представления информации об их возникновении в АС УВД.

Методы и алгоритмы первичной обработки

Задачи первичной обработки

Под *первичной обработкой* радиолокационных сигналов понимают извлечение из них информации о местоположении объектов наблюдения.

К задачам первичной обработки относятся:

■ обнаружение радиолокационной отметки (РЛ-отметки, или цели) на фоне помех;

■ измерение (получение замеров) координат наблюдаемого объекта (ВС).

Первичная обработка осуществляется цифровыми вычислительными устройствами специализированного или универсального типа.

Так как подавляющее большинство используемых в АС УВД радиолокаторов имеют на своем выходе аналоговый сигнал, то необходимо его преобразовать в цифровую форму.

На выходе радиоприемного тракта ПРЛ (после детектирования) сигнал обычно имеет вид напряжения постоянного тока и представляет собой непрерывную (аналоговую) величину. Это напряжение, получившее название *видеосигнала*, в прошлом подавалось непосредственно на катод электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) индикатора кругового обзора (ИКО), на котором и отображалась воздушная обстановка (ВО) в виде ярких пятен.

В современных АС УВД для отображения ВО используются видеомониторы растрового типа. При этом существует несколько различных путей создания изображений на их экране. Основной из них – преобразование сигнала с помощью специальной обработки (первичной, вторичной и т.д.) и отображение результата совместно с дополнительной информацией, объем которой может быть весьма велик. Альтернативный путь состоит в прямом использовании видеосигнала с выхода приемника ПРЛ для отображения «сырого видео». Здесь усматривается аналогия с применявшимся в первых АС УВД так называемым шунтом, позволявшим получать изображение воздушной обстановки на ЭЛТ как резервной при отказе аппаратуры АС УВД. Различие состоит, однако, в том, что для отображения «сырого видео» аналоговый сигнал с выхода приемника необходимо сначала преобразовать в цифровую форму.

Наибольшая информативность картины ВО обеспечивается при *совмещенном* отображении на экране видеомонитора как преобразованного «сырого видео», так и результатов первичной, вторичной и третичной обработки РЛ-измерений.

1.1.1. Дискретное время и пространство

Перевод аналоговых (непрерывных и импульсных) электрических сигналов в цифровую форму (что обеспечивает возможность их ввода в ЦВМ) выполняется, как известно, цифро-аналоговым преобразованием (см. приложение 16). При этом кроме *квантования по уровню* имеет место также и *квантование по времени*, которое состоит в задании сетки отсчетов, т.е. привязки измерений к определенным дискретным интервалам времени.

При первичной обработке задают дискрет (квант дальности), величина которого h_0 прямо связана с разрешающей способностью по дальности Δ_0 . Так как последняя зависит от длительности фронта импульсного сигнала на выходе приемного тракта, можно положить

$$h_0 = C\tau/2, \quad (7.1)$$

где C – скорость света, равная $3 \cdot 10^8$ м/с, а τ – длительность зондирующего импульса, с.

Общее число интервалов дискретности (квантов) дальности (без учета «мертвой зоны» радиолокатора) в таком случае равно

$$N_D = (D_m - D_0) / h_D = \frac{2(D_m - D_0)}{\tau C}, \quad (7.2)$$

где D_m и D_0 – максимальная и минимальная дальности действия РЛС, м.

При дискретизации второй измеренной координаты – азимута будем исходить из того, что за время, равное периоду следования зондирующих импульсов, антенна успевает повернуться на угол

$$h_A = \frac{360 n}{60 F} = 6n / F, \quad (7.3)$$

где n – скорость вращения антенны, в об/мин; $F = 1/T$ – частота следования импульсов зондирования, Гц.

Тогда количество интервалов дискретности азимута N_A , очевидно, равно

$$N_A = 60 F / n. \quad (7.4)$$

Таким образом, круговая зона обзора РЛС в горизонтальной плоскости оказывается разбитой на элементарные *разрешающие* секторы, площадь каждого из которых принята равной $\Delta S = Dh_D h_A / 57,3$, где D – координата середины соответствующего интервала дальности, а общее количество дискретных элементов, образующих дискретное пространство, равно

$$N_\Delta = N_D N_A = \frac{120 F D_m}{\tau n C}. \quad (7.5)$$

Вид части такого двумерного дискретного пространства показан на рис. 7.1.

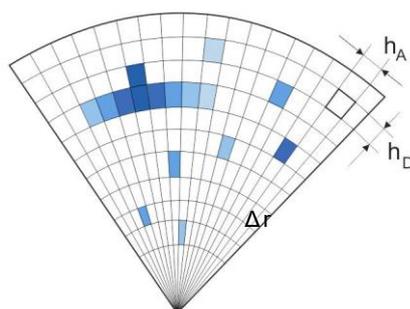


Рис. 7.1. Дискретное пространство обзора

Это понятие обобщается и на трехмерное пространство, когда учитывается информация о высоте H . В этом случае следует говорить об элементарном *разрешающем объеме*

$$V_\Delta = Dh_A h_D h_H / 57,3,$$

где h_H – дискрет по высоте (эшелону).

Дискретизация пространства позволяет придать конкретный физический смысл абстрактному понятию вероятности ложной тревоги. Она может быть оценена как среднестатистическое отношение среднего

количества ложных тревог (обнаружение несуществующих целей) к общему числу разрешающих секторов (или объемов) N_A .

1.1.2. Обнаружение пакета радиолокационных импульсов и измерение азимута цели

Напряжение на выходе приемного тракта первичного радиолокатора (ПРЛ) представляет собой смесь полезного сигнала (импульса цели) с «шумом», т.е. мешающими сигналами различной природы (собственным шумом антенны и приемника, особенно его первых каскадов, флуктуирующими сигналами переотражений от метеообразований и местных объектов, атмосферными радиопомехами и др.).

В алгоритмах обнаружения радиолокационной отметки (цели) при первичной обработке большей частью в том или ином виде применяется метод *накопления*. Основанием служит то, что в отличие от помех многих типов полезный сигнал носит регулярный характер. (Эффект накопления имел место и при отображении аналоговых видеосигналов на экране ЭЛТ с длительным послесвечением за счет суммирования яркости пятна при многократном попадании электронного луча в одно и то же место экрана.)

Действительно, на выходе приемника ПРЛ от одной цели получается пачка импульсов – *радиолокационный пакет* (РЛ-пакет). Импульсы следуют с периодом T , равным периоду зондирования. Огибающая РЛ-пакета обусловлена (при отсутствии искажений и помех) формой основного (главного) лепестка диаграммы направленности антенны. Вид пакета показан на рис. 7.2, а.

Заметим, что на графиках по оси абсцисс откладывается величина i – номер периода следования зондирующих импульсов. Таким образом, *дискретное* время выражается формулой $\bar{t} = iT$.

Количество импульсов в пакете оценивается по формуле

$$N = \left\lceil \frac{\theta_{0.5} F}{6n} \right\rceil, \quad (7.6)$$

где $\theta_{0.5}$ – ширина ДНА в горизонтальной плоскости, °; F – частота зондирующих импульсов, Гц; n – скорость вращения антенны, об/мин.

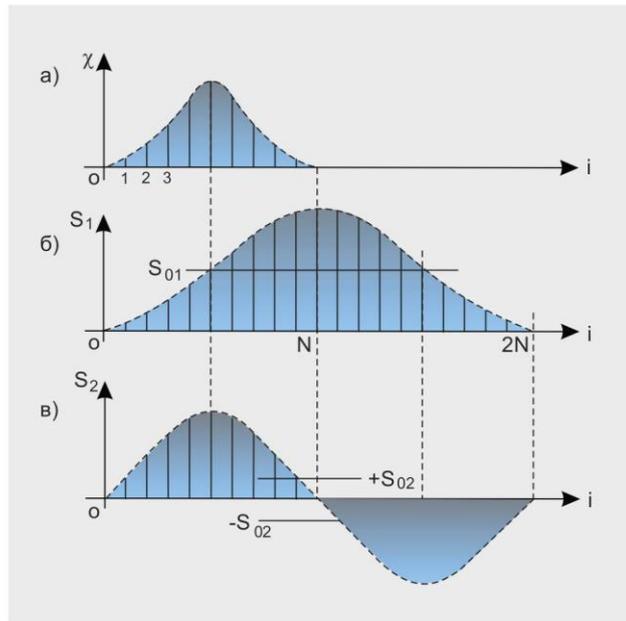


Рис. 7.2. Обработка пакета РЛ-импульсов: а – пакет импульсов; б и в – графики изменения сумм s_1 и s_2

Знак] [(обратные скобки) означает, что берется целая часть.

Прежде чем перейти непосредственно к описанию алгоритмов обнаружения пакета радиолокационных импульсов, рассмотрим задачу обнаружения одиночного импульса (полезного сигнала) амплитудой s в смеси с помехой, в качестве которой выступают собственные шумы антенны и приемника, а также внешние «шумоподобные» помехи. Будем полагать, что функции плотности распределения амплитуд напряжений шумовых помех до детектора подчиняются нормальному закону. Как известно, после детектирования характер функций распределения изменяется и для помехи справедлив закон Рэлея, а условная плотность распределения смеси шума с сигналом постоянной амплитуды подчиняется обобщенному закону Рэлея (закону Райса). График соответствующих функций плотности распределения показан на рис. 7.3, а формулы приведены в приложении 17.

По оси абсцисс откладывается величина $x = \chi/\sigma$ (нормированная амплитуда), где χ – амплитуда смеси сигнала с помехой, а σ^2 – дисперсия помехи.

Из кривых на графике видно, что чем больше отношение сигнал/шум $\alpha = s/\sigma$, тем ближе распределение Райса к нормальному. В отсутствие сигнала, т.е. когда $\alpha = 0$, распределение Райса совпадает с законом Рэлея.

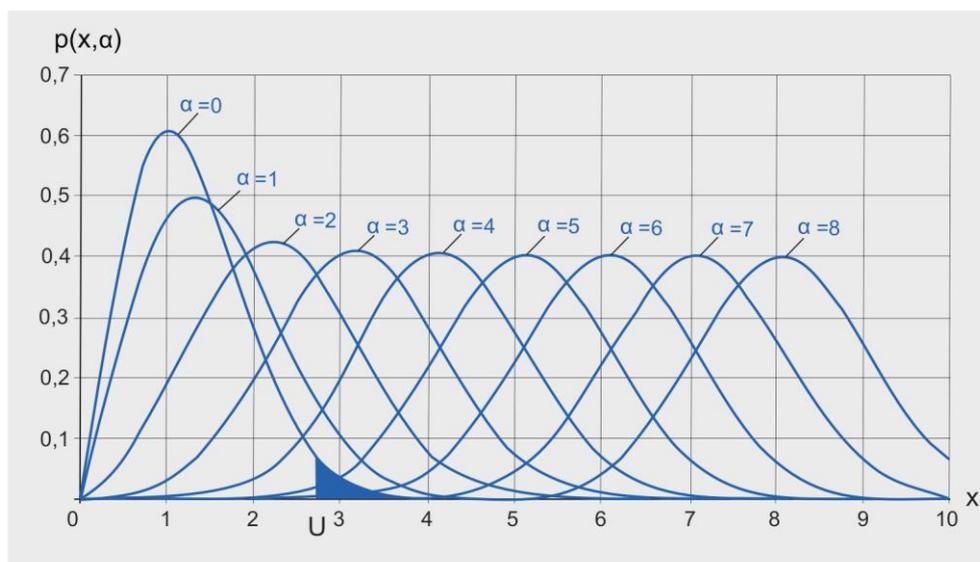


Рис. 7.3 Распределение Райса

Пусть задана допустимая вероятность ложной тревоги $P_{лт}^0$. В соответствии с критерием Неймана–Пирсона в нашем случае необходимо определить такой (оптимальный) *порог обнаружения одиночного импульса*, для которого при заданном отношении сигнал/шум α^0 вероятность ложной тревоги $P_{лт}$ не превышала заданного значения, а вероятность правильного обнаружения $P_{по}$ была бы максимальна. Некоторые теоретические сведения, относящиеся к решению этой задачи, содержатся в приложении 17. Мы же поясним суть решения, используя графики на рис. 7.2. По определению, вероятность превышения шумом порога (т.е. вероятность ложной тревоги) равна площади фигуры, ограниченной слева линией порога U , сверху – кривой функции плотности распределения, а снизу – осью абсцисс расположенной правее («выше») порога. (Эта фигура на рис. 7.3 заштрихована.) Определив, таким образом, уровень порога, теперь по площади аналогичной фигуры, ограниченной кривой функции плотности распределения смеси при соотношении сигнал/шум, равном заданному значению α^0 , можно определить вероятность правильного обнаружения $P_{по}$. Очевидно, что чем выше порог U_0 , тем меньше $P_{лт}$, но одновременно уменьшается и $P_{по}$, и наоборот.

