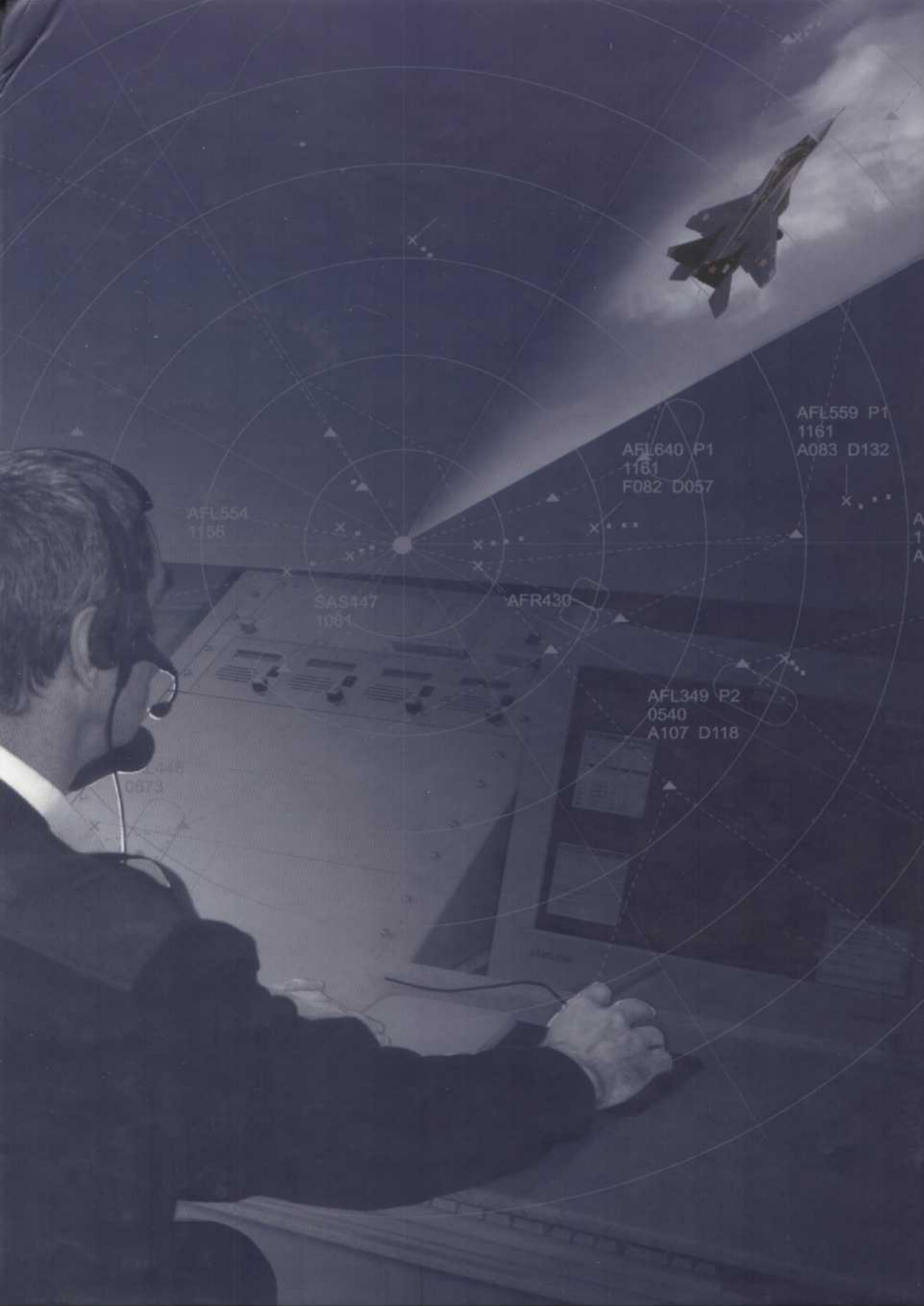


НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АВИАЦИИ

# АС УВД

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ  
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ





AFL554  
1158

SAS447  
1061

AFR430

AFL640 P1  
1161  
F082 D057

AFL559 P1  
1161  
A083 D132

AFL349 P2  
0540  
A107 D118

0673

A  
1  
A

# АС УВД

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ  
ВОЗДУШНЫМ  
ДВИЖЕНИЕМ**

---

**НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ В АВИАЦИИ**

Под редакцией доктора технических наук С. Г.  
Пятко и кандидата технических наук А. И. Красова

 **ПОЛИТЕХНИКА**  
**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  
Санкт-Петербург 2004

УДК  
351.814.334.3  
ББК 39.57 А18

Рецензенты доктор технических наук В.И. Мокшанов  
и кандидат технических наук В.А. Василенко  
(ГосНИИ «Аэронавигация»)

**Автоматизированные** системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации: Учеб. пособие /Р. М. Ахмедов, А. А. Бибутов, А. В. Васильев и др.; Под ред. С. Г. Пятко и А. И. Красова. — СПб.: Политехника, 2004. — 446 с: ил.

ISBN 5-7325-0779-5

Рассмотрены новые подходы к построению систем наблюдения, навигации и связи в соответствии с глобальной стратегией их развития после 2000 г, рекомендованной ИКАО. Изложены вопросы теории и практики создания АС УВД нового поколения, причем описываемые технические решения относятся к оригинальным.

Впервые в отечественной литературе рассмотрены системы АЗН-В, системы отображения на растровых мониторах, цифровые системы коммутации диспетчерской связи, системы регистрации информации. Приведены другие важные сведения, относящиеся к разработке и эксплуатации современных систем аэронавигации.

Книга предназначена для слушателей, курсантов и студентов высших и средних специальных учебных заведений гражданской авиации по специальностям «инженер по управлению движением» и «диспетчер по управлению воздушным движением», а также для переподготовки авиадиспетчеров, специалистов службы ЭРТОС, инструкторского состава учебно-тренажерных центров и др.

УДК  
351.814.334.3  
ББК 39.57

ISBN 5-7325-0779-5  
2004

© С. Г. Пятко, А. И. Красов,



## Предисловие

Эта книга была задумана как учебник, но по широте круга вопросов, в ней затрагиваемых, по глубине проработки новых идей и технических решений она не уступает иным научным монографиям. Это объясняется тем обстоятельством, что книга написана коллективом сотрудников фирмы «НИТА» («Новые информационные технологии в авиации», Санкт-Петербург) — лидера в разработке и производстве отечественных автоматизированных систем управления воздушным движением (АС УВД) нового поколения. Аппаратурой фирмы оснащено более 60 % от общего числа российских аэропортов и центров УВД.

Члены авторского коллектива во главе с д-ром техн. наук С. Г. Пятко, являясь разработчиками комплексов средств автоматизации и автоматизированных систем управления воздушным движением, имеют опыт преподавания в Академии гражданской авиации (Санкт-Петербург), руководимой д-ром техн. наук проф. Г. А. Крыжановским, и на курсах переподготовки диспетчеров службы движения.

Высокие информационные технологии явились той точкой опоры, которая позволила совершить, без преувеличения, переворот в сфере разработки радиоэлектронных средств УВД и создать системы нового поколения, принципиально отличающиеся от своих предшественников, описанных в учебниках 1990-х годов. Книга призвана закрыть брешь, образовавшуюся в научной и учебной литературе в этой предметной области.

В начале 1990-х годов в Академии гражданской авиации небольшая группа молодых энтузиастов, сплотившаяся вокруг д-ра техн. наук проф. В. М. Кейна, начала работы по созданию автоматизированных рабочих мест специалистов службы управления воздушным движением. В то время, пожалуй, никто не мог бы предвидеть, что в результате появится комплекс средств автоматизации (КСА) «Норд», а затем и АС УВД «Альфа». Именно эта система в книге принята в качестве базовой. Авторы книги знают ее «изнутри», что и определило обстоятельность и глубину изложения материала. Вместе с тем в книге нашел свое отражение как мировой опыт создания систем аэроконтроля, так и опыт отечественных разработчиков АС УВД нового поколения.

Прежде всего, это относится к разработкам, выполняемым под руководством Г. П. Бендерского, Ю. Г. Асатурова (ЛЭМЗ, Москва) и Б. А. Лапина (ВНИИРА-ОВД, Санкт-Петербург).

Книга имеет двойное назначение. Она задумывалась не только как учебник для студентов вузов, но и как пособие для специалистов службы движения, повышения их квалификации.

В соответствии с назначением книга состоит из двух частей — основной и дополнительной. Авторы ставили перед собой задачу в основной части так изложить вопросы автоматизации обработки информации при УВД, чтобы читатель мог легко разобраться в принципах построения существующих и перспективных систем аэроконтроля, особенностях их функционирования. Во вторую часть книги, оформленную в виде приложения, включен материал для углубленного изучения алгоритмов обработки информации, программных и аппаратных средств, а также приведены сведения справочного характера.

В указанной структуре и состоит главная особенность книги, отличающая ее от известных учебников и научных монографий.

Авторами книги являются: С. Г. Пятко (введение, гл. 1, 3 и 5); Р. М. Ахмедов (гл. 11); А. А. Бибутов (гл. 2); А. В. Васильев (гл. 19); Д. Ю. Воеводин (гл. 20); В. В. Должиков (гл. 16); Д. В. Казначеев (гл. 15 и 18); А. В. Смелков (гл. 8 и 9); Д. Н. Степанов (гл. 7); И. М. Танюхин (гл. 10). Глава 4 написана В. В. Должиковым совместно с А. А. Бибутовым (п. 4.4), гл. 6 — С. Д. Яновец совместно с А. О. Любезниковым (п. 6.4), гл. 12 — С. Г. Пятко совместно с И. М. Танюхиным (п. 12.3), О. А. Евтушенко (п. 12.4) и А. Е. Мельниковым (п.12.5), гл. 13 — Р. М. Ахмедовым и С. Г. Пятко (п. 13.1.2 и 13.4), гл. 14 — С. Г. Пятко (п. 14.1), О. А. Евтушенко (п. 14.2 и 14.3) и И. В. Бутенко (п. 14.3.4 и 14.4), гл. 17 — И. В. Бутенко совместно с А. А. Бибутовым (п. 17.3). Приложения составлены А.И. Красовым и С. Г. Пятко.

При написании книги авторы опирались на коллективный труд сотрудников фирмы «НИТА», дружескую поддержку ведущих специалистов по организации воздушного движения и видных ученых в области теории навигации, наблюдения и авиационной связи. Всем им от имени авторов — искренняя благодарность.

Авторы благодарны специалистам ГосНИИ «Аэронавигация», Международного авиационного комитета (МАК) Госкорпорации по УВД и ГС ГА за плодотворное сотрудничество при сертификации техники и ее внедрении на предприятиях гражданской авиации.

Особую признательность авторы должны выразить А. А. Копцеву, В. А. Корчагину и И. А. Соловьеву за конструктивные советы и замечания, которые были высказаны в процессе совместной работы и немало способствовали улучшению характеристик аппаратуры.

Авторы четко осознают, сколь велика в совершенствовании систем аэроконтроля роль специалистов эксплуатационных предприятий и особенно работников «Аэронавигации Севера Сибири», которые приняли активное участие во внедрении первых образцов новых комплексов. Без их помощи и поддержки фирма «НИТА» вряд ли смогла бы создать современную АС УВД в столь короткие сроки. За это им — большая благодарность.

Авторы считают своим приятным долгом выразить также глубокую признательность рецензентам книги д-ру техн. наук проф. В. И. Мокшанову и канд. техн. наук В. А. Василенко, а также д-ру техн. наук проф. В. П. Ипатову и д-ру техн. наук проф. П. В. Олянюку, которые внимательно ознакомились с разработками фирмы «НИТА» и другими материалами, положенными в основу книги, и сделали ряд ценных замечаний.

Наряду с авторами в работе над основным материалом книги и приложением принимали участие К. Е. Голубь, С. А. Изъюрлов, А. А. Сидоров и другие сотрудники фирмы «НИТА».

*А. И. Красов Санкт-Петербург, октябрь 2003 г.*

## 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 и их протяженности.

Три основных показателя, а именно безопасность, регулярность и экономичность полетов, тесно связаны друг с другом и существенно зависят от эффективности УВД. Радикальным методом решения возникающих при этом проблем, как было выяснено еще в 50-х годах XX века, является автоматизация сбора, передачи и обработки информации о воздушной обстановке.

Основной и главной составляющей частью первых автоматизированных систем управления воздушным движением были средства радиолокационного наблюдения, мощным стимулятором развития которых стала Вторая мировая война.

Однако реальная возможность создания АС УВД появилась лишь когда цифровые вычислительные машины (ЦВМ) стали достаточно совершенными.

Работы в этом направлении, интенсивно проводившиеся в 60-е годы прошлого века, привели к созданию в США одной из наиболее совершенных АС УВД первого поколения, получившей название ARTS (Airport Radar Terminal System). Она была предназначена для установки в аэропортах с интенсивным воздушным движением и выпускалась в нескольких модификациях. Впервые прототип системы ARTS был испытан в аэропорту г. Атланты в 1965 г.

Наибольшее распространение в США в то время получил вариант системы ARTS-3, разработанный фирмой Sperry Rand Univac Division и впервые испытанный в 1971 г. в аэропорту О'Хага. Модификация ARTS-2 разрабатывалась фирмой Lockheed Electronics Co, Inc и была предназначена для аэропортов со средней интенсивностью движения.

В состав системы входили две довольно мощные (для того времени) ЦВМ типа UNIVAC 1219-B. Было разработано шесть вариантов системы, соответствующих различным степеням (категориям) автоматизации. Они предназначались для работы в качестве аэродромных и аэроузловых при различной интенсивности ВД, в связи с чем акроним ARTS получил более универсальную расшифровку: Automated Radar Terminal System. К 1980 г. общее число аэропортов США, оснащенных этими системами, достигло 200.

В Великобритании в 1972 г. была введена в эксплуатацию АС Mediator с тремя ЦВМ типа Miriad-1 фирмы Marconi. В аэропорту г. Монреаля (Канада), «столице» ИКАО, в 1975 г. была создана объединенная аэродромно-трассовая система JETS, и примерно в то же время появились АС УВД во Франции, Швеции и других странах.

Первая отечественная аэродромная система «Старт» полностью была введена в эксплуатацию в аэропорту Пулково (Ленинград) в 1975 г. и впоследствии установлена в АП Сочи, Краснодара, Волгограда и др.

В 1980-1981 гг. был введен в строй комплекс АС УВД «Теркас» (шведского производства), а в Симферополе установлена районная система «Трасса». С 1990 г. проводились пусконаладочные работы и испытания АС УВД «Спектр» в аэропорту Пулково, которая должна была заменить морально и физически устаревший «Старт»; другая районная АС УВД типа «Стрела» была передана в эксплуатацию в 1992 г. в аэропорту Ростова.

Следует признать, что АС УВД, которые выпускались в СССР, по своим тактико-техническим характеристикам уступали зарубежным аналогам. Это отставание вызывалось рядом причин, среди которых были недостаток вычислительных ресурсов и устаревшая элементная база, низкая культура и затратный принцип производства, отсутствие экономических стимулов и слабая восприимчивость к новым идеям, недостатки планового метода управления и распределения ресурсов и др.

Еще в 1975 г. В. М. Кейн в книге «Радиотехнические средства управления воздушным движением» писал: «Уже в настоящее время существует принципиальная возможность построения полностью автоматической системы УВД, работающей без участия человека-оператора, <.. > роль

диспетчера в такой системе сводится только к контролю исправности системы. Вмешательство в ее работу необходимо лишь при возникновении ситуаций, не предусмотренных программой обработки информации». Однако при реализации такой полностью автоматической системы возникли серьезные трудности как технического, так и технологического, психологического, юридического и иного порядка.

В настоящее время область обеспечения воздушного движения принадлежит к тем немногим отраслям народного хозяйства Российской Федерации, которые в условиях перехода к рыночной экономике и структурных преобразований переживают период радикального и интенсивного технического обновления на основе новых информационных технологий. Это объясняется рядом обстоятельств. Несмотря на существенное снижение объема внутренних воздушных перевозок, интенсивность воздушного движения в ряде регионов даже выросла. Одна из причин состоит в большей открытости и, как следствие, в увеличении количества трансконтинентальных трасс и объема международных перевозок. С другой стороны, международный характер воздушного движения и интеграция РФ в мировую систему воздушного транспорта требуют повышения уровня аэронавигационного обслуживания и безопасности полетов, приведения их в соответствие с международными требованиями ИКАО и Евроконтроля и новой стратегией CNS/ATM. Все это невозможно без модернизации и коренного обновления морально и физически устаревших технических средств аэронавигации и управления воздушным движением.

Отечественные автоматизированные системы управления воздушным движением, разработанные в прошлом, такие как «Старт», «Стрела», «Трасса», «Спектр», хотя и не получили широкого распространения в качестве аэродромных или районных систем, сыграли свою роль, однако к настоящему времени безнадежно устарели. Это же относится и к аэроузловой системе «Теркас», на которую в свое время возлагались большие надежды.

Создание нового поколения автоматизированных систем управления воздушным движением (АС УВД) и комплексов средств автоматизации обработки информации (КСА) стало возможным благодаря разработке новых информационных технологий на базе современных программных и аппаратных компьютерных средств. Научную базу разработок составляют методы теории управления, наблюдения и обработки информации. Возможности современных компьютерных систем позволяют реализовать алгоритмы и программы как приложения фундаментальных математических теорий, которые еще недавно были недоступны для использования в АС УВД и по этой причине (как полагали разработчики информационных систем) причислялись к категории абстрактных. Это относится в первую очередь к двум ветвям математической теории управления-наблюдения в условиях неопределенности: к теории дифференциальных игр и теории последовательных статистических правил принятия решений.

В области теории и практики автоматизации процессов УВД, разработки и эксплуатации систем наблюдения и аэронавигационного обеспечения известны работы Т. Г. Анодиной, А. А. Кузнецова, Е. Д. Марковича, В. М. Кейна, Г. А. Крыжановского, В. И. Мокшанова, П. В. Олянюка, В. И. Савицкого и др. Большой вклад в общую идеологию построения авиационных систем управления, навигации, наблюдения и связи сделан Е. А. Федосовым. Основой разработки алгоритмического и программного обеспечения АС УВД являются работы В. А. Лихарева, С. З. Кузьмина, Р. Сингера и других авторов.

Реализованные в ранее разработанных АС УВД алгоритмы первичной и вторичной обработки радиолокационной информации основаны на спектрально-корреляционных методах фильтрации и оценивания (в частности, использующих критерий Неймана-Пирсона).