Характеристики обнаружения одиночного импульса на фоне шумовой помехи приведены на рис. 7.4 (по оси абсцисс откладывается величина $m = -\lg P_{лт}$).

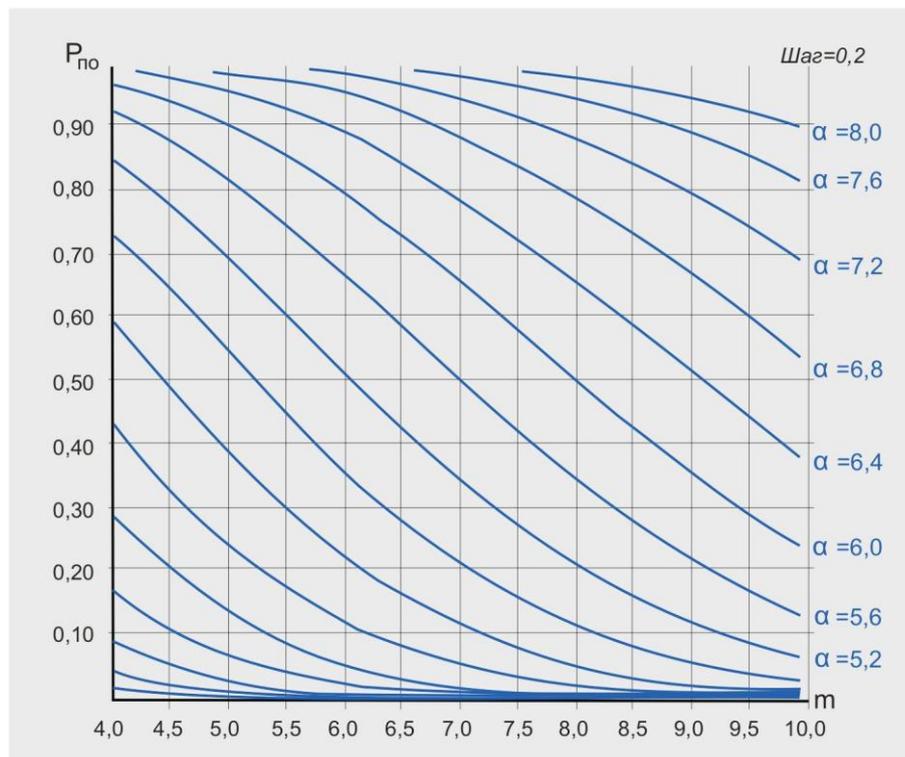


Рис. 7.4. Характеристики обнаружения одиночного импульса

Особенностью рассмотренной задачи является то, что *решающее правило*, в соответствии с которым принимается решение об обнаружении одиночного импульса, принимается с использованием лишь одного параметра, а именно порога. Это совпадает с ситуацией, имеющей место в простейшем случае аналого-цифрового преобразования, а именно при *бинарном квантовании* (см. приложение 17).

При практической реализации порог u_0 целесообразно изменять с помощью специальной схемы автоподстройки. Она может работать в «мертвой» зоне радиолокатора, когда полезные сигналы заведомо отсутствуют, и устанавливать порог такой величины, которая обеспечивает желаемую частоту появления ложных тревог.

Алгоритм оптимального обнаружения РЛ-пакета. Предположим, что напряжения на выходе приемника ПРЛ преобразуются в цифровую форму и количество разрядов достаточно велико (в противном случае следует учитывать *шум квантования* (см. приложение 16), который ухудшает соотношение сигнал/шум). В соответствии с алгоритмами «накопительного» типа следует суммировать сигналы, соответствующие элементарным (разрешающим) секторам, приходящимся на один и тот же интервал дальности в пределах сектора, равного ширине ДНА.

Следовательно, с периодом T (следования ЗИ) необходимо вычислять сумму

$$s_1[\bar{t}] = \sum_{j=1}^N a_j \chi[\bar{t} - (j-1)T], \quad (7.7)$$

где \bar{t} – текущий момент дискретного времени; χ – сигнал в цифровой форме на выходе аналого-цифрового преобразователя; a_i – весовые коэффициенты, $0 < a_i \leq 1$.

Таким образом, суммируются все отраженные сигналы в пределах ширины диаграммы направленности, попавшие в определенный интервал дальности из общего их числа, равного n_D . Следовательно, используется весь объем информации, содержащейся в РЛ-пакете. Весовые коэффициенты учитывают то, что амплитуда отраженных сигналов (в отсутствие помех) изменяется в его пределах в соответствии с формой огибающей (см. рис. 7.2,а). Пропорционально должно изменяться и соотношение сигнал/шум (при постоянном уровне помех). Отсюда ясно, что весовые коэффициенты $a_{i,i=1,\overline{N}}$ учитывают этот фактор, обеспечивая, таким образом, оптимальное использование всего пакета. Величины a_i могут быть «сняты» с развертки диаграммы направленности антенны.

Для реализации алгоритма необходимо выделить в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) цифровой АПОИ область, которую можно представить в виде матрицы, имеющей n_D строк и N столбцов. Каждая строка соответствует определенной величине дискретной дальности, так что элементы первого (правого) столбца начинают заполняться «снизу» (с минимальной дальности D_0).

В элемент матрицы заносится новое значение цифрового кода χ_j . При этом все содержимое строки сдвигается влево. Столбец заполняется за время T , после чего содержимое элемента каждой строки матрицы умножается на соответствующий коэффициент a_j и результаты суммируются. Затем сумма s_1 сравнивается с заранее рассчитанным пороговым значением s_{01} . При превышении последнего, т.е. если $s_1 \geq s_{01}$ принимается решение об обнаружении цели. Динамика изменения суммы s_1 иллюстрируется графиком на рис. 7.2,б.

Замер дальности до цели в случае ее обнаружения производят по номеру строки матрицы, для которой оказывается справедливым указанное выше неравенство.

Для расчета азимута цели используется сумма s_2 , которая вычисляется подобно сумме s_1 :

$$s_2[\bar{t}] = \sum_{j=1}^N b_j \chi[\bar{t} - (j-1)T], \quad (7.8)$$

где коэффициенты b_j равны

$$b_j = \frac{da_j}{dj}. \quad (7.9)$$

Заметим, что для максимальной корректности в этой записи j и a_j следует считать непрерывным аргументом и непрерывной функцией, в качестве которой выступает *огibaющая* пакета (см. рис. 7.2).

По существу, сигнал s_2 , рассматриваемый как функция времени, близок к производной от суммы s_1 , т.е. пропорционален скорости ее изменения (см. рис. 7.2). Тогда если $s_2 = 0$, то s_1 принимает максимальное значение (в строке матрицы ОЗУ записан весь пакет).

Учитывая внешние помехи, отсчет азимута следует производить в тот момент дискретного времени, когда выполняется неравенство

$$\left| s_2 [t] \right| \leq s_{02}, \quad (7.10)$$

где s_{02} – пороговое значение, от которого зависит точность определения азимута.

Однако сделанный таким образом отсчет отличается от истинного замера азимута примерно на величину систематической ошибки $\alpha_c = -0,5 \cdot n \cdot h_A$, которая должна быть учтена. Технически отсчет азимута может производиться путем подсчета количества малых азимутальных импульсов (МАИ).

Описанный выше алгоритм при соответствующем подборе величины порогов s_{01} и s_{02} является оптимальным по критерию Неймана–Пирсона. Однако его реализация требует значительных затрат вычислительных ресурсов (см. приложение 17).

В связи с этим на практике широкое распространение получили упрощенные (субоптимальные) алгоритмы. К ним относится процедура, при которой производится *бинарное квантование* видеосигнала (см. приложение 17). Она известна как оптимальный алгоритм обнаружения цели и измерения ее азимута по квантованным радиолокационным сигналам. По своим характеристикам он несколько уступает описанному выше способу.

Дальнейшее упрощение состоит в отказе от весовых коэффициентов. В этом случае (см. приложение 17) суммирование заменяется подсчетом количества импульсов: решение об обнаружении принимается по правилу «К из N», т.е. при наличии на N при последовательных отсчетах K импульсов.

Известны и более изощренные методы обнаружения РЛ-сигналов и измерения координат наблюдаемых объектов. Как правило, они основаны на знании корреляционных характеристик сигналов и помех, обычно неизвестных на практике.

Значительно более плодотворной оказалась идея автоматической настройки параметров обнаружения в зависимости от уровня шумов.

Обработка сообщений бортового ответчика. АПОИ вторичного канала радиолокатора можно разделить на два основных устройства:

- дешифратор вторичного канала;
- целеобнаружитель вторичного канала.

Дешифратор вторичного канала, в соответствии с нормами, принятыми ИКАО (стандарт RBS) и в нашей стране (нормы СЭВ или УВД), должен дешифровать информацию, поступающую от самолетного ответчика, о бортовом номере (или присвоенном номере в стандарте ИКАО)

и наличии дополнительной информации. Принцип действия дешифратора основан на цифровой обработке зондирования, которая заключается в аналого-цифровой обработке сигнала с последующей бинаризацией на пороговом устройстве (см. приложение 16). После бинаризации информация поступает на программный дешифратор, где осуществляется сравнительный поиск по фиксированной битовой маске кодовых последовательностей, соответствующих координатному коду в стандарте УВД и RBS (рис. 7.5 и рис.7.6). Следует указать, что эти каналы разнесены по частоте и обрабатываются независимо и параллельно. При обнаружении стандартной последовательности) осуществляется дешифрация информационной посылки об идентификаторе воздушного судна или его высоте.

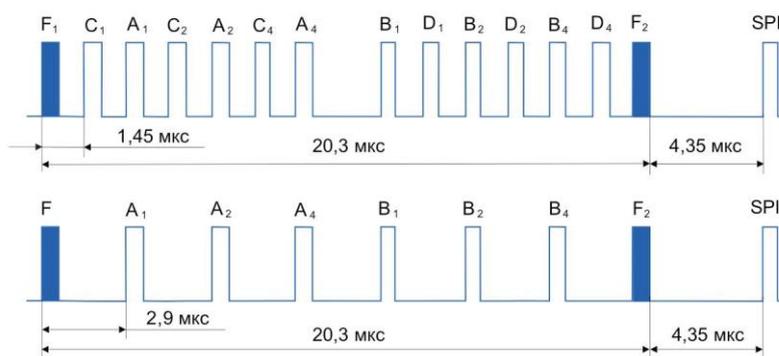


Рис. 7.5. Режим RBS

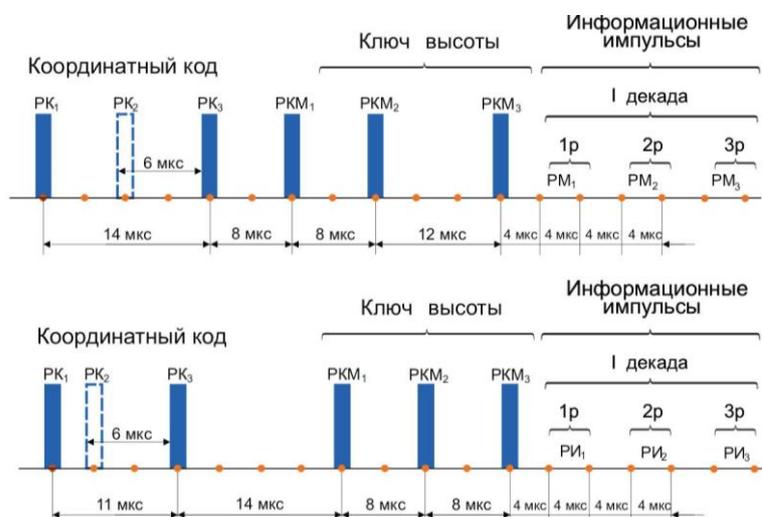


Рис. 7.6. Режим УВД

Алгоритм накопления цели основан на построении *координатного строба* с последующим весовым анализом. При равномерном и последовательном поступлении информации строб имеет вид прямоугольника, показанного на рис. 7.7.