Вместе с тем в радионавигационных и радиолокационных системах при обнаружении и измерении сигналов стали применяться более эффективные процедуры, основанные на статистической теории решений и проверке гипотез (П. А. Бакут, И. А. Большаков, Ю. Г. Сосулин, А. Г. Тартаковский, М. М. Фишман, М. С. Ярлыков и др.).

Новые результаты в разработке алгоритмов обнаружения, оценивания и классификации сигналов были получены А. К. Розовым. Они основаны на теории оптимальных правил остановки (А. Н. Ширяев, Г. Роббинс и др.).

Наряду с вероятностным, существует иной, детерминистский подход, основанный на построении информационных множеств. Его истоки лежат в математической теории управления и наблюдения в условиях неопределенности и конфликта. Этот подход развивается в работах Н. Н. Красовского, А. Б. Куржанского, А. И. Субботина, В. Н. Ушакова и др. Ряд результатов не только

технического, но, что особенно важно, и прикладного характера получены В. С. Пацко и С. И. Кумковым.

Привлекательной стороной такого подхода, пока еще не нашедшего широкого применения, является то, что он обеспечивает получение, при определенных условиях, гарантированного результата управления и наблюдения и придает тем самым системе свойства робастности.

Интерес к исследованиям в этом направлении как теоретического, так и прикладного характера непрерывно возрастает и в нашей стране, и за рубежом.

Методологическую основу создания современных систем УВД составляют *новые информационные технологии*. Их реализация базируется на широком использовании стандартных аппаратных и программных средств современных вычислительных систем, включающих серверы, видеомониторы, адаптеры, модемы и другое оборудование. Совокупность приемов и методов физической реализации таких систем и составляет *информационное конструирование*.

Для повышения эффективности разработки и эксплуатации таких наукоемких изделий, как системы УВД, в последние годы применяются информационные технологии PDM (Product Data Management) и CALS (Continuous Acquisition and Life-cycle Support). Если первая из них имеет целью повысить эффективность управления при создании изделия, то задача второй — обеспечить эффективность не только разработки изделия, но и эксплуатации на всем протяжении его жизненного цикла.

Многие идеи, заложенные в основу указанных информационных технологий, нашли свое отражение в образцах систем аэроконтроля, сведения о которых приводятся в книге.

## Список основных условных сокращений.

|          |   |      |  |
|----------|---|------|--|
| АДП      | аэродромный диспетчерский пункт                           | ИКАО | Международная организация гражданской авиации      |
| АДЦ      | аэродромный диспетчерский центр                           | ИКО  | индикатор кругового обзора                         |
| АНО      | аэронавигационное обслуживание                            | ИМ   | информационное множество                           |
| АП       | аэропорт  | ИТ   | информационные технологии                          |
| АПД      | аппаратура передачи данных                                | КДП  | командно-диспетчерский пункт                       |
| АПОИ     | аппаратура первичной обработки информации                 | КС   | конфликтная ситуация                               |
| АРАС     | аэродромно-районная                                       | КСА  | комплекс средств автоматизации                     |
| АРМ      | автоматизированное рабочее место                          | КТС  | комплекс технических средств                       |
| АРП      | авиационный радиопеленгатор                               | ЛА   | летательный аппарат                                |
| АС УВД   | автоматизированная система управления воздушным движением | ЛАЗ  | линейно-аппаратный зал                             |
| БД       | база данных   | ЛЗП  | линия заданного пути                               |
| БНК      | бортовой навигационный комплекс                           | ЛПД  | линия передачи данных                              |
| БНС      | бортовая навигационная система                            | ЛТХ  | летно-технические характеристики                   |
| ВВС (ВА) | военно-воздушные силы (военная авиация)                   | МАИ  | малые азимутальные импульсы                        |
| ВД       | воздушное движение  | МАК  | Межгосударственный авиационный комитет             |
| ВП       | воздушное пространство                                    | МБ   | множество безопасности                             |
| ВПП      | взлетно-посадочная полоса                                 | МВЛ  | местные воздушные линии                            |
| ВРЛ      | вторичный радиолокатор                                    | МВРЛ | моноимпульсный вторичный радиолокатор              |
| ВС       | воздушное судно   | МДП  | местный диспетчерский пункт                        |
| ВСУП     | вычислительная система управления полетом                 | МН   | множество неопределенности (замера)                |
| ВТ       | воздушная трасса  | МП   | множество прогноза (достижимости)                  |
| ГА       | гражданская авиация                                       | МРЛ  | метеорологический радиолокатор                     |
| ГГС      | громкоговорящая связь                                     | МРО  | мультирадарная обработка информации                |
| ГСГА     | Государственная служба гражданской авиации РФ             | НГ   | нормы годности                                     |
| ДВО      | динамическая воздушная обстановка                         | НПК  | навигационно-пилотажный комплекс                   |
| ДНА      | диаграмма направленности антенны                          | ОВД  | обслуживание воздушного движения                   |
| ДПК      | диспетчерский пункт круга                                 | ОП   | оперативная память                                 |
| ДПП      | диспетчерский пункт подхода                               | ОПИ  | обработка плановой информации                      |
| ДПР      | диспетчерский пункт руления                               | ОПП  | обработка планов полетов                           |
| ДПС      | диспетчерский пункт старта                                | ОРЛ  | обзорный радиолокатор                              |
| ЕСОрВД   | единая система организации воздушного движения            | ОРМ  | оборудование рабочего места                        |
| ЗИ       | зондирующий импульс                                       | ОС   | операционная система                               |
| ИВО      | индикатор воздушной обстановки                            | ПВД  | планирование воздушного движения                   |
| ИВС      | информационно-вычислительная система                      | ПВП  | правила визуальных полетов                         |
|          |   | ПДСП | планово-диспетчерская служба перевозок             |
|          |   | ПИВП | планирование использования воздушного пространства |

|         |   |          |   |
|---------|---|----------|---|
| ПКС     | потенциально конфликтная ситуация   | СЕВ      | система единого времени                                   |
| ПО      | программное обеспечение   | СК       | система координат   |
| ПОД     | пункт обязательного донесения   | СКП      | средняя квадратическая погрешность                        |
| ППЛ     | предварительный план полета   | СМО      | специальное математическое обеспечение                    |
| ППМ     | поворотный пункт маршрута   | СОБД     | система обеспечения безопасности данных                   |
| ППП     | правила полетов по приборам   | СОИ      | система отображения информации                            |
| ПРЛ     | первичный радиолокатор  | СП       | система посадки   |
| РА      | район аэродрома   | СРНС     | спутниковая радионавигационная система                    |
| РЛИ     | радиолокационная информация   | СРС      | система речевой связи                                     |
| РЛК     | радиолокационный комплекс   | ТС       | техническое средство                                      |
| РЛП     | радиолокатор посадочный   | УВД      | управление воздушным движением                            |
| РЛС     | радиолокационная станция  | ФАА      | Федеральная Авиационная администрация (FAA)               |
| РТО     | радиотехническое оборудование   | ЦКС      | центр коммутации сообщений                                |
| РТОП    | радиотехническое обеспечение полетов  | ЦУП      | центр управления полетами (объединенный центр УВД)        |
| РЦ      | районный центр  | СДЦ      | селекция движущихся целей                                 |
| РЦУВД   | районный центр УВД  |          | частноортодромическая система координат                   |
| ADS     | автоматическое зависимое наблюдение   | GATSS    | глобальная система авиатранспортного обслуживания         |
| AES     | бортовая система спутниковой связи  | GLONASS  | глобальная навигационная спутниковая система              |
| AMSS    | авиационная подвижная спутниковая служба  | GPS      | глобальная спутниковая система определения местоположения |
| ANNS    | аэронавигационное спутниковое наблюдение  | ILS      | инструментальная система посадки                          |
| AOC     | авиационная оперативная связь   | MLS      | микроволновая система посадки                             |
| ATC     | управление воздушным движением  | ПАК      | посадочная РЛС  |
| ATM     | обеспечение (организация) воздушного движения   | RNAV     | зональная навигация                                       |
| ATN     | авиационная телесвязь   | SARPS    | рекомендуемая практика                                    |
| CIS     | кооперативное независимое наблюдение  | SID/STAR | стандартные траектории на вылет и прилет                  |
| CNS/ATM | связь, навигация, наблюдение в системе обеспечения воздушного движения (стратегия развития СНН/ОВД) | STDMA    | самоорганизующаяся система разделения времени             |
| FANS    | аэронавигационная система будущего  | TCC      | аэроузловые центры  |
| FIR     | район УВД   | JCAS     | бортовая система предотвращения столкновений (СПС)        |
| FMS     | бортовая система управления полетом   | USD      | разработка, ориентированная на пользователя               |
|         |   | VDL      | СВЧ цифровая линия передачи данных                        |
|         |   | VHF      | СВЧ связь   |



**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОРГАНИЗАЦИИ И  
ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ**

# Глава 1. ИНФОРМАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ В ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

## 1.1. Движение в воздушном пространстве

### 1 1.1. Структура воздушного пространства

Движение летательных аппаратов, в том числе и воздушных судов (ВС), происходит в воздушном пространстве. *Воздушное пространство* (ВП) — область физического пространства над сухопутной территорией страны, внутренними водными бассейнами и водами морей и океанов, примыкающих к сухопутной территории.

Введем основные понятия, относящиеся к выполнению полетов в ВП. (Полный список терминов содержится, например, в «Федеральных правилах использования воздушного пространства Российской Федерации».)