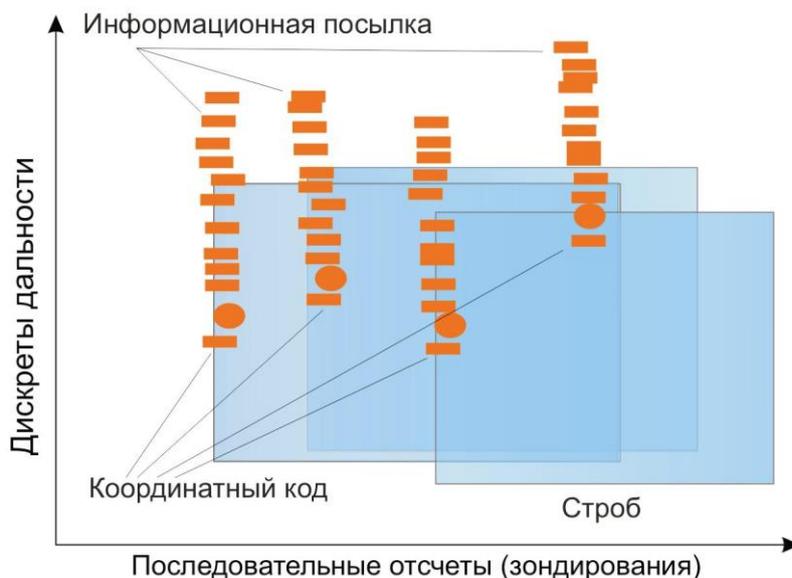


Рис. 7.7. Обработка сигналов в режиме УВД

Весовой анализ также необходим для выделения полезного сигнала в информационных посылках, что связано с возможными помехами и некорректной дешифровкой. Однако вследствие того, что каждое воздушное судно успевает ответить неоднократно за один оборот антенны (10–15 раз), возможно применение весового накопления информации. При этом одной из основных проблем при накоплении является корректная привязка основной и дополнительной информации при обнаружении близко летящих целей, при этом возможно перепутывание дополнительной информации и, как следствие, присваивание ложной высоты. Эта проблема обычно решается на этапе вторичной обработки информации. Целеобнаружение происходит с использованием классического метода-критерия «К из N» с определением полноты пачки. В общем, обычный алгоритм целеобнаружения можно описать следующим образом. При прохождении координатного кода взводится счетчик накопления начала цели и ожидается приход в пределах строба по дальности координатного кода на следующем зондировании. В случае наличия в информационной посылке информации о бортовом номере или высоте осуществляются декодировка и запись соответствующего значения в поле с индексом, равным числу зондирования. Когда на счетчике достигается установленное значение, принимается решение об обнаружении цели. В дальнейшем идет накопление цели и информации о ней, вплоть до непопадания в строб координатного кода на очередном зондировании. С этого момента начинается подсчет «пустых» стробов для определения конца цели. Фиксация конечного азимута требует выполнения критерия обнаружения конца пачки-серии из определенного количества «нулевых» стробов.

После принятия решения о наличии цели и определения центра пакета полученная информация по стандартным протоколам передачи данных поступает на информационные цепи: стык С2, канал RS-232, локальная сеть

и др. Основным протоколом передачи данных от АПОИ в системах УВД является ASTERIX (ALL PURPOSE STRUCTURED EUROCONTROL RADAR INFORMATION EXCHANGE) в соответствии с рекомендацией Евроконтроля.

Задачи вторичной обработки

Средства радиолокационного контроля позволяют производить обнаружение и определение текущего местоположения наблюдаемых объектов и выдавать (при наличии АПОИ) их координаты, а при наличии вторичного канала – и дополнительную информацию в виде двоичных кодов. Однако этих данных недостаточно для решения задач УВД в полном объеме, так как по ним можно лишь «на глаз» определять параметры траектории и характер движения цели. Вторичная обработка информации призвана устранять эти недостатки посредством анализа нескольких последовательных измерений, определенно относящихся к одной цели. При этом сглаживаются случайные погрешности определения координат радиолокационными средствами и, следовательно, появляется возможность при построении траектории повысить точность определения параметров траектории. Имея в своем распоряжении такие данные, вычислительные комплексы АС УВД могут решать также и ряд других задач, как-то: прогнозирование положения цели на заданный период времени, обнаружение конфликтных ситуаций и ПКС, сигнализация пересечения рубежей и попадания в зоны ограничений, сигнализация прохождения рубежей и контрольных точек и т.д. Характерным результатом вторичной обработки является уменьшение количества ложных отметок на индикаторе диспетчера.



Рис. 8.1. Основные задачи вторичной обработки

Некоторое представление о составе математического обеспечения вторичной обработки информации в АС УВД дает схема, приведенная на рис. 8.1.

Сглаживание и экстраполяция

Скользящее сглаживание

При определении координат местоположения и параметров движения наблюдаемого объекта и последующем построении его траектории нет необходимости (да и возможности) запоминать всю предысторию его движения. При использовании данных радиоконтроля достаточно «запоминать» несколько замеров, полученных на очередном и последовательных предыдущих обзорах радиолокатора (общим числом r).

В этом случае при получении очередного, нового замера информация о наиболее «старом» обзоре должна стираться. Таким образом, в обработке всегда участвуют r замеров, которые отбираются с помощью *скользящего окна*. При этом *глубина памяти* составляет r замеров (очевидно, здесь рассматривается *установившийся* процесс наблюдения при $n \geq r$, где N – как и прежде, общее число замеров с начала наблюдения, а пропуски отсутствуют). Конечность глубины памяти отвечает не только практическим соображениям, но и основным положениям теории управления и наблюдения (см. приложение 3). С r замерами организуется работа фильтров, построенных по методу наименьших квадратов, получившему наибольшее распространение в системах наблюдения, а также в случаях, когда используются другие методы, основанные, к примеру, на идеологии информационных множеств или теории статистических решений. Однако всегда существует естественное стремление уменьшить общий объем информации, подлежащей хранению, которая непосредственно участвует в обработке на очередном цикле (обзоре), сохраняя при этом достаточную глубину памяти.

Оценивание координат и параметров движения по результатам радиолокационного наблюдения в традиционных АС УВД осуществляется α - β -фильтром, получившим свое название по двум параметрам сглаживания. Для коэффициентов сглаживания будем в дальнейшем применять буквы α и β (конкретный смысл этих коэффициентов рассматривается ниже).

Появление α - β -фильтра, представляющего собой реализацию модифицированного сглаживания по методу наименьших квадратов было вызвано рядом причин, главная из которых – стремление получить наиболее компактный алгоритм оценивания координат и параметров движения. Скользящее сглаживание, реализуемое α - β -фильтром, имеет рекуррентную формулу: для вычисления очередной оценки используются оценка на предыдущем шаге и новый замер. Это позволяет экономить память ЭВМ (что было особенно существенно для вычислительных комплексов АС УВД первых поколений, использовавших ЭВМ весьма ограниченной мощности).

Начнем с содержательного описания алгоритма.

Под обозначением ζ будем в дальнейшем понимать любую из координат x и z .

Предполагается, что ВС, от которого получена РЛ-отметка, летит с постоянными путевой скоростью и путевым углом. Поэтому для каждой из двух координат x и z принята описывающая функция в виде полинома первой степени. Пусть на предыдущем цикле (после очередного замера координат ВС и их пересчета из полярной в нормальную земную систему координат) вычислены оценки, т.е. сглаженные значения координат и составляющих скорости $\hat{\zeta}_{n-1}$ и $\hat{v}_{\zeta_{n-1}}$. Тогда при сделанных выше предположениях и известном периоде вращения антенны радиолокатора T_0 можно вычислить *экстраполированные* координаты

$$\zeta_{en} = \hat{\zeta}_{n-1} + \hat{v}_{\zeta_{n-1}} T_0. \quad (8.1)$$

Очередной n -замер ζ_n , как правило, не совпадает с предвычисленной (экстраполированной) величиной ζ_{en} (рис. 8.2) по двум основным причинам: из-за погрешностей измерений и неточности (нестабильности) выдерживания ВС параметров движения, что также приводит к ошибкам оценивания скорости. Наиболее правдоподобным оценкам соответствует на рис. 8.2. точка M , лежащая на отрезке прямой, соединяющей экстраполированное и измеренное положение цели.

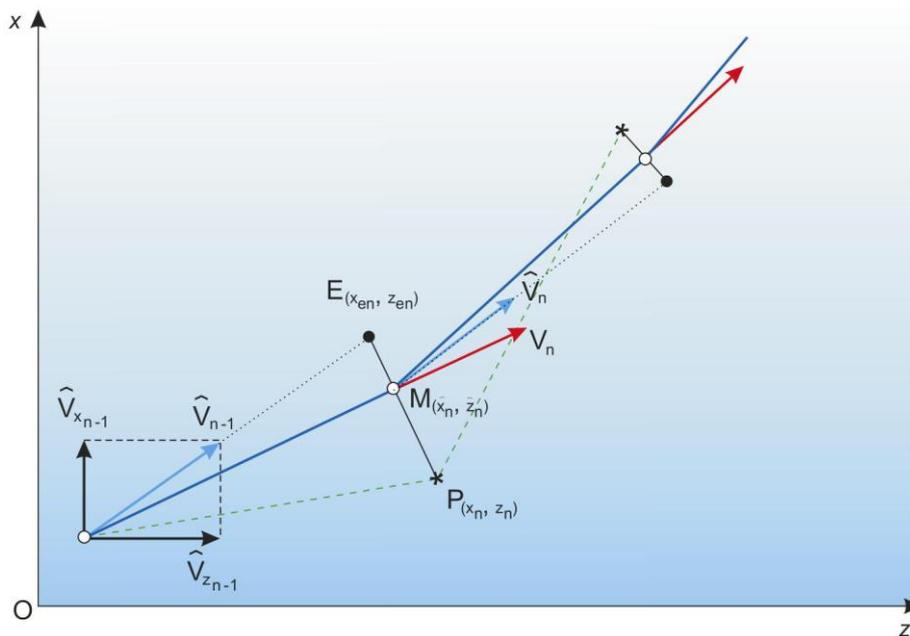


Рис. 8.2. Скользящее сглаживание по алгоритму α - β -фильтра

Математически это означает, что оценка вычисляется как линейная комбинация экстраполированного и измеренного значений координат, а именно:

$$\hat{\zeta}_n = \alpha \zeta_n + (1 - \alpha) \zeta_{en},$$

где α , ($0 \leq \alpha \leq 1$) – коэффициент сглаживания координат, которому соответствует отношение длин отрезков PM и EP (см. рис. 8.2), где E –

экстраполированное положение, P – измеренное, а M соответствует сглаженным координатам.

Последнее выражение удобно представить в виде

$$\hat{\zeta}_n = \zeta_{en} + \alpha(\zeta_n - \zeta_{en}). \quad (8.2)$$

По аналогии запишем для скорости

$$\hat{V}_{\zeta_n} = \hat{V}_{\zeta_{n-1}} + \beta(\zeta_n - \zeta_{en})/T_0, \quad (8.3)$$

где β , ($0 \leq \beta \leq 1$) – коэффициент сглаживания скорости.

Как было указано, под координатой ζ можно понимать либо координату x , либо z . Поэтому в развернутом виде выражения для вычисления сглаженных и экстраполированных координат и составляющих линейной скорости записываются так:

$$\begin{aligned} \hat{x}_n &= x_{en} + \alpha(x_n - x_{en}), \quad \hat{z}_n = z_{en} + \alpha(z_n - z_{en}); \\ x_{en} &= \hat{x}_{n-1} + \hat{V}_{x_{n-1}} T_0, \quad z_{en} = \hat{z}_{n-1} + \hat{V}_{z_{n-1}} T_0; \\ \hat{V}_{x_n} &= \hat{V}_{x_{n-1}} + \beta(x_n - x_{en}), \quad \hat{V}_{z_n} = \hat{V}_{z_{n-1}} + \beta(z_n - z_{en})/T_0, \end{aligned}$$

где x_n и z_n – измеренные координаты (замеры) на n -м обзоре; \hat{x}_n и \hat{z}_n – сглаженные координаты (оценки); \hat{V}_{x_n} , \hat{V}_{z_n} и $\hat{V}_{x_{n-1}}$, $\hat{V}_{z_{n-1}}$ – сглаженные величины (оценки) составляющих скорости перемещения в n -й и $(n-1)$ -й периоды обзора соответственно x_{en} и z_{en} – экстраполированные координаты.

Заметим, что по формулам вида (8.1)–(8.3) при наличии соответствующего измерителя можно вычислять величины экстраполированной y_e и сглаженной \hat{y} высоты, а также вертикальную скорость \hat{v}_y .