*Воздушное движение* — это перемещение в пространстве воздушных судов, находящихся в полете или на площади маневрирования аэродрома.

*Использование воздушного пространства* (ИВП) — деятельность, в процессе которой осуществляется перемещение в ВП разного рода материальных объектов (воздушных судов, ракет или иных подвижных объектов), а также другая деятельность, которая может создавать помехи движению в ВП (строительство высотных сооружений, выброс в атмосферу веществ, ухудшающих видимость, генерирование электромагнитных и других излучений, проведение взрывных работ, искусственное создание атмосферных возмущений и т. п.).

*Структура воздушного пространства* — совокупность ограниченных в вертикальной и горизонтальной плоскостях элементов ВП, предназначенных для организации его рационального использования.

Под *организацией воздушного пространства* следует понимать установление рациональной структуры ВП в целях его эффективного использования.

*Организация использования воздушного пространства* — обеспечение безопасного, экономичного и регулярного воздушного движения, а также другой деятельности по использованию воздушного пространства, в том числе:

- установление структуры воздушного пространства;
- \* планирование и координирование использования ВП;
- \* обеспечение разрешительного порядка использования ВП;
- \* контроль за соблюдением правил использования ВП.

Эти функции осуществляются *органами единой системы организации воздушного движения Российской Федерации* (ЕС ОрВД, соответствующий международный термин ATM — Air Traffic Management): Межведомственной комиссией по использованию ВП РФ, зональными межведомственными комиссиями по использованию ВП, Управлением по использованию воздушного пространства и управлению воздушным движением Министерства обороны, Управлением государственного регулирования организации воздушного движения Федеральной службы воздушного транспорта, оперативными органами ЕС ОрВД.

Структура ВП устанавливается в соответствии с Воздушным кодексом Российской Федерации, Федеральными правилами использования ВП Российской Федерации и включает следующие элементы:

- \* зоны и районы ЕС ОрВД;
- \* воздушное пространство приграничной полосы;
- \* районы аэродромов и аэроузлов;
- воздушные трассы и местные воздушные линии;
- \* маршруты полетов;
- \* спрямленные воздушные трассы;
- \* воздушные коридоры пролета государственной границы РФ;
- \* коридоры входа (выхода) на воздушные трассы;

- \*специальные зоны полетов ВС;
- \*запретные зоны;
- \*зоны ограничений полетов;
- \*опасные зоны (районы пуска и падения ракет и их отделяемых частей);
- \* районы полигонов, взрывных работ, противоградовых стрельб, производства авиационных работ и специальные районы.

Границы элементов структуры ВП устанавливаются по географическим координатам и высотам. Они указываются в соответствующих инструкциях и публикуются в документах аэронавигационной информации (AIP). Элементы структуры наносятся на радионавигационные карты.

### 1.1.2. Разделение воздушного пространства.

#### Характеристики основных элементов

Воздушное пространство подразделяется на нижнее и верхнее с границей между ними — высотой 6100 м (которую относят к верхнему пространству). По высоте выполнения полетов в воздушном пространстве выделяются:

- \*предельно малые высоты — от 0 до 200 м включительно над рельефом местности или водной поверхностью;
- \*малые высоты — свыше 200 до 1000 м включительно;
- \*средние высоты — свыше 1000 до 4000 м включительно; -
- \*большие высоты — свыше 4000 до 12 000 м включительно;
- \* стратосфера — свыше 12 000 м и до стратопаузы включительно (рис. 1.1).

При полете воздушные суда должны выполнять нормы эшелонирования (см. приложение 1).

Рассмотрим основные элементы структуры воздушного пространства. *Зона (район) ЕС ОрВД*— наиболее крупные (по площади) и сложные по внутренней структуре элементы ВП, включающие другие элементы (из перечисленных ниже). Зона (районы) ЕС ОрВД представляет собой часть ВП установленных размеров. Планирование и координирование использования ВП, организации воздушного движения, обеспечения разрешительного порядка использования и контроля за соблюдением правил использования в своей зоне ответственности осуществляет *Зональный (вспомогательный) центр*— ЗЦ (ВЗЦ) ЕС ОрВД.

Зона ЕС ОрВД обычно включает несколько районов ЕС ОрВД. В каждом из них свой Районный центр (РЦ ЕС ОрВД) осуществляет аналогичные функции в выделенном объеме воздушного пространства.

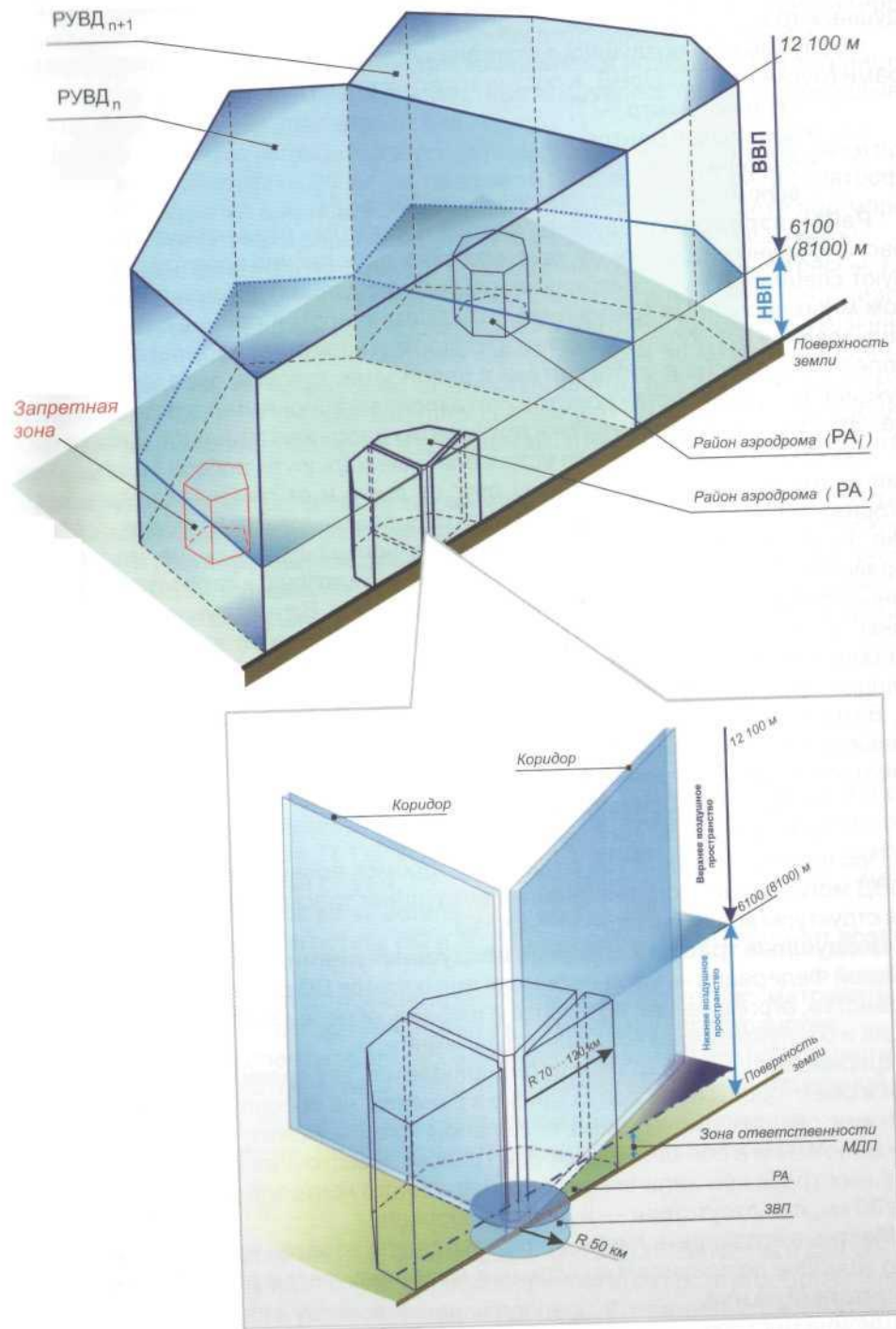


Рис. 1.1. Разделение и элементы воздушного пространства

В настоящее время структура ВП России характеризуется следующими показателями: обслуживаемая территория — 25 млн кв. км, протяженность воздушных трасс — 600 тыс. км.

Обслуживание воздушного движения осуществляется оперативными центрами (органами) ЕС ОрВД, в состав которых входят:

- \* главный центр — 1;
- \* зональные центры — 7,
- \* районные центры — 71;
- \* вспомогательные районные центры — 47.

**Район аэродрома.** Границы *района аэродрома* (или аэроузла, т.е. близко расположенных аэродромов, организация и выполнение полетов с которых требуют специального согласования и координирования) устанавливаются с учетом многочисленных требований, стандартов, норм и процедур в области использования ВП. Характеристики аэродрома (аэроузла) должны обеспечивать полет в его районе в соответствии с правилами, которые определяются инструкцией по производству полетов или аэронавигационным паспортом аэродрома. Эти сведения публикуются в документах аэронавигационной информации.