При $\alpha = 1$ оценка координаты равна измеренному значению, а при $\alpha = 0$ – экстраполированному («сопровождение по памяти»). Очевидно, что по мере накопления информации (увеличения «памяти») значение коэффициента сглаживания должно уменьшаться.

Покажем вывод зависимостей α и β от числа измерений, опираясь на метод наименьших квадратов. Из формул (8.1) и (8.2) следует:

$$\alpha = \frac{\hat{\zeta}_n - \hat{\zeta}_{n-1} - \hat{V}_{\zeta_{n-1}} T_0}{\zeta_n - \zeta_{n-1} - \hat{V}_{\zeta_{n-1}} T_0}.$$

Подставив в это выражение соотношения для оптимальных оценок $\hat{\zeta}_n$, $\hat{\zeta}_{n-1}$ и $\hat{V}_{\zeta} = c_1$ (см. приложение 12) и опуская громоздкие преобразования, получим следующую формулу:

$$\alpha = \frac{2(2n-1)}{n(n+1)}. \quad (8.4)$$

Формула для коэффициента β может быть найдена аналогичным образом и имеет вид:

$$\beta = \frac{6}{n(n+1)}. \quad (8.5)$$

Рассмотрим динамику процесса сглаживания. Пусть замеры координаты ζ_i , $i=1, 2, \dots, n, \dots, N$ выполняются последовательно на каждом

обзоре (без пропусков). При $n=1$ и $n=2$ сглаживание смысла не имеет, поэтому $\alpha=1$. Что же касается вычисления оценки скорости, то при $n=1$ оно невозможно, а при $n=2$ оценка скорости равна отношению приращения координаты к периоду обзора (коэффициент $\beta=1$). При последующих обзорах коэффициенты α и β уменьшаются. В связи с этим «вес» новой информации уменьшается (это видно из выражения (8.2), при $n \rightarrow \infty$ коэффициенты сглаживания асимптотически стремятся к нулю).

Иными словами, при большом количестве измерений вновь полученная информация в расчет не принимается, и траектория, построенная по сглаженным значениям координат, будет представлять собой прямую линию, в то время как реальная траектория с ней, как правило, не совпадает. В связи с этим следует ограничить коэффициенты сглаживания снизу величинами $\alpha_0 > 0$ и $\beta_0 > 0$ (очевидно, что тем самым мы косвенно ограничиваем глубину памяти фильтра). Для гражданских ВС в установленном режиме коэффициенты сглаживания устанавливаются $\alpha = 0,3 \div 0,5$; $\beta = 0,1 \div 0,3$ (рис. 8.3, 8.4).

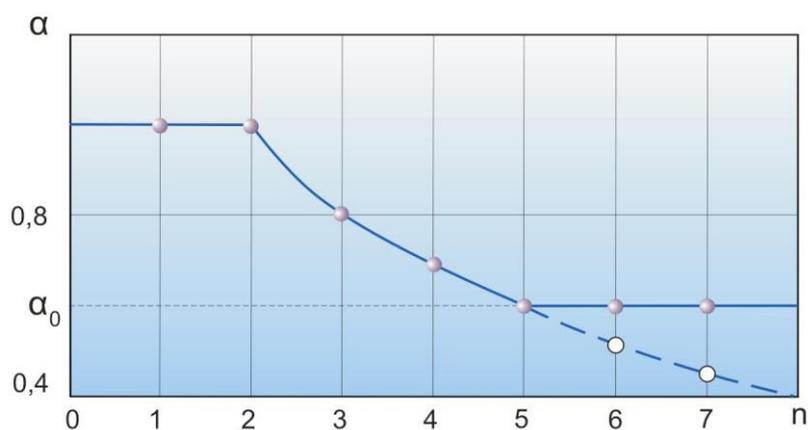


Рис. 8.3. Зависимость коэффициента сглаживания координат от числа наблюдений

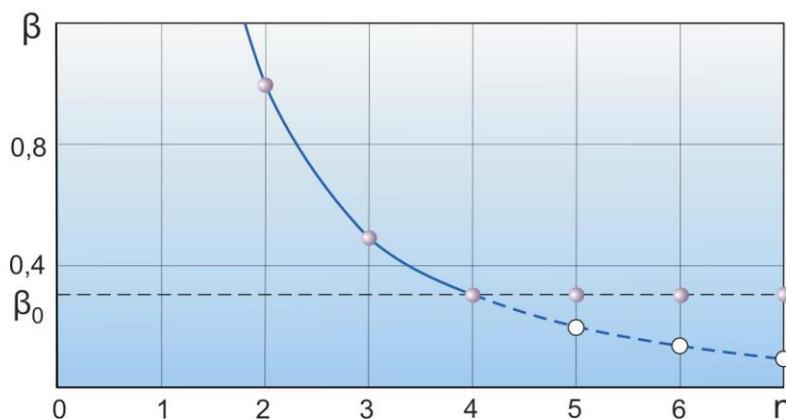


Рис. 8.4. Зависимость коэффициента сглаживания скорости от числа наблюдений

В АС УВД первых поколений $\alpha-\beta$ -фильтр использовался для обработки наблюдений не только на прямолинейных, но и на криволинейных участках траектории. Для соответствующей подстройки фильтра вводился специальный параметр q_T , называемый *коэффициентом прочности траектории*. На первом обзоре коэффициенту q_T присваивалось значение 1. На последующих обзорах применялась следующая логическая схема. При нормальном («удачном») замере, когда отклонение от экстраполированного значения координаты было невелико, q_T увеличивалось на единицу, а при аномальном (когда отклонение превышало заданное значение) коэффициент q_T уменьшался сразу на несколько единиц:

$$q_T = \begin{cases} q_T + 1, & \text{если замер нормальный} ; \\ q_T - 2, & \text{если замер аномальный} . \end{cases}$$

Снизу величина q_T ограничивалась значением 2, а сверху – некоторой величиной q_0 (тем самым отпадала необходимость в ограничениях на α_0 и β_0).

При подстановке q_T вместо n соотношения (8.4) и (8.5) принимают вид:

$$\alpha = \frac{2(2q_T - 1)}{q_T(q_T + 1)}, \quad \beta = \frac{6}{q_T(q_T + 1)}, \quad 2 \leq q_T \leq q_0. \quad (8.6)$$

На «крутых» разворотах коэффициент прочности траектории становился равным 2 и сглаживание отсутствовало.

Рекуррентный I-фильтр первого порядка

Хорошо известный $\alpha-\beta$ -фильтр является наиболее экономным с точки зрения использования оперативной памяти. Как показано выше, это достигается тем, что в нем применяется процедура рекуррентного типа. Фильтры, основанные на методе точного построения информационных множеств (ИМ) в пространстве параметров описывающей функции, требуют существенно больших объемов памяти как для хранения данных, так и для решения задачи линейного программирования (см. главу 5 и приложение 13).

Рассмотрим рекуррентный алгоритм приближенного i -оценивания, в котором за счет некоторого уменьшения точности представления ИМ значительно снижаются вычисленные затраты*.

Суть его состоит в аппроксимации информационных множеств правильными четырехугольниками (параллелограммами и прямоугольниками) в двумерном пространстве. (Используя этот прием, можно построить и подобный фильтр второго порядка.)

Опишем на содержательном уровне алгоритм, реализуемый фильтром первого порядка в обратном времени, когда, ИМ строится в пространстве двух параметров, а именно $c_1 = \hat{\zeta}$ (оценки текущего значения координаты) и

$c_2 = \hat{v}_\zeta$ (оценки скорости ее изменения; в дальнейшем индекс ζ у скорости v_ζ опускается).

Пусть на предыдущем $(k-1)$ -м замере в момент времени t_{k-1} информационное множество $I_{k-1}(c)$ представляет собой прямоугольник:

$$I_{k-1}(c) = K_{k-1} \cdot L_{k-1},$$

где K_{k-1} и L_{k-1} – отрезки оценивания;

$$K_{k-1} = [V_{k-1}^-, V_{k-1}^+], \quad L_{k-1} = [\sigma_{k-1}^-, \sigma_{k-1}^+],$$

где знаками «-» и «+» обозначены соответственно нижняя и верхняя границы оценок скорости v_ζ и координаты ζ в момент времени t_{k-1} .

При поступлении в момент t_k замера ζ_k производится промежуточная оценка скорости \hat{v}_k , а именно вычисление границ отрезка K_k :

$$K' = [V_{\min}, V_{\max}], \quad \text{где } V_{\min} = \max_{k-r \leq i < k} ((\zeta_k - \zeta_i - 2\mu)/(t_k - t_i)),$$

$$V_{\max} = \min_{k-r \leq i < k} ((\zeta_k - \zeta_i + 2\mu)/(t_k - t_i))$$

Здесь r – глубина памяти фильтра, а μ – ограничение на погрешность измерения δ_k .

**Примечание:* В разработке и исследовании описанного здесь варианта фильтра принимал участие С.А. Изъюров.

Окончательное оценивание скорости на k -м шаге производится с помощью пересечения множеств K_{k-1} и K' :

$$K_k = K_{k-1} \cap K',$$

в результате чего определяются v_k^- и v_k^+ .

Затем находится интервал прогноза оценки координаты ζ на момент времени t_k :

$$L = [\sigma_k^- + (t_k - t_{k-1})v_k^-, \quad \sigma_k^+ + (t_k - t_{k-1})v_k^+].$$

Интервал оценивания координаты на момент времени t_k отыскивается как пересечение множества L с множеством (интервалом) неопределенности $H(t_k)$:

$$L_k = K \cap H(t_k) = K \cap [\chi_k - \mu, \chi_k + \mu].$$

Следует подчеркнуть, что найденный в результате интервал $L_k = [\sigma_k^-, \sigma_k^+]$ представляет, как нетрудно убедиться, сечение информационной трубки (рис. 8.5).

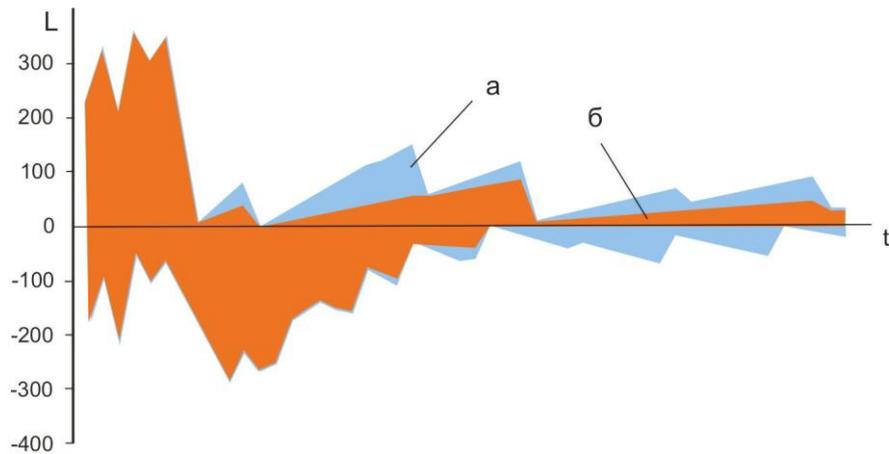


Рис. 8.5. Результат построения трубки двумя способами: а – соответствует приближенному I-оцениванию, б – точному.

Многоугольники (незакрашенные), изображенные на рис. 8.6, наглядно иллюстрируют построение ИМ в процессе работы алгоритма. Закрашенные многоугольники соответствуют ИМ, построенным точным методом, а незакрашенные – рекуррентным.

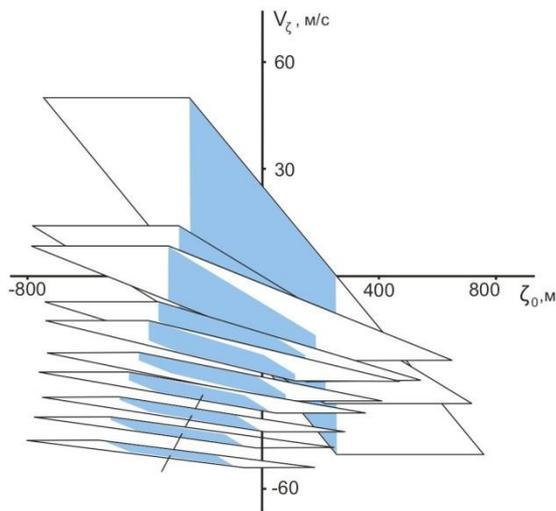


Рис. 8.6. Построение информационных множеств в пространстве (ζ, V_ζ) «координата – скорость ее изменений»

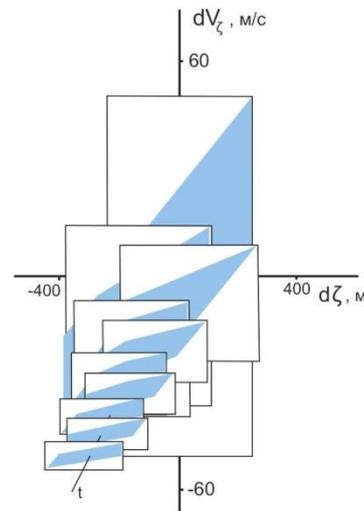


Рис. 8.7. Построение информационных множеств в прямом времени $(dV_\zeta, d\zeta)$

Алгоритм при незначительных изменениях работает и в прямом времени (без ограничения памяти), что иллюстрируется рис.8.7.

Для удобства на рис. 8.7. откладывают по горизонтальной оси величины $d\zeta = \zeta - V_0 t$, по вертикальной оси на обоих рисунках $dV = V - V_0$, где $V_0 t = \zeta_0$ и V_0 – истинные начальные значения координаты и скорости ее изменения.

Рассмотренный фильтр позволяет получить интервальные оценки параметров движения (или, что то же самое, параметров описывающей функции). При необходимости соответствующие точечные оценки могут рассчитываться различными методами. Их можно вычислять, в частности, как координаты «центра тяжести» информационного множества. Также могут быть использованы алгоритмы, реализующие метод наилучшего равномерного приближения или метод наименьших квадратов.

Наиболее просто оценка находится как середина трубки траекторий.

Пространственно-временное стробирование

Назначение стробов

При любой схеме наблюдения за воздушной обстановкой и практически для всех измерителей (прежде всего – обзорных радиолокаторов) информация о местонахождении ВС (замеры) поступает в дискретные моменты времени (с постоянным или переменным интервалом). В паузу, когда объект не наблюдаем, его координаты изменяются, и к моменту нового замера следует ожидать его появления в другом месте. Для обеспечения устойчивого наблюдения целесообразно заранее, до поступления новой информации, выделять ограниченную область пространства, в которой можно с уверенностью ожидать появления ВС. Такую область принято называть пространственным *стробом*.

Управление стробом должно носить упреждающий характер. Действительно, к моменту получения информации о положении цели на очередном шаге положение строба уже должно быть вычислено, и он должен покрывать то множество точек, где может находиться отметка.

При задании положения строба, его формы и размеров можно исходить из разного рода предположений. Наиболее распространенным является вероятностный подход, применявшийся во многих АС УВД.

В соответствии с вероятностным подходом строб строится вокруг экстраполированной точки E (рис. 8.8). Форма и размер строба обусловлены влиянием двух факторов: погрешностей измерения координат и возможностью отклонения ВС от программной траектории (при этом следует учитывать как случайные погрешности ее выдерживания, так и внезапное изменение курса).

Предположения о гауссовости помех и возмущающих факторах (к ним отнесены и управляющие воздействия, которым также приписываются случайные, вероятностные свойства) приводят к возможности построения стробов на плоскости oxz в виде эллипсов. Их размеры определяются из практических соображений по среднеквадратическим отклонениям, которые предполагаются заданными.

В приведенном на рис. 8.8 примере строба сопровождения учитываются только погрешности измерения РЛС по азимуту и дальности (рис. 8.8). Области, ограниченные эллипсами EK и ER , соответствуют

доверительным интервалам с вероятностью 0,65 и 0,95 соответственно. Они используются для изменения коэффициента прочности траектории q_T .

Величины коэффициентов сглаживания $\alpha - \beta$ - фильтра, учитывающих степень влияния нового замера на оценки координаты и скорости ее изменения, зависят от прочности траектории q_i .

По соображениям простоты вокруг эллипсов описывают прямоугольник. Добавив еще дополнительные «запасы» на ускорение $D_{\text{уск}}$ и маневрирование $D_{\text{ман}}$ или $\Delta D = \max(D_{\text{уск}}, D_{\text{ман}})$, получают строб сопровождения S .

Следует заметить, что коэффициент прочности траектории может использоваться и для управления размерами стоба сопровождения, центр которого задается экстраполированными координатами.

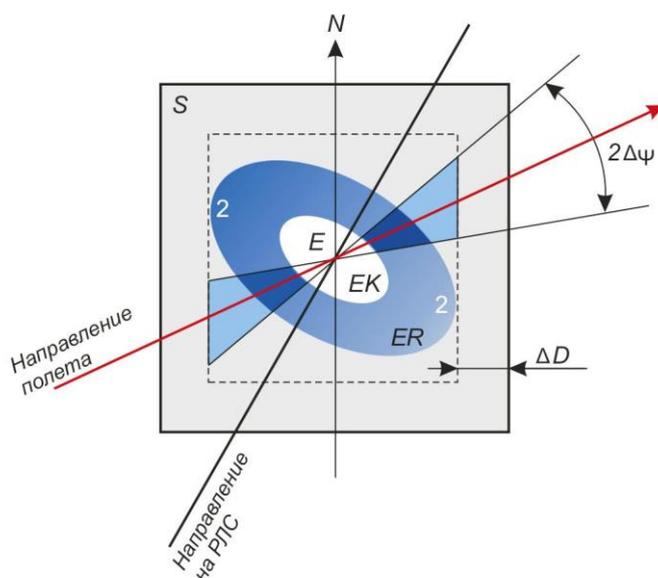


Рис. 8.8. Вид стоба сопровождения, построенного из вероятностных представлений

1.1.3. Построение стробов методами информационных множеств

Ранее рассматривались стробы, представляющие собой области в системе координат, заданной в реальном физическом пространстве или в его подпространстве Oxz .

Координаты x , z и y , определяющие положение наблюдаемого объекта (ВО), входят в число фазовых координат основной системы (1.4), однако наряду с ними фазовыми координатами являются также путевая скорость V и угол пути ψ . Таким образом, для исчерпывающего описания положения наблюдаемого объекта как динамической системы (x, z, ψ, V) движение в вертикальной плоскости, описываемое изменением координаты y , можно рассматривать изолированно.

По определению, множеством прогноза (МП) $G(t^*)$ на момент времени t^* называется совокупность всех состояний, которые могут быть

достигнуты, если в предыдущий момент $t_0 < t^*$ состояние системы принадлежало информационному множеству $I(t_0)$. В свою очередь ИМ $I(t_0)$ получается в результате пересечения множества прогноза $G(t_0)$ с множеством неопределенности замера (МН). Под последним следует понимать совокупность всех состояний в фазовом пространстве, совместимых с замером координат и ограничениями на погрешности измерений.

Процедура построения МП весьма трудоемка (иллюстрирующий пример приведен в приложении 18).

Так как строб строится в системе координат $OXYZ$, то в соответствии с определением он должен рассматриваться как проекция $G^\#(t^*)$ МП $G(t^*)$ на плоскость OXZ .

Исследования в области разработки менее трудоемких процедур построения МП и ИМ ведутся достаточно интенсивно. Однако в настоящее время множества прогноза, построенные точными методами, применяются для оценки погрешностей стробов, являющихся их аппроксимацией.

Рассмотрим случай, когда весьма просто удастся построить проекцию множества прогноза. Речь идет о стробе в форме кольца, показанного на рис.8.9 (он известен под названием стартового).

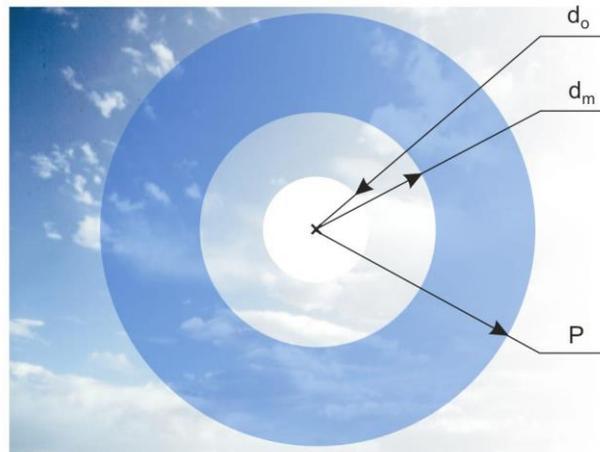


Рис. 8.9. Стартовый строб

Пусть имеется первый замер (точка P) и множество неопределенностей $n(t^*)$ имеет вид круга радиусом d_0 . Очевидно, что так как предыстория отсутствует, то ИМ и МН совпадают. Если известен диапазон скоростей $[v_{min}, v_{max}]$, направление полета может быть любым, то всевозможные позиции, достижимые к моменту времени $t^* = t_0 + T_0$, образуют кольцо с внутренним радиусом $d_m = v_{min} T_0 - d_0$ и наружным $D_m = v_{max} T_0 + d_0$.

Управление стробом должно носить упреждающий характер.

Действительно, к моменту получения информации о положении цели на очередном шаге положение строба уже должно быть вычислено, и он должен покрывать то множество точек, где может находиться отметка.

При ограниченных ресурсах вычислительных комплексов, имевших место в недавнем прошлом, резонно было выбирать наиболее простую форму строба в виде прямоугольника или квадрата (рис. 8.10).

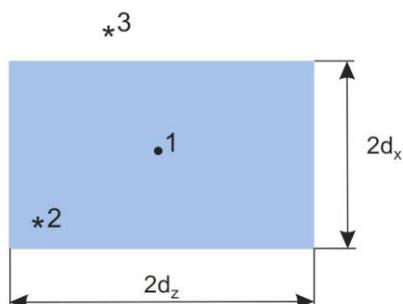


Рис. 8.10. Прямоугольный строб: 1 – экстраполированные координаты (центр строба); 2 – попавшая отметка, в строб; 3 – отметка, не попавшая в строб.

В этом случае для определения попадания отметки в строб требуется проверить простое неравенство:

$$|x - x_e| \leq d_x, |z - z_e| \leq d_z,$$

где x, z – координаты новой отметки; x_e, z_e – экстраполированные координаты траектории (центра строба); d_x, d_z – половины сторон строба.

Однако такая форма строба является слишком грубой. Она не учитывает различия маневренных характеристик цели по составляющим скорости.

Результатом такого неточного построения могут быть две неприятные ситуации:

- в строб не попадает ни одна отметка, и может произойти срыв сопровождения;
- в строб попадают сразу несколько отметок и необходимо по дополнительным критериям выбирать истинную (разрешение «спорных ситуаций»).

Наиболее удобным с этой точки зрения следует признать строб, изображенный на рис. 8.11. Он значительно лучше аппроксимирует проекцию множества прогноза.

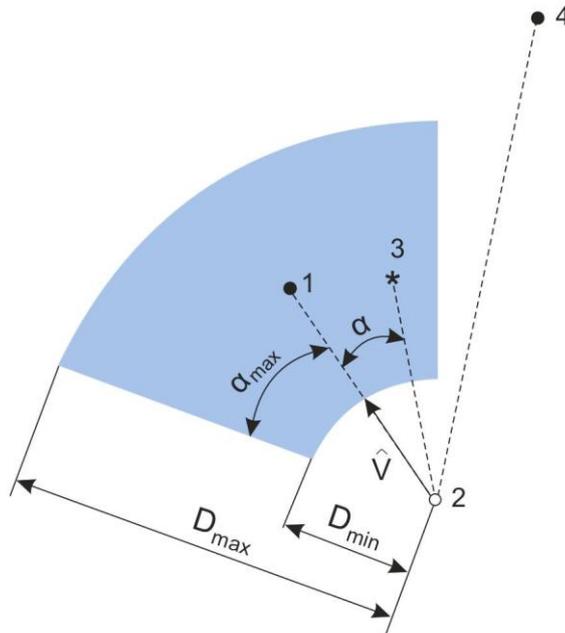


Рис. 8.11. Рациональная форма сектора сопровождения: 1 – центр сектора (экстраполированное положение цели); 2 – сглаженная отметка на предыдущем обзоре; 3 – отметка, попавшая в сектор; 4 – отметка, не попавшая в сектор; \hat{v} – сглаженное значение скорости на предыдущем обзоре.

Такая форма сектора позволяет наиболее полно учесть как погрешности измерения, так и маневренные характеристики цели. Чтобы удостовериться в попадании новой отметки в такой сектор требуется проверить следующие неравенства:

$$\alpha \leq \alpha_{\max};$$

$$D_{\min} \leq D_0 \leq D_{\max},$$

где α – угол между рассчитанным вектором скорости и направлением от предыдущего отсчета на новую отметку; D_0 – расстояние между предыдущей сглаженной отметкой и новым замером; D_{\min} , D_{\max} – минимальное и максимальное допустимое расстояние между предыдущим отсчетом и новой отметкой (см. рис. 8.11).