*Аэродромные зоны*, а также установленные маршруты набора высоты, снижения и захода на посадку удалены друг от друга и от границ воздушных трасс в горизонтальной плоскости при наличии радиолокационного контроля на расстояние не менее 10 км, а без радиолокационного контроля — не менее 20 км. В районах аэродрома (аэроузлов) с ограниченным воздушным пространством указанные величины могут быть уменьшены в два раза. В этих случаях аэродромные зоны, установленные маршруты набора высоты, снижения и захода на посадку должны быть удалены друг от друга и от границ воздушных трасс и местных воздушных линий (МВЛ) в вертикальной плоскости на расстояние не менее 600 м.

В отдельных случаях при выполнении полетов ВС в аэродромных зонах по правилам визуальных полетов со скоростью 300 км/ч и меньше могут устанавливаться значения ограничений (не менее): в вертикальной плоскости — 300 м; в горизонтальной плоскости — 5 км.

При выполнении полетов с таких аэродромов военные секторы центров ЕС ОрВД могут вводить ограничения на воздушных трассах МВЛ и других элементах структуры воздушного пространства.

**Воздушные трассы и местные воздушные линии.** *Воздушная трасса* Российской Федерации — установленная для полетов ВС область воздушного пространства, ограниченная по высоте и ширине, обеспеченная средствами навигации и обслуживанием воздушного движения.

Ширина воздушной трассы устанавливается, как правило, равной 10 км (по 5 км в обе стороны от ее оси). Однако в районах, не обеспеченных радиотехническими средствами, ширина воздушной трассы может быть увеличена до 20 км (по 10 км в обе стороны от оси трассы). Расстояние между осями параллельных трасс при наличии радиолокационного контроля должно быть не менее 30 км, при отсутствии — в два раза больше.

Местные воздушные линии открываются для полетов на высотах ниже нижнего эшелона по правилам визуальных полетов с учетом рельефа местности и препятствий на ней.

Ширина местной воздушной линии устанавливается не более 4 км. Местные воздушные линии разрабатываются территориальными органами Федеральной службы воздушного транспорта. Оборудование МВЛ необходимыми средствами навигации и обслуживание воздушного движения также производится территориальными органами Федеральной службы воздушного транспорта.

*Маршруты воздушных судов* устанавливаются в воздушном пространстве для полетов вне воздушных трасс и местных воздушных линий и прокладываются на определенном удалении от них.

Ширина маршрута устанавливается: при выполнении полета на малых и предельно малых высотах — 20 км, на средних и больших — 40 км, в стратосфере — 50 км. Такая же ширина в 50 км устанавливается при полете над морем (океаном) при отсутствии радиолокационной видимости береговой черты.

Если ось маршрута располагается параллельно оси воздушной трассы, т. е. на одном эшелоне, расстояние между этими осями должно превышать ширину маршрута. Так, при наличии радиолокационного контроля для высот, указанных выше, это расстояние должно быть не менее 35, 45 и 50 км соответственно, а над морем — 50 км независимо от высоты полета. Без радиолокационного контроля ограничения увеличиваются и составляют 65, 75 и 80 км (последняя величина устанавливается также и для всех высотных полетов над морской поверхностью).

Мы кратко рассмотрели наиболее важные элементы воздушного пространства. Кроме того, существуют такие элементы, как, например, воздушный коридор пролета государственной границы, используемый для международных полетов, параметры которых соответствуют параметрам трасс и маршрутов.

Все элементы воздушного пространства по определению имеют ограниченный объем.

### 1.13. Пропускная способность элемента воздушного пространства

Все воздушные суда движутся в воздушном пространстве с конечными скоростями. Они должны выдерживать безопасные интервалы и нормы эшелонирования (см. приложение 1). Поскольку всякий элемент воздушного пространства имеет ограниченный объем, то, следовательно, он может одновременно «вместить» ограниченное количество воздушных судов.

Рассмотрим описание потока ВС и его прохождение через элемент воздушного пространства.

Как и в любой транспортной системе, поток ВС следует рассматривать как упорядоченное движение материальных тел в реальном пространстве.

Выделим внутри элемента некоторый ограниченный объем пространства  $P$ , в котором перемещается материя (поток) в количестве  $Q$  с поступательной (путевой) скоростью  $V$ , вектор которой направлен вдоль оси элемента.

Тогда, по определению, плотность потока задается соотношением

$$\rho = Q/P. \quad (1.1)$$

При  $V = \text{const}$  выражение (1.1) справедливо как для  $Q = \text{const}$ , так и для  $Q = \text{var}$ . Иными словами, речь идет о мгновенном значении плотности  $\rho(t)$ . При  $Q = \text{const}$  и  $\rho = \text{const}$  имеет место установившийся процесс. Естественно рассматривать изменение  $Q$  как результат дисбаланса между притекающим (или втекающим) и вытекающим из него потоками. Пусть за время  $dt$  притекающий поток равен  $dQ^i$ , а вытекающий  $dQ^o$ . Тогда интенсивность втекающего и вытекающего потоков равны соответственно

$$\lambda^i = \frac{dQ^i}{dt} \text{ и } \lambda^o = \frac{dQ^o}{dt}. \quad (1.2)$$

Очевидно, что  $dQ = dQ^i - dQ^o$  и при  $A, ' = X^o = X$   $Q = \text{const}$ .

В этом (стационарном) случае  $A$  есть интенсивность проходящего потока.

Приведенные определения являются обобщениями известных понятий. На практике интенсивность и плотность ВД вычисляются по числу «входящих» и «выходящих» (прилетающих и вылетающих) ВС.

Дифференциальная форма, вообще говоря, более удобна при записи соотношений (законов), связывающих переменные и параметры. Однако учет целочисленности количества транспортных средств (самолетов и вертолетов) в ряде случаев необходим, и тогда используется соответствующая запись в конечных разностях. В частности, величинах, обратная интенсивности  $X$  ( $\tau = 1/A$ ), тогда имеет обычный смысл интервала времени между наступлением двух событий, а именно поступлением следующих друг за другом (смежных) транспортных средств:

$$\tau = t_i - t_{i-1} = \tau(t_i),$$

где  $i$  — порядковый номер в потоке.

Если интервал постоянен, т. е.  $T(t_i) = \text{const}$ , то интенсивность  $A$  имеет смысл частоты.

Основное внимание в дальнейшем будет уделяться воздушным трассам и их элементам (см. табл. 1.1). Начало и конец участка трассы может совпадать с любым из этих элементов.

Рассмотрим участок трассы на данном эшелоне фиксированной длины (протяженности)  $L$  (рис. 1.2). С учетом ограниченности ширины трассы и невозможности «обгона» при полете на одном эшелоне в качестве параметра, соответствующего объему  $P$  (см. формулу 1.1), выступает его длина  $L$ . Обозначим интенсивность втекающего (притекающего) и вытекающего потоков через  $X$  и  $A,^o$  соответственно.

Параметры  $X^I$  и  $X^O$ , вообще говоря, являются функциями времени  $A,^I(t)$  и  $A,^O(t)$ , но для краткости записи время  $t$  в этих обозначениях опускается.

Выражению (1.1) соответствует средняя (интегральная) плотность  $\rho = Q/L$ , а при неравномерном распределении ВС по длине трассы — дифференциаль-

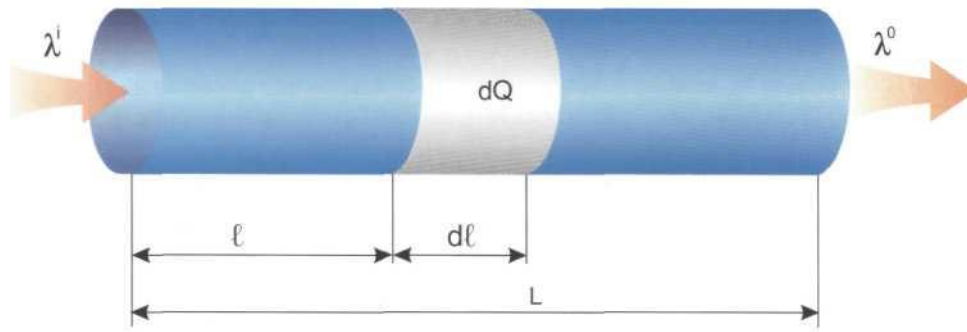


Рис. 1.2. Параметры траекторного потока

ная плотность  $\rho = dQ/d\ell$ , которая в общем случае отличается от интегральной. Представим последнее выражение в виде  $dQ = \rho d\ell$  и, разделив его левую и правую части на приращение  $dt$ , получим:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{d\ell}{dt} \rho.$$

Заменив в соответствии с (1.2) левую часть на  $\lambda$ , и учитывая, что  $d\ell/dt = V$  — скорость движения по трассе, получим хорошо известную формулу:

$$\lambda = V\rho. \quad (1.3)$$

Строго говоря, это соотношение имеет место для установившегося процесса при условии  $A,^I = X^O = X$ . Очевидно также, что в этом случае и при  $V = \text{const}$  средняя (интегральная) и дифференциальная плотности равны.

Из соотношений (1.1) и (1.3) следует

$$\lambda = \frac{Q}{L} V \text{ и } Q = \lambda \frac{L}{V} = \lambda \theta,$$

где «КУ»  $= L/V$  — длительность полета на расстояние  $L$ .

В соответствии с летно-техническими характеристиками ВС обычно выделяется несколько высотных слоев, оптимальных для определенных типов самолетов. Так, для верхнего пространства скорость  $V$  может быть равной 900 км/ч, для среднего 750 км/ч, а для нижнего 475 км/ч. В связи с этим можно допустить, что каждой трассе (или участку трассы) соответствует вполне определенная скорость  $V$ . Рассмотрим влияние разброса фактических скоростей.