Если в информации о новой отметке присутствует высота, то можно произвести также проверку на попадание в так называемый *объемный сектор*:

$$|H_0 - H_s| \leq d_h,$$

где d_h – размер сектора по высоте.

Во время идентификации отметок часто возникают *спорные ситуации*, когда в один сектор попадает более одной новой отметки (спорная ситуация первого рода) или когда одна новая отметка принадлежит нескольким секторам (спорная ситуация второго рода). Для решения спорных ситуаций первого рода существуют, вообще говоря, два подхода. В первом из них принимается утверждение, что одной цели может принадлежать только одна отметка. Все остальные при этом либо ложные,

либо принадлежат другим целям. Во втором случае считается, что все отметки, попавшие в строб, принадлежат этой цели и на них заводятся дополнительные траектории в количестве $n-1$, где n – количество отметок, попавших в строб. По мере дальнейшего наблюдения те траектории, которые окажутся ложными (т.е. обрываются), будут уничтожены, реальная же траектория сопровождается и дальше.

Однако второй способ разрешения, как правило, сопряжен с большими вычислительными затратами и в реальных системах применяется крайне редко, поэтому рассмотрим более подробно первый способ.

Если принять во внимание, что все отметки, попавшие в строб, потенциально могут принадлежать одной цели, то и маневренные характеристики и погрешности измерений у этих отметок будут одинаковыми. Отсюда делается предположение, что та из отметок, которая располагается ближе всего к центру строба (т.е. к экстраполированному положению цели), и является истинной. Этот же вывод подходит и для решения спорных ситуаций второго рода, только в этом случае рассматривается удаление новой отметки от центров всех стробов, в которые она попадает (см. приложение 19).

Координаты (и дополнительная информация, если она есть) новых отметок, ассоциированных с каналами сопровождения в процессе идентификации, помещаются в соответствующий КАС для дальнейшей обработки. Остальные отметки могут быть как ложными, так и вновь обнаруженными целями. Для того чтобы определить, что же это на самом деле, применяются алгоритмы автозахвата.

Таким образом, текущие значения коэффициентов сглаживания и текущий размер строба определяются в общем случае количеством наблюдений цели с момента завязки траектории и количеством последовательных пропусков отметок, которые учитываются коэффициентом прочности траектории q_T [(см. соотношения (8.6)].

На рис. 8.12 показан пример автозахвата и сопровождения цели.

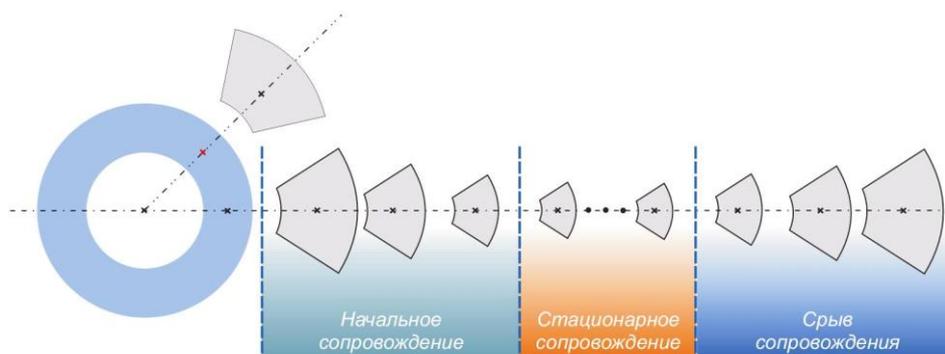


Рис. 8.12. Пример автозахвата и сопровождения цели

1.2.

1.3. Фиксация момента изменения характера движения

1.3.1. Алгоритмы, использующие стробы

Рассмотрим относительно простые методы фиксации момента времени изменения характера движения наблюдаемого объекта (ВС), а именно его перехода с одного участка программной траектории на другой. При этом необходимо учитывать ряд обстоятельств.

Так как стандартная программная траектория состоит обычно из чередующихся прямолинейных участков (или «почти» прямолинейных – в случае полета по ортодромиям) и криволинейных участков («почти» дуг окружностей) на переходах в ППМ, то кроме момента начала маневрирования необходимо фиксировать также и моменты его окончания, т.е. все моменты «стыковки» участков. Реальная траектория всегда в той или иной степени отличается от программной, а замеры координат выполняются с погрешностью.

Опишем алгоритм обнаружения моментов начала и окончания маневра, основанный на анализе взаимного расположения отметок и специально построенных стробов. Наряду со стробом отождествления (внутренний строб меньшего размера на рис. 8.13) строится *строб маневра* (внешний по отношению к первому).

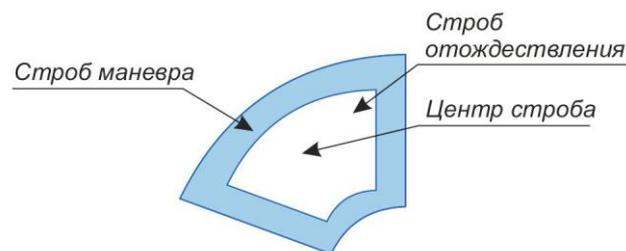


Рис. 8.13. Строб маневра

Если основной строб сопровождения строится исходя из погрешностей измерения, то строб маневра учитывает отклонения от прогнозируемого (экстраполированного) местоположения, вызванные изменением путевой скорости или курса.

Если в пределах строба маневра выделить дополнительные области, ориентированные относительно направления движения, то появляется возможность идентифицировать тип маневра и траектории. Обычно решение о начале маневра (или идентификации типа траектории) принимается тогда, когда отметка попадает в строб маневра два обзора подряд. При этом изменяются коэффициент прочности траектории и соответственно параметры сглаживания или тип фильтра. Напомним, что параметры сглаживания и размеры строба сопровождения изменяются и при пропуске отметок, т.е. отсутствии замера на очередном обзоре. Разница заключается в том, что в последнем случае вычисление оценки координат не производится, а экстраполяция выполняется по ранее вычисленным и запомненным координатам и параметрам движения.

Фиксация окончания маневра и возврат к прежним параметрам сглаживания происходят в случае, если отметка снова несколько раз подряд попадает во внутренний строб отождествления.

Наряду с несомненными достоинствами (прежде всего, простотой) рассмотренный алгоритм и его многочисленные модификации обладают существенным недостатком. Он связан с трудностями задания размеров стробов. Действительно, при малых размерах увеличивается вероятность ложных тревог (ложных срабатываний), а при больших стробах возрастает вероятность спорных ситуаций. Выход заключается в применении более эффективных, хотя и весьма трудоемких, процедур, использующих теорию статистических решений и идеологию информационных множеств. Однако для применения оптимальных правил остановки требуется, как известно, формирование статистик.

Построение статистик с использованием информационных множеств
Оптимальные последовательные правила остановки, имеющие в своей основе байесовские процессы принятия решений, носят, как известно, универсальный характер: любая задача последовательного принятия решений может быть сведена к задаче оптимальной остановки некоторой последовательности (см. приложение 20).

Центральной проблемой метода является построение областей решений в пространстве замеров. Трудности заключаются прежде всего в том, что с увеличением числа измерений пространство измерений (даже для усеченных байесовских процессов принятия решений) растет столь стремительно, что вычислительные затраты становятся чрезмерными. Из теории следует, что этой трудности можно избежать, если существует некоторая измеримая функция наблюдений, называемая *статистикой*, представляющая собой марковский процесс, такая, что вычисленные на ней и на исходных измерениях наименьшие апостериорные риски (выигрыши) совпадают.

Достаточной называется статистика, содержащая в себе всю необходимую для принятия решения информацию.

Перейдем к определению достаточной статистики в решаемой нами задаче обнаружения изменения характера движения. Пусть по результатам нескольких последовательных замеров, совместимых с описывающей функцией в виде полинома первой степени (отвечающей модели движения с постоянным курсом и скоростью), построены ИМ и определен размер информационной трубки ε .

Если очередное k -е измерение оказалось также совместимым с предыдущей историей (ИМ не выродилось), то наблюдения продолжаются.

Противный случай может возникнуть по двум причинам:

1. Изменился характер движения (появилось ускорение, и изменилась скорость – объект начал маневрировать, и прежняя модель движения не соответствует действительности).

2. Маневр отсутствует, но имеет место *аномальный* выброс, который может быть вызван действием случайных факторов, приводящих к кратковременному отклонению от заданной траектории с последующим возвратом на нее, либо сильной помехой, при которой погрешность измерения вышла за ограничения.

Несовместный k -й замер, для которого $G_k \cap H_k = \emptyset$, обозначим через χ_k^* . Практически для выявления замера χ_k^* удобно поступать следующим образом: до замера вычислять не множество прогноза, а прогнозируемые границы информационной трубки, и после прихода замера проверять справедливость неравенства:

$$\chi_k > \sigma_e^+ + \mu, \chi_k < \sigma_e^- - \mu. \quad (8.7)$$

Если одно из неравенств (8.7) нарушено, тогда полагаем $\chi_k = \chi_k^*$ (т.е. замер аномальный), и далее при построении ИМ можно полагать:

$$\chi_k = \begin{cases} \sigma^+ + (\mu - \varepsilon_0), & \text{если нарушено первое неравенство (8.7);} \\ \sigma^- - (\mu + \varepsilon_0), & \text{если нарушено второе неравенство (8.7),} \end{cases}$$

где ε_0 – ограничение на минимальный размер информационной трубки.

Так как при маневре отклонения от прямолинейного движения имеют один знак, то целесообразно учитывать только *униполярные* несовместимые замеры (т.е. последовательные замеры χ_{n-1}^* и χ_n^* , находящиеся по одну сторону от трубки траекторий).

Теоретически и практически возможна ситуация, когда маневр начался, но ошибка измерения такова, что замер оказался совместимым. Для обнаружения маневра в этой ситуации нет разумных рецептов. Практически же такое положение приведет к запаздыванию обнаружения начала маневрирования.

При конечной глубине памяти фильтра и наличии люфта (запаса) ограничений, когда $\mu > v_m$, где v_m – максимальный модуль ошибки измерений, как нетрудно понять, существует такое значение ускорения, в пределах которого неравенства не нарушаются, и, таким образом, маневр «отслеживается» фильтром первого порядка (подчеркнем, что ускорение предполагается ограниченным с вероятностью единица).

Вероятностные характеристики выбросов. Для расчета статистик оказывается необходимым задание априорных вероятностей, позволяющих вычислить на данном замере отношение правдоподобия φ_n ; использование информационных множеств позволяет принимать в расчет лишь несовместимые выбросы, которые могут быть двух типов. *Аномальным*, случайным выбросом назовем несовместимый замер, возникающий вследствие совместного действия помех, и случайные отклонения от заданной траектории, приводящие к выходу за пределы трубки траекторий. *Регулярные* несовместимые замеры появляются при совершении маневра.

В отношении правдоподобия входят плотности вероятностей регулярных и аномальных выбросов. Так как все они достаточно велики, то существенную роль играют лишь «хвосты» распределений. Поэтому для отношения правдоподобия можно использовать (как это следует из теории выбросов случайных процессов) относительно простые соотношения вида

$$\varphi_n = \exp [(\chi_n^* - m)^2 / (2\sigma^2)], \quad (8.8)$$

где $m = 0,5(\sigma^+ - \sigma^-)$ – координаты центра трубки, а σ – среднеквадратическая погрешность измерений.

Возможно использование и более «мягкой» (и в то же время более простой) зависимости вида

$$\varphi_n = 1 + (\chi_n^* - m)^2 / (2\sigma^2).$$

Вероятность начала изменения характера движения. При обнаружении момента перехода ВС с прямолинейного участка движения (с нулевым ускорением) на криволинейный (где ускорение не равно нулю) и обратного перехода с применением оптимальных правил остановки существенную роль играют априорные знания о времени нахождения на соответствующем участке. В формулах для статистик, как станет ясно в дальнейшем, используются вероятности изменения характера движения на n -м наблюдении $P(n) = P(\theta = n)$ и после него $P(\theta > n)$, где θ – момент изменения характера движения, который, как предполагается, совпадает с очередным замером.