Предположим, что ВС могут быть разноскоростными, и пусть  $V_1$  и  $V_2$  — минимальная и максимальная скорости ВС, а в этом диапазоне скорости распределены по равномерному закону.

Примем в этом случае

$$V = (V_2 + V_1)/2, \\ \Delta V = V_2 - V_1.$$

Тогда максимальная девиация интервала в конце участка трассы длиной  $L$  (при условии, что интервал на входе  $\tau = 1/A$ ), равна:

$$\Delta\tau = \frac{L(V_2 - V_1)}{V_2 V_1} = \frac{L\Delta V}{V^2 - 0,25\Delta V^2}.$$

Тогда в величине пропускной способности следует учесть коэффициент  $1/(1 + \Delta\tau\lambda)$ . Для пуассоновских потоков известен другой способ учета разброса скоростей ВС в потоке. (За подробными разъяснениями читателю следует обратиться к рекомендованной литературе.)

Итак, в качестве двух основных параметров, характеризующих рассматриваемый элемент ВП — участок трассы, целесообразно принять его протяженность (длину  $L$ ) и скорость



движения по трассе  $V$  или их отношение  $\theta = L/V$ . Эту величину можно трактовать как «временную длину», т. е. параметр, имеющий размерность времени.

Нетрудно видеть, что выведенные соотношения применимы не только к воздушным трассам, но также и к местным воздушным линиям, маршрутам, коридорам, т. е. к тем элементам, в которых поток не может задерживаться. Такие элементы, как аэропорты, в которых происходит «накопление» воздушных судов, требуют для своего анализа иного подхода.

В простом случае *однородного* потока, когда ВС имеют одну и ту же скорость и строго выдерживают одинаковые интервалы между собой, равные  $d_0$ , для плотности получаем очевидное соотношение  $\rho = 1/d_0$ , а для интенсивности потока  $X = V/d_0$ .

По определению, *пропускная способность* равна максимально допустимой интенсивности, т. е.

$$\lambda_m = V/d_m,$$

где  $d_m$  — минимальный допустимый интервал между соседними ВС, определяемый нормами безопасности продольного эшелонирования.

Приведенные выше формулы расчета пропускной способности получены при значительных упрощениях. Реальные сети воздушных трасс, местных воздушных линий и маршрутов имеют сложную структуру, да и сами элементы весьма разнообразны и работают в условиях, отличных от предельных. Примерный перечень типов участков трасс с указанием упорядоченности по степени сложности приведен в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Классификация участков воздушных трасс по уровню сложности

| № п/п | Направление движения | Профиль полета | Границы участка             |
|-------|----------------------|----------------|-----------------------------|
| 1     | Одностороннее        | Горизонтальный | Без пересечения             |
| 2     |                      |                | Пересечение на одном конце  |
| 3     |                      |                | Пересечение на обоих концах |
| 4     |                      | Переменный     | Без пересечения             |
| 5     |                      |                | Пересечение на одном конце  |
| 6     |                      |                | Пересечение на обоих концах |
| 7     | Двустороннее         | Горизонтальный | Без пересечения             |
| 8     |                      |                | Пересечение на одном конце  |
| 9     |                      |                | Пересечение на обоих концах |
| 10    |                      | Переменный     | Без пересечения             |
| 11    |                      |                | Пересечение на одном конце  |
| 12    |                      |                | Пересечение на обоих концах |

Отметим, что сделанное выше предположение об однородности потока ВС, которое сильно упростило задачу определения пропускной способности участка воздушной трассы, в реальных условиях не справедливо. В действительности ВС движутся с разными скоростями, что в корне меняет ситуацию, существенно усложняя как задачу оценки пропускной способности, так и задачу диспетчера по контролю и управлению воздушным движением.

Также здесь не рассматриваются проблемы оценки пропускной способности такого важного элемента ВП, как аэропорт. Для решения этих и других задач, возникающих при автоматизации процессов управления воздушным движением, необходимо описание движения ВС как динамических объектов.

#### 1.1.4. Экономичность, регулярность и безопасность

Главными требованиями (и показателями эффективности) любой транспортной системы являются высокая экономичность и регулярность движения при максимальной безопасности.

*Экономичность* на воздушном транспорте достигается применением энергосберегающих технологий и экономичных авиационных двигателей. При этом потребители транспортных

услуг заинтересованы в использовании наиболее экономичных профилей полета в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Вопросы программирования таких пространственных траекторий рассматриваются в специальной литературе и принципиально решены. Однако их реализация в реальных условиях наталкивается на многочисленные трудности. К ним относятся ограничения, связанные с наличием запретных зон, с запретными секторами и профилями набора высоты, снижения и посадки (из экологических соображений, требований снижения шума и т. д.). Задача навигации — построить траекторию, удовлетворяющую этим требованиям и наиболее близкую к оптимальной. Цель управления воздушным движением — обеспечить полет по плановой траектории, принимая меры как к уменьшению отклонений от нее, так и к предотвращению нарушения налагаемых ограничений.

*Регулярность* воздушного движения состоит в точном временном соблюдении плановой траектории. Ясно, что существует ряд причин, по которым регулярность нарушается. К ним относятся, например, грозовые фронты, которые заставляют менять траекторию движения, что приводит к опозданиям. Серьезным фактором является ухудшение видимости (из-за тумана, осадков и по другим причинам), вызывающее задержки вылета и невозможность посадки (табл. 1.2). Последний фактор не столь «безнадежен». Нерегулярность может быть уменьшена (или даже полностью устранена) при использовании наземных и бортовых средств автоматической посадки.

Опыт показывает, что снижение (рост) регулярности движения в воздушном пространстве связано с определенными закономерностями:

\* задержки растут по экспоненциальному закону с увеличением интенсивности перевозок при постоянной пропускной способности элементов ВП;

\* количество задержек снижается непропорционально увеличению пропускной способности при постоянной интенсивности движения; иными словами, выигрыш может быть получен только при создании избыточной пропускной способности: система не может функционировать без разумного запаса;

\* снизить суммарный уровень задержек можно, увеличив координацию реальных пространственно-временных траекторий; это возможно лишь на основе оперативной корректировки планов полетов по результатам наблюдений и надежного прогноза (экстраполяции);

Таблица 1.2. Метеоминимумы ИКАО

| Категория ИКАО | Дальность видимости, м | Высота принятия решения, м |
|----------------|------------------------|----------------------------|
| I              | 800                    | 60                         |
| II             | 400                    | 30                         |
| IIIА           | 200                    | 0                          |
| IIIВ           | 50                     | 0                          |
| IIIС           | 0                      | 0                          |

23

\* повышение пропускной способности аэродромов может быть достигнуто (при том же количестве ВПП) применением новых инструментальных средств, обеспечивающих взлет, посадку и руление в автоматическом и полуавтоматическом режиме в сложных метеорологических условиях; этой же цели служит автоматизация управления движением наземных транспортных средств в районе аэродрома.

Как оказывается, практически все факторы повышения регулярности одновременно улучшают экономичность полетов.

Свойства экономичности и регулярности, как следует из изложенного, обычно непротиворечивы, но они почти всегда находятся в противоречии с третьей важнейшей характеристикой.

*Безопасность использования воздушного пространства* — комплексная характеристика установленного порядка использования воздушного пространства, определяющая ее способность обеспечить выполнение всех видов деятельности по его использованию без угрозы жизни и здоровью людей, материального ущерба государству, гражданам и юридическим лицам. Из этого строгого и исчерпывающего определения следует, что полной безопасности быть не может, так как в

любой момент может создаться непредвиденная заранее ситуация, содержащая в себе указанную угрозу. В дальнейшем мы несколько сузим и конкретизируем важное понятие безопасности, сосредоточив внимание исключительно на безопасности в сфере организации и управления воздушным движением.

Рассмотрим связь таких базовых показателей, как регулярность, экономичность и безопасность полетов, с одной стороны, и интенсивность воздушного движения и пропускная способность, с другой. По данным ИКАО (которые получены с применением моделирования, в том числе и макроэкономического и аналитических методов обработки временных рядов), при постоянной пропускной способности элементов ВП зависимость базовых показателей от интенсивности имеет экспоненциальный характер с положительным показателем роста. Это объясняется непропорционально большим ростом задержек всякого рода (в том числе времени нахождения в зонах ожидания). Пропускная способность выступает в роли ограничивающего фактора. Поскольку ее величина связана как с техническими свойствами и параметрами элементов ВП (трасс и аэропортов), так и с технологией УВД, определяющей дисциплину обслуживания «заявок», то становится очевидным, что можно лишь повлиять на характер ограничений, внося изменения в указанные факторы. Количественные изменения имеют либо целочисленный, либо непрерывный характер. Так, увеличить пропускную способность АП можно, построив дополнительную ВПП, а также уменьшив интервал между ВС, заходящими на посадку и совершающими взлет. Такое сокращение интервалов приемлемо лишь в том случае, если обеспечено соответствующим совершенствованием систем навигации, наблюдения и связи. Использованный выше термин «заявки» для обозначения ВС заимствован из теории массового обслуживания далеко не случайно. Важнейшая общая закономерность таких систем вообще и систем ОВД в частности состоит в том, что пропускная способность всегда должна опережать рост интенсивности потоков «заявок». Если такого рода запас отсутствует, то критические ситуации, связанные с перегрузкой, неизбежны; именно они и определяют уровень безопасности ВД.