Чем меньше мера неопределенности, тем меньше среднее запаздывание в обнаружении момента θ и вероятность ложных тревог. Характер функций распределения вероятностей зависит от конкретных условий, однако практически всегда можно полагать, что максимальное число замеров на участке полета N известно (это число, например, можно рассчитать по формуле $N = s_{\max} / (v_{\min} T_0)$, где s_{\max} – максимальная длина участка, v_{\min} – минимальная путевая скорость, T_0 – периодичность замера координат местоположения ВС).

Для участка разворота на угол не более 90° число N можно оценить по формуле $N = 0,5\pi v_{\max} / (g\gamma T_0)$, где v_{\max} – путевая скорость на вираже, γ – угол крена.

Рассмотрим два крайних случая задания функции распределения вероятностей момента θ .

Случай 1. Какие-либо сведения о моменте возможного изменения характера движения отсутствуют.

Этому случаю максимальной неопределенности соответствует равномерное распределение: $P(n) = P(\theta = n) = 1/N$, $P(\theta > n) = 1 - n/N$.

Случай 2. Полет выполняется в соответствии с планом, однако возможны отклонения от него, вызванные, в частности, изменением скорости ветра, давления, температуры и др. В этом случае принимают нормальный или экспоненциальный законы распределения величины θ относительно наиболее вероятного $\theta_a < n$. Однако для упрощения расчетов

удобно пользоваться аппроксимацией функции распределения простого вида.

Зададим величину максимального разброса равной M , а огибающую – кривой распределения в виде треугольника с основанием $2M-1$ и центром в точке $n = \theta_a$. Тогда для вероятностей $P(n)$ и $P(\theta > n)$ имеем:

$$P(n) = \begin{cases} 0, & \text{если } n \leq \theta_a - M, \\ (n + M - \theta_a) / M^2, & \text{если } \theta_a - M < n \leq \theta_a, \\ (\theta_a + M - n) / M^2, & \text{если } \theta_a < n < \theta_a + M, \\ 0, & \text{если } n \geq \theta_a + M. \end{cases} \quad (8.9)$$

$$P(\theta < n) = \begin{cases} 1, & \text{если } n \leq \theta_a - M, \\ 1 - 0,5(n + M - \theta_a)(n + M - \theta_a + 1) / M^2, & \text{если } \theta_a - M < n \leq \theta_a, \\ 0,5[1 - 1/M - (\theta_a + M - n)(\theta_a + M - n + 1) / M^2], & \text{если } \theta_a < n < \theta_a + M, \\ 0, & \text{если } n \geq \theta_a + M, \end{cases} \quad P(n = \theta_a) = 1/M.$$

Возможны, конечно, аппроксимации функций распределения иного вида, однако приведенные выше соотношения представляются наиболее удобными для расчета статистик.

1.3.2. Последовательный алгоритм обнаружения изменения характера траекторного движения

Прежде чем описать алгоритм, отметим, что речь идет о двух отдельных задачах: об обнаружении изменения характера траекторного движения и переходе с одной модели движения на другую, иными словами – о замене (переключении) описывающей функции, используемой для построения ИМ в пространстве параметров движения.

Конкретно будет рассмотрен переход от описывающей функции (модели) первого порядка (прямолинейный участок программной траектории) к описывающей функции второго порядка (участок программного разворота, а также разгон или гашение скорости). Напомним, что отличительный признак состоит в отсутствии или наличии у наблюдаемой координаты второй производной по времени (т.е. линейного ускорения, которое и является ненаблюдаемым параметром).

Отметим важную особенность задачи. Она состоит в том, что модель второго порядка («вторая модель») поглощает первую.

Действительно, описывающая функция в виде полинома второй степени пригодна и для прямолинейной траектории (но не наоборот). Однако платой за такое несоответствие является, с одной стороны, увеличение интервальной оценки (ухудшение сглаживания), т.е. соответствующее снижение точности оценивания, а с другой – увеличение вычислительных затрат.

Перейдем непосредственно к описанию алгоритма. Предварительно квалифицируем его с общетеоретических позиций последовательного статистического анализа и принятия решений.

■ Процедура относится к траекторным статистическим методам, т.е. таким, когда обработки результатов наблюдений происходят в процессе их поступления.

■ Реализуется вариант байесовского n -усеченного процесса принятия решений, когда длительность интервала наблюдений ограничена (сверху).

■ Предполагается, что решение должно быть принято относительно значения некоторого ненаблюдаемого параметра, а после принятия решения происходят некие необратимые действия, и процесс наблюдения прекращается. Момент остановки наблюдений, вообще говоря, является случайной величиной, зависящей от проведенных наблюдений и не зависящей от еще не проведенных (т.е. является марковским процессом).

Это положение уже обсуждалось, но необходимы дополнительные разъяснения. При принятии решений об обнаружении изменения характера движения (изменении величины наблюдаемого параметра – линейного ускорения), вообще говоря, процесс наблюдения (в широком смысле) не прекращается. Поэтому терминальность заключается в том, что изменяется алгоритм обработки. Необратимость последствий следует понимать в том смысле, что принятое решение сопровождается, к примеру, определенными изменениями изображения траектории на экране видеомонитора, вызывающими в свою очередь целую цепочку действий, которые в принципе необратимы.

Рассмотрим один из наиболее простых вариантов алгоритма обнаружения ускорения, реализующего модифицированное последовательное байесовское правило.

Так как по поводу длительности действий ускорения не делалось никаких других предположений, кроме его ограниченности (по соображениям точности аппроксимации на развороте), то методики, разработанные для обнаружения сигнала известной постоянной длительности или случайной (с известным распределением), в данном случае бесполезны.

Будем решать задачу обнаружения *начала* интервала изменения ускорения. В соответствии с этой задачей функцию выигрыша (см. приложение 14) запишем в форме:

$$w(k, \theta) = \begin{cases} 1, & k = \theta; \\ 0, & k \neq \theta, \end{cases} \quad (8.10)$$

где k – номер текущего замера; θ – момент начала интервала изменения ускорения.

В соответствии с *правилом остановки* момент принятия решения определяется как первый момент времени, в который байесовский выигрыш, вычисленный на этот момент, сравнивается с максимальным выигрышем, который может быть получен от продолжения наблюдений (см. приложение 14).

Для заданной нами функции платы это приводит к простому уравнению:

$$\pi_n^0 = \pi_n^+, \text{ если } n = \theta.$$

Однако θ – неизвестная величина. Рекуррентные формулы для статистик приведены в приложении 20. Поэтому введем решающую функцию в виде статистики:

$$\pi_n^* = \pi_n^0 - \pi_n^+ + 1 = \pi_n + \pi_n^0,$$

где $\pi_n^0 = P(\theta = n | \chi_1^{*n})$, $\pi_n^+ = P(\theta > n | \chi_1^{*n})$, $\pi_n = P(\theta \leq n | \chi_1^{*n})$ – условные вероятности соответствующих событий (достаточные статистики – см. приложение 20).

Статистика π_n^* – возрастающая, и при достижении значения, равного единице, выполняется равенство статистик. Отсюда следует *оптимальное правило*: решение о начале интервала изменения ускорения следует принимать, когда статистика π_n^* впервые достигает границы $\Gamma^* = 1$.

Для фиксации перехода через границу $\Gamma^* = 1$ удобно использовать решающую функцию:

$$\rho(\pi^*) = \text{sgn}(\pi^* - 1) = \begin{cases} 0, & \text{если } \pi^* < 1, \\ 1, & \text{если } \pi^* \geq 1. \end{cases}$$

Поясним работу алгоритма.

1. В качестве исходных данных выступают априорные плотности распределения вероятностей окончания измерений и их число N . При этом в зависимости от конкретных условий может быть принят тот или иной характер распределений. Считаются заданными также параметры корреляции и дисперсия отклонений от заданной траектории. К исходным данным относятся также ограничения на погрешности измерений, выбираемые (рассчитываемые) заранее.

2. Если ИМ на предыдущих шагах построено и известны границы трубки траекторий (в противном случае при «завязке» алгоритм должен быть соответственно изменен), при приходе очередного измерения проверяется его попадание в трубку (если очередного замера нет, то фиксируется пропуск и ожидается новый замер).

3. Очередной замер классифицируется (совместимый или несовместимый), и проверяется условие униполярности (совпадение по знаку с предыдущим несовместимым замером).

4. Вычисляются статистики, в которые входят функции отношения правдоподобия.

5. Вычисленное значение решающей функции сравнивается с порогом (границей).

6. Если граница превышена, то принимается решение о переходе к альтернативной модели (фильтр второго порядка).

7. При совместных замерах, а также в случае, если граница не достигнута, производится построение ИМ и вычисляются границы трубки траекторий σ^- и σ^+ .

8. Наряду с интервальной для целей визуального отображения построенной траектории вычисляются точечные оценки координат. Переход на альтернативную модель и окончание работы алгоритма могут

происходить при достижении максимального значения n или по другим признакам.

Результата работы алгоритма иллюстрируется рис. 8.14.

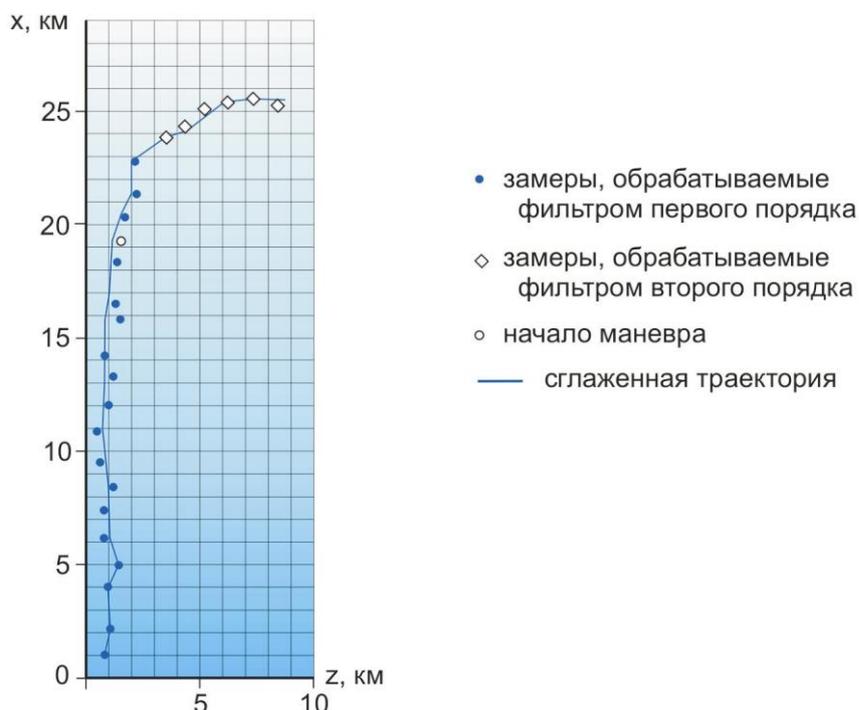


Рис. 8.14. Траектория с участком разворота, крен 30°

Описанные выше последовательная процедура и основной алгоритм носят модельный характер и иллюстрируют главные отличительные черты совмещения байесовского подхода и идеологии информационных множеств. Реализуемая байесовская процедура близка к оптимальным, а относительная простота достигается тем, что использование ИМ делает ненужным решение стохастических дифференциальных уравнений, а также и применение уравнений фильтра Калмана–Бьюси. При конструировании алгоритма мы исходили из байесовской постановки задачи о «разладке», где вероятность ложной тревоги в явной форме не учитывается. Возможна также и вариационная (условно-экстремальная) постановка, где в явном виде присутствует ограничение на вероятность ложной тревоги. Это, однако, значительно усложняет алгоритм. В предложенном варианте величину ложной тревоги можно регулировать с помощью подбора (величины ограничений на погрешность измерений). Вообще же ложная тревога сама по себе не приводит к катастрофическим результатам. Действительно, так как фильтр второго порядка, как уже отмечалось, «поглощает» первый, то переход на него при ложной тревоге ухудшит интервальную оценку и приведет к увеличению вычислительных затрат.

Рассмотренный алгоритм относится к процессу принятия решения о переходе к фильтру второго порядка и не отражает обратный переход. Здесь возможен ряд решений. Самое простое состоит в «параллельном» построении двух ИМ: одного при описывающей функции в виде полинома

второй степени, а другого – для полинома первой степени. Так как из соображений точности аппроксимации на развороте длительность работы фильтра второго порядка ограничена, то при условии, что ИМ первого порядка к этому времени уже восстановится, следует переключиться на фильтр первого порядка. В противном случае необходимо вновь «запускать» фильтр второго порядка. Такое решение «в лоб» очень неэкономно. Поэтому более предпочтителен вариант алгоритма, подобного рассмотренному выше, где обнаруживается интервал, на котором ускорение a становится меньше некоторого заданного значения. Для этого следует задать отрезок $[c_{2_{\min}}, c_{2_{\max}}]$ в пространстве параметров описывающей функции – полинома второй степени и проверять попадание в него. При этом в функцию цены может быть введена «плата» за использование фильтра второго порядка. Этим возможности развития метода не ограничиваются.