В настоящее время в мировой практике не существует единого показателя, который позволил бы количественно оценить уровень безопасности полетов гражданской авиации. ИКАО признает наличие в отдельных странах разнообразных показателей. Среди них:

\*относительное число авиакатастроф при посадке ВС (подсчитанное за достаточно длительный промежуток времени);

\* количество авиакатастроф на определенный объем перевозок ( $10^6$  тонно-километров перевезенных грузов);

\*число катастроф на  $10^6$  самолето-вылетов;

\* число погибших на  $10^9$  пассажиро-километров;

\* средний налет на одну авиакатастрофу и др.

Как следует из приведенного перечня, все показатели относятся к категории статистических и носят констатирующий характер. Существует соблазн использовать такого рода показатели для задания требований к уровню безопасности, оперировать соответствующими вероятностными характеристиками (например, вероятностью авиакатастроф, интенсивностью их потока и т. д.). Однако такой подход неприемлем по ряду причин.

Прежде всего, несмотря на малость численных значений, вероятность остается конечной и, следовательно, в контексте априорного задания уровня летальных исходов средни их планированию. К этому следует добавить неконструктивность и малую достоверность этих количественных оценок, связанную именно с их малостью и, следовательно, влиянием «хвостов» распределений, что реально делает невозможным как их расчет, так и экспериментальную проверку на стадии проектирования систем. Поэтому такой числовой показатель, как частота отказов или других редких событий, связанных с безопасностью, имеет право на существование лишь как *апостериорная* оценка, получаемая с помощью корректных методов математической статистики при обработке реальных достоверных данных.

Укажем еще одно важное обстоятельство фактического плана, которое делает неконструктивным применение критерия безопасности в форме вероятности тяжелого летного происшествия (авиакатастрофы). Результаты расследования таких летных происшествий свидетельствуют о том, что последние являются результатом стечения ряда обстоятельств и имеют несколько причин, что позволяет говорить о развитии неблагоприятной ситуации. Авиакатастрофа, сопровождающаяся разрушением ЛА и гибелью пассажиров и членов экипажа, является лишь

завершающей фазой процесса, приведшего к столкновению ЛА с землей, препятствием или другим ЛА.

Таким образом, авиационное происшествие с тяжелыми последствиями возникает, как правило, в результате случайного (в смысле наличия неопределенности) наложения или сочетания нескольких нарушений, каждое из которых в отдельности, возможно, и не привело бы к трагическому финалу.

Вероятность авиационного происшествия может и должна быть малой величиной. В соответствии с известной теоремой о произведении вероятностей, вероятность каждого нарушения — это величина, не меньшая (а при значительном их количестве и существенно большая), нежели конечная вероятность авиационного происшествия. Такими величинами оперировать легче, их причинно-следственные связи и соответствующие зависимости устанавливаются с большей достоверностью и лучше поддаются анализу. Поэтому для исследования безопасности целесообразно проводить *декомпозицию*, т. е. расчленение ситуации, приведшей к происшествию, на составные события (например, нарушения).

Одно их наиболее частых нарушений, которые могут завершиться тяжелым авиационным происшествием, состоит в несоблюдении норм эшелонирования, приводящем к опасным сближениям (конфликтным ситуациям). Следовательно, целесообразно применять *прямые критерии безопасности*, использующие «области безопасности» (или «запретные объемы»), которые строятся около каждого ВС.

К счастью, не каждое опасное сближение ВС (вызванное, например, нарушением установленных норм эшелонирования) заканчивается катастрофой. Следовательно, если говорить о вероятности опасного сближения, то она выше, чем вероятность тяжелого летного происшествия, и поэтому возможность расчета первой становится более реальной.

Применяя декомпозицию и далее рассматривая развитие события в «обратном времени», естественно, приходим к понятию *потенциально-конфликтной ситуации* (ПКС) — такой ситуации, которая приведет к конфликтной ситуации (КС), т. е. к нарушению норм эшелонирования, если не изменить пространственно-временные траектории участвующих в ней ВС. Если ПКС обнаружена диспетчером заранее, то, своевременно приняв необходимые меры и выполнив определенные действия, экипажи ВС могут устранить опасность перехода ПКС в КС. С формальной точки зрения из этого следует, что частота возникновения ПКС (и, соответственно, ее вероятность) больше, чем для КС. Справедливость этого утверждения следует из существа рассматриваемой ситуации и вариантов ее развития во времени. Анализируя возможности возникновения ПКС, механизм их появления и развития, можно построить модели соответствующих процессов, позволяющие оценить частоту появления таких событий. Так как численные значения последних не столь малы, как частота катастроф, то оказывается возможным применение математического аппарата теории вероятностей и случайных процессов.

Так как недопущение возникновения ПКС — общая задача службы УВД и экипажей ВС, то частота появления ПКС может служить устойчивой и конструктивной мерой безопасности. Отсюда следует важность решения задачи автоматизации обнаружения ПКС и разрешения КС, а также их учет и набор статистик.

## 1.2. Организация полетов и аэронавигационное обслуживание

### 1.2.1. Организация воздушного движения

В соответствии с принятой терминологией различают понятия «организация воздушного пространства», «организация использования воздушного пространства» и «организация воздушного движения».

*Организация воздушного пространства* — установление рациональной структуры воздушного пространства в целях обеспечения его эффективного использования.

Под *организацией использования воздушного пространства* понимают обеспечение регулярного, экономичного и безопасного воздушного движения, а также другой деятельности по использованию воздушного пространства. Она включает.

- \*установление структуры воздушного пространства;
- \*планирование и координирование использования воздушного пространства;
- \*организацию воздушного движения;
- \*контроль за соблюдением правил использования ВП.

*Организация воздушного движения* — обеспечение возможности эксплуатантам воздушных судов (пользователям воздушного пространства) выполнять полет в желательном режиме: придерживаться планируемого времени вылета и прибытия, выдерживать наиболее предпочтительные профили полета при минимальных ограничениях и без снижения необходимых уровней безопасности.

Организация воздушного движения (ОрВД) включает:

- \*обслуживание (управление) воздушного движения (ОВД);
- \*организацию потоков воздушного движения;
- \*организацию воздушного пространства (управления).

Организация использования воздушного пространства осуществляется специально уполномоченными органами Министерства обороны, ГСГА Российской Федерации, органами ЕС ОрВД, органами ОВД (управление полетами) в установленных для них зонах и районах ЕС ОрВД.

Координирование использования воздушного пространства производится в процессе планирования и обслуживания воздушного движения в зависимости от складывающейся воздушной, метеорологической и аэронавигационной обстановки и в соответствии с государственными приоритетами.

### 1.2.2. Задача воздушной навигации

Под *навигацией* в широком смысле следует понимать совокупность методов и приемов, обеспечивающих решение основной навигационной задачи: проведение подвижного объекта из одной определенной точки пространства в другую по заданной траектории в заданное время.

*Самолетовождение* — это процесс реализации полета по заданной пространственно-временной траектории, в котором участвуют экипаж ВС и диспетчеры службы УВД. Для формулировки, а тем более для решения навигационной задачи необходимо знать (а в процессе полета — наблюдать, измерять) определенный набор величин, называемых *навигационными параметрами* (НП). В их число входят, прежде всего, географические (геометрические) координаты, определяющие место самолета в данный, текущий момент времени, векторы скорости и ускорения.

К числу НП относят также дальности до контрольных (характерных) точек и их азимуты, отклонения от заданной траектории (угловые и линейные).

К разряду навигационных относят также и угловые координаты самолета, такие как курс, крен, тангаж (а в последнее время и угловая скорость разворота), т. е те параметры, которые необходимы для самолетовождения.

При определении координат в воздушной навигации самолет (или другой летательный аппарат) обычно рассматривается как материальная точка. Однако при решении задачи самолетовождения, в частности обнаружения и предотвращения опасных сближений, размерами ЛА пренебрегать уже

нельзя, и поэтому под его координатами следует понимать координаты его центра масс или другой характерной точки

При самолетовождении на борту ЛА основные навигационные параметры (а именно, его координаты) могут быть определены двумя способами:

\*путем их прямого вычисления на основе геометрических соотношений при измерении дальности и азимута (или курсового угла) точек с известными координатами; могут использоваться высоты и азимуты светил, одновременно измеренные дальности до нескольких (не менее трех) искусственных спутников Земли, координаты которых известны;

\*путем вычисления координат точек, составляющих линию движения (траекторию), поданным о координатах начальной точки траектории и измеренных компонентах скорости перемещения.

Первый способ используется в системах ближней и дальней радионавигации, спутниковых радионавигационных системах и системах позиционирования. Этим же способом определяется местоположение подвижного объекта по данным, получаемым от бортовых радиолокационных или оптических станций и визиров.

Второй способ, получивший название счисления координат, или счисления пути, осуществляется интегрированием компонент вектора скорости в бортовом вычислителе в составе бортовой навигационной системы (БНС) или комплекса (БНК).

### 1.2.3 Управление воздушным движением

Обслуживание воздушного движения — общий термин, применяемый в соответствующих случаях для обозначения полетно-информационного обслуживания, консультативного обслуживания, диспетчерского обслуживания (управления) воздушным движением, а также аварийного оповещения.