Использованные литературы:

1. Под общей редакцией Мокшанова В.И. Проблемы организации воздушного движения. Безопасность полетов // Сборник научных трудов. Выпуск 4 / ГосНИИ «Аэронавигация», 2002. 114с.

Ресурсы интернета

1. www.avia.ru
2. http://www.elibrary.ru/menu_info.asp
3. <http://www.ge.com>
4. <http://www.pw.utc.com>
5. <http://www.rolls-royce.co.uk>
6. <http://www.uacrussia.ru>

V. БАНК КЕЙСОВ

Развития визуально-когнитивной составляющей взаимодействия специалиста по обслуживанию воздушного движения с цветографическим интерфейсом информационной среды средств наблюдения за динамической воздушной обстановкой типовой автоматизированной системы управления воздушным движением. Из практики наблюдения за взаимодействием диспетчеров по управлению воздушным движением районно-диспетчерского центра с информационной средой интерфейса средств наблюдения за динамической воздушной обстановкой выявлены существующие недостатки, преодоление которых способствует достижению наиболее рационального состояния функционирования системы управления воздушным движением. Особенно важным является устранение подобных недостатков в периоды повышенной рабочей нагрузки, в частности, в ситуациях исключительной срочности: при возникновении краткосрочных конфликтных ситуаций (когда времени до нарушения установленных минимальных значений эшелонирования остается меньше чем 80–120 секунд), в сложных метеорологических условиях, возникновении непредвиденных или чрезвычайных ситуаций в полете и др. Рассмотрен способ оптимизации процесса непосредственного управления воздушным движением в автоматизированной системе применением доступных в настоящее время визуально-когнитивных инструментов взаимодействия пользователя с цветографическим интерфейсом информационной среды. В определенном смысле можно говорить о разработке когнитивной системы поддержки принятия рациональных решений по выявлению потенциально конфликтных ситуаций и парирования подобных ситуаций невыявленного типа. Разработка средств поддержки принятия решений рациональной направленности требует анализа деятельности лица, принимающего решения, с учетом его личностного фактора, при котором целесообразна совместная экспликация личностного фактора с информационным обеспечением. В связи с чем, выделяется направление разработки информационного обеспечения с применением цветохроматического сопровождения меток и формуляров воздушных судов, когда происходит сокращение представления информации до минимально необходимой и достаточной для принятия решения на рациональной основе. Представлены результаты применения разработанных визуально-когнитивных решений в испытательной группе из числа диспетчерского состава производственных коллективов районно-диспетчерского центра предприятия по аэронавигационному обслуживанию воздушного движения.

Проблема: Необходимость развития компонентов процесса непосредственного управления воздушным движением (УВД) в автоматизированных системах вызвана поддержанием показателей их эффективного функционирования в условиях неугасающей потребности в использовании воздушного пространства при ограничениях по объему и качеству производства аэронавигационных услуг, а также многообразия

оперативных ситуаций в полете, требующих максимального использования комплекса имеющихся ресурсов. Также немаловажным является и получение гарантий по обеспечению должного уровня безопасности полетов в периоды отклонения состояния системы организации воздушного движения от планируемого или функционирования с предельно допустимыми показателями. Такие условия определяют параметры информационной среды, представляющей сведения для лица, принимающего решения (ЛПР) – диспетчера УВД, возможности которого, в свою очередь, обусловлены имеющимися средствами технико-методологического инструментария.

VI. ГЛОССАРИЙ

- АДП** Аэродромный диспетчерский пункт
АДЦ Аэродромный диспетчерский центр
АИП Сборника аэронавигационной информации
АМСГ Авиационная метеорологическая станция (гражданская)
АМЦ Авиационный метеорологический центр
АНЗ Аэронавигационный запас топлива
АНИ Аэронавигационная информация
АОН Авиация общего назначения
АСК Аварийно - спасательная команда
АСР Аварийно - спасательные работы
АСС Аварийно - спасательная станция
АС УВД Автоматизированная система УВД
АТБ Авиационно - техническая база
АР Авиационные работы
АУ Аэродромный узел
АХР Авиационно - химические работы
АЦ УВД Аэродромный центр УВД
БАИ Бюро аэронавигационной информации
БПРМ Ближняя приводная радиостанция с радиомаркером
БСПС Бортовая система предупреждения столкновений
ВВС Военно - воздушные силы
ВВПЗ Высота визуального прерванного захода
ВДПП Вспомогательный диспетчерский пункт подхода
- ВЗП** Визуальный заход на посадку
ВК РУз Воздушный кодекс Республики Узбекистан
ВКК Высшая квалификационная комиссия
ВЛЭК Врачебно - летная экспертная комиссия
ВМДП Вспомогательный местный диспетчерский пункт
ВМУ Визуальные метеорологические условия
ВНГО Высота нижней границы облаков
ВПП Взлетно - посадочная полоса
ВПР Высота принятия решения
ВРЛ Вторичный радиолокатор
ВОРЛ Вторичный обзорный радиолокатор
ВРЦ ЕС УВД Вспомогательный районный центр ЕС УВД с правом (**ВРЦ УВД**) самостоятельного УВД или информации РЦ и (или) экипажей воздушных судов
ВРЦ ЕС УИВП Вспомогательный районный центр ЕС УИВП (**ВРЦ УИВП**)
ВС Воздушное судно
ВСДП Вспомогательный стартовый диспетчерский пункт
ВС РЦ ЕС УВД Военный сектор районного центра ЕС УВД

ВС РЦ ЕС УИВП Военный сектор районного центра ЕС УИВП
ВТ Воздушная трасса
ГА Гражданская авиация
ГВП Грунтовая ВПП
ГДПП Главный диспетчерский пункт подхода
ГосНИИ ГА Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации
ГСМ Горюче - смазочные материалы
ГС ГЦ ЕС УВД Гражданский сектор главного центра ЕС УВД
ГЦ ЕС УВД Главный центр ЕС УВД
ДПК Диспетчерский пункт круга
ДПК МВЛ Диспетчерский пункт круга МВЛ
ДПП Диспетчерский пункт подхода
ДПР Диспетчерский пункт руления
ДПРМ Дальняя приводная радиостанция с маркером
ДПСД Диспетчерский пункт системы посадки (в аэропортах, где ПДП и ДПК совмещены)
ЕС УВД Единая система управления воздушным движением (в СНГ)
ЕС УИВП Единая система управления использованием воздушного пространства (в Республике Узбекистан)
ЗЦ ЕС УВД Зональный центр ЕС УВД
ИАС Инженерно-авиационная служба
ИВП ВПП с искусственным покрытием
ИПП Инструкция по производству полетов в районе аэродрома (аэроузла)
КВ Короткие волны
КДП Командно-диспетчерский пункт
КДП МВЛ Командно-диспетчерский пункт местных воздушных линий
КТА Контрольная точка аэродрома
ЛМО Летно-методический отдел
ЛИП Летно-испытательное подразделение
ЛЭП Линия электропередачи
МБВ Минимальная безопасная высота
МБУ Морская буровая установка
МВК ЕС УВД Межведомственная комиссия ЕС УВД
МВЛ Местная воздушная линия
МВС Минимальная высота снижения
МДП Местный диспетчерский
МСС Медико-санитарная служба
МСЧ Медико-санитарная часть
НГЭА Нормы годности эксплуатации аэродромов
НМО ГА Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации
НОТАМ Извещение пилотам о состоянии аэродромов, радиотехнических средствах, системах посадки и т.д.

НТЭРАТ ГА Наставление по технической эксплуатации и ремонту авиационной техники в гражданской авиации
ОВД Обслуживание воздушного движения
ОДВС Организация движения воздушных судов
ОВИ Огни высокой интенсивности
ОЛС Очень легкий самолет
ОМИ Огни малой интенсивности
ОПРС Отдельная приводная радиостанция
ОСП Оборудование системы посадки
"ПАН" Сигнал срочности
ПВО Противовоздушная оборона
ПВП Правила визуальных полетов
ПДО Производственно-диспетчерский отдел
ПДП Пункт диспетчера посадки
ПДСП Производственно-диспетчерская служба предприятия
ПДСА Производственно-диспетчерская служба авиакомпании
ПОД Пункт обязательных донесений
ППГЭА Правила полета в гражданской и экспериментальной авиации
ППЛС Программа подготовки летного состава
ППП Правила полетов по приборам
ПРД Посадочный радиолокатор
РВЦ УВД Район вспомогательного центра УВД
РВЦ УИВП Район вспомогательного центра УИВП
RVR Дальность видимости на ВПП
РД Рулежная дорожка
РДЦ Районный диспетчерский центр
РЛЭ ВС Руководство по летной эксплуатации воздушного судна
(МОМ, FCOM)
РМДП Район местного диспетчерского пункта
РМС Радиомаячная система посадки
РНТ Радионавигационная точка
РОЛР ГА Руководство по организации летной работы в ГА
РПА Руководитель полетов на аэродроме
RPL Повторяющийся план полета
РП АДЦ Руководитель полетов аэродромного диспетчерского центра
РПИП Руководство по производству испытательных полетов
РПР Руководитель полетов в районе УВД
РСБН Радиотехническая система ближней навигации
РСДН Радиотехническая система дальней навигации
РСП Радиолокационная система посадки
РТО Радиотехническое оборудование
РТС Радиотехнические средства
РУВД Район управления воздушным движением
РЦ Районный центр УВД
РЦ ЕС УВД Районный центр ЕС УВД

РЦ ЕС УИВП Районный центр ЕС УИВП
САИ Служба аэронавигационной информации
САР Специальные авиационные работы
СДП Стартовый диспетчерский пункт
СВС Сверхлегкое _____ воздушное судно
СОПГП Служба организации почтово-грузовых перевозок
СОПП Служба организации пассажирских перевозок
СПУ Самолетное переговорное устройство
ТА Транспортная авиация
ТВГ Точка входа в глиссаду
УВД Управление воздушным движением
УИВП Управление использованием воздушного пространства
УКВ Ультракоротковолновый
УЦ Учебный центр
УТЦ Учебно - тренировочный центр
ЦАИ Центра аэронавигационной информации
ЦВЛЭК Центральная врачебно-летная экспертная комиссия
ЦУАН Центр управления аэронавигации
БББ Международный сигнал срочности
ЭРТОС Эксплуатация радиотехнического оборудования и связи
ЭСП Эксплуатационный справочник пилота
QNH Атмосферное давление на аэродроме, приведенное к среднему уровню моря, выраженное в мм.рт.ст или в Мбар
QFE Атмосферное давление на уровне аэродрома (или на уровне порога ВПП) в мм.рт.ст или в Мбар
QNE Атмосферное давление, соответствующее уровню 760 мм.рт.ст(1013,2 Мбар)_

III. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Авиационные Правила Республики Узбекистан «Правила полетов гражданской и экспериментальной авиации в воздушном пространстве Республики Узбекистан» (АП РУз-91);
- 2.Руководство по организации воздушного движения (ПСК/ЦУАН/ОВД-01);
- 3.Р.М. Ахмедов, А.А. Бибутов, А.В. Васильев. Автоматизированные системы управления воздушным движением: новые информационные технологии в авиации. Санкт-Петербург, 2004;
- 4.Cir 326 AN/188 ICAO. Оценка наблюдения с использованием систем ADS-B и мультилатерации в целях обеспечения обслуживания воздушного движения и рекомендации по их внедрению. Монреаль, 2013

5. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации / Под ред. С.Г. Пятко, А.И.Красова. - СПб.: Политехника, 2004. – ISBN 5-7325-0779-5.

6. Под общей редакцией Мокшанова В.И. Проблемы организации воздушного движения. Безопасность полетов // Сборник научных трудов. Выпуск 4 / ГосНИИ «Аэронавигация», 2002. 114с.

Ресурсы интернета

1. www.avia.ru
2. http://www.elibrary.ru/menu_info.asp
3. <http://www.ge.com>
4. <http://www.pw.utc.com>
5. <http://www.rolls-royce.co.uk>
6. <http://www.uacrussia.ru>