*Консультативное обслуживание* имеет своей основной целью обеспечение оптимального эшелонирования воздушных судов, выполняющих полеты по правилам полетов по приборам (ППП). Воздушное пространство зоны (района) ЕС ОрВД, в пределах которого обеспечивается такое обслуживание, носит название консультативного воздушного пространства.

*Диспетчерское обслуживание (управление)* воздушного движения производится в целях предотвращения столкновения воздушных судов между собой и другими материальными объектами в воздухе, столкновений с препятствиями, в том числе на площади маневрирования аэродрома, а также регулирования воздушного движения и обеспечения его экономичности. Соответствующее воздушное пространство ЕС ОрВД называется *диспетчерским*.

Как известно, *правила полетов по приборам* — это порядок выполнения полетов в условиях, при которых местонахождение и пространственное положение воздушного судна определяется на его борту по пилотажным и навигационным приборам.

*Правила визуальных полетов* регламентируют порядок выполнения полетов в условиях, позволяющих определять местонахождение и пространственное положение воздушного судна по наземным ориентирам и естественному горизонту.

Под *полетно-информационным обслуживанием* воздушного движения следует понимать предоставление консультаций и информации, необходимых для обеспечения безопасного и эффективного выполнения полетов. Оно осуществляется при всех видах обслуживания воздушного движения.

Обслуживание и управление воздушным движением в современных системах ОВД выполняется диспетчером. В связи с этим возникает вопрос о его загруженности, или, иначе говоря, *напряженности*.

*Напряженность обслуживания* обусловлена рядом факторов: использованием технических средств (РНС, АС УВД, средств связи и т. д.), конкретными особенностями структуры воздушного пространства, характеристиками воздушного движения и применяемой технологией УВД. Технология УВД оперирует понятием сложности управления, которая существенно зависит от уровня технической оснащенности (табл. 1.3).

С уровнем сложности непосредственно связана величина временной загрузки диспетчера, которая учитывается при расчете его пропускной способности. Предложены различные подходы и методики расчета загрузки диспетчера.

Необходимо учитывать три фактора, оказывающих наибольшее влияние на величину общей загрузки диспетчера:

\* интенсивность движения в секторе  $X\%$  (по входу);

\* число самолетов  $N$ , одновременно находящихся под управлением диспетчера;

\* уровень насыщенности элементов сети трасс в секторе, равный отношению фактической интенсивности движения к пропускной способности  $c = \lambda_m$ ,  
где  $c = A_{\text{г}}$ .

В соответствии с этим коэффициент загрузки  $k_3$  включает три слагаемых:

$$k_3 = F_1(N) + F_2(\lambda) + F_3(v),$$

каждое из которых связано с одним из указанных факторов.

Существуют аналитические и графические зависимости, позволяющие рассчитать величину  $k_3$ .

Иногда используется другой подход. Так, для вычисления  $k_3$  применяют формулу:

$$k_3 = k_0(N)\lambda + k_{\text{ПКС}}(N) + k_{\text{НК}}(\lambda),$$

где  $k_0(N)$  — показатель, определяемый временем, затрачиваемым в среднем на обслуживание одного ВС при отсутствии потенциально-конфликтных ситуаций (ПКС);  $k_{\text{ПКС}}(N)$  — показатель загрузки, определяемый временем, затрачиваемым на обслуживание ВС в ПКС;  $k_{\text{НК}}(A_{\text{г}})$  — показатель загрузки диспетчера по наземным каналам связи

Величина  $k_0(N)A_{\text{г}}$  учитывает объем работы, связанной с обязательным обслуживанием каждого отдельного ВС, пролетающего через сектор УВД.

Существует и иной подход к оценке величины временных затрат диспетчера. При этом используется формула:

$$F_3 = F(N) + \sum_{i=1}^4 \omega_i \lambda_i,$$

где  $\omega_i$  ( $i = 1 \dots 4$ ) — значимость затрат на обслуживание ВС, пролетающего через зону без изменения высоты ( $\omega_1$ ), с набором высоты ( $\omega_2$ ), со снижением ( $\omega_3$ ) и на согласование движения ВС между смежными секторами УВД ( $\omega_4$ )

Несмотря на очевидное различие в подходах, между ними много общего. Для каждого из них характерна аддитивная структура, которая является следствием желания расчленить общую зависимость, обладающую целостностью, на отдельные, независимые друг от друга составляющие — иными словами, выполнить декомпозицию.

Это оправданно удобством расчета по данным наблюдений (замеров, хронометража, статистических данных и пр.). Конечная цель вычислений характеристик загрузки диспетчера заключается в оценке величины пропускной способности.

Напряженность обслуживания по своему смыслу не только соответствует величине загрузки диспетчера, но и должна учитывать ряд других факторов, имеющих смысл затрат. К ним относятся потери, связанные с уменьшением степени безопасности и экономичности полетов (за счет повышения риска опасных сближений и увеличения расхода топлива при изменении режимов полета и отклонениях от планов и графиков). Изменения технологии УВД, вызванные, например, увеличением технической оснащённости (установка АРМов, новых РЛК, АС УВД, средств связи и т. д.), должны при прочих равных условиях приводить к уменьшению напряженности обслуживания. В то же время очевидно, что общие расходы на АНО за счет установки новых технических средств неизбежно увеличатся.

Следует различать пропускную способность воздушного пространства (его элементов) и пропускную способность системы УВД (ее подсистем).

Под пропускной способностью элемента ВП будем понимать максимальную интенсивность движения  $\lambda$  через него, при которой соблюдаются требования безопасности и экономичности полетов.



Пропускная способность сети также определяется пропускной способностью ее элементов (участка трассы и точки пересечения трасс). При этом загруженность диспетчера не учитывается. Пропускная способность системы УВД (ее подсистемы: сектор, зоны и т. д.) равна максимальной интенсивности движения ВС через сектор  $\lambda_t$ , при которой обеспечиваются требования безопасности полетов и удовлетворяются ограничения, обусловленные конечными возможностями диспетчера по управлению (т. е. его допустимой загрузкой).

#### 1.2.4. Аэронавигационное обслуживание полетов. Средства аэронавигационного обслуживания

*Аэронавигационное обслуживание* (АНО) полетов в воздушном пространстве представляет собой процесс обеспечения экипажей ВС информацией, необходимой для выполнения полета (т. е. решения основной навигационной задачи), при удовлетворении требований регулярности, экономичности и безопасности. АНО обеспечивается широким кругом сведений, как передаваемых по линиям связи (например, метеоинформация), так и находящихся на твердых носителях:

- \* документы аэронавигационной информации (AIP);
- \* авиационные карты (полетные, бортовые, радионавигационные);
- \* базы данных аэропортов, опорных пунктов маршрута (ОПМ) и радио маяков (например, базы данных Gerpeesen в формате ARING 424).

В дальнейшем под аэронавигационным обслуживанием (в узком смысле) будем понимать оперативное предоставление экипажу в рамках обслуживания воздушного движения (управления полетами) данных радиотехнических средств (первичных и вторичных радиолокаторов как на маршруте, так и посадочных РЛС — при заходе на посадку и посадке), а также пользование каналами связи «борт—земля». К АНО относится и автономное использование на борту ВС инструментальных средств определения своего местоположения (РСБН, АП) и средств посадки (ILS, DGPS). Все они составляют средства радиотехнического обеспечения полетов и авиационной связи (РТОП и связи).

**Оплата расходов на АНО.** Проблема взаиморасчетов за аэронавигационное обеспечение полетов на маршруте, а также при взлете и посадке воздушных судов при выполнении ими международных перевозок стала предметом пристального внимания (а в ряде случаев и причиной разногласий между государствами) еще в семидесятых годах прошлого столетия. Это объяснялось естественным стремлением переложить на перевозчиков значительную долю затрат на приобретение и ввод в эксплуатацию нового радионавигационного оборудования, в том числе радиолокационного, систем посадки и пр. Повышение ставок сборов на первых порах было несогласованным и несоразмерным. Учитывая остроту проблемы, ИКАО предприняла попытку разработать соответствующие рекомендации. Они явились продуктом работы ряда международных конференций, в том числе по аэронавигационным сборам (CARE, 1967 г.) и по экономическим аспектам маршрутного аэропортового аэронавигационного обслуживания (Doc 9053-ERFA, 1973 г.).

Результаты как самих конференций, так и работы Совета ИКАО и групп экспертов стали основой для Заявления Совета договаривающимся государствам относительно аэропортовых сборов и сборов за пользование маршрутным аэронавигационным оборудованием (Doc 9082-C/1015), а также для Руководства по экономическим аспектам аэронавигационного обеспечения на маршруте (Doc 9161-AT/724, 1976 г.).

В этих документах была заложена основа построения системы взаиморасчетов, призванная упорядочить и по возможности унифицировать политику государств в этой области.

Проблема организации рациональной системы взаиморасчетов за АНО для Российской Федерации имеет большое значение в силу следующих достаточно очевидных обстоятельств. Это, в первую очередь, переход от плановой к рыночной экономике и связанное с ним неизбежное изменение форм собственности, взрывной рост числа экономически самостоятельных компаний-перевозчиков. Вместе с тем увеличение степени открытости и рост международных перевозок, открытие новых международных трасс обеспечивает поступление средств в твердой валюте. С другой стороны, важность проблемы определяется необходимостью модернизации морально и физически стареющего оборудования и систем, обеспечивающих АНО, что требует больших капитальных вложений.

Компенсация расходов на АНО выполняется отдельно за обслуживание полетов по маршрутам (трассам) и в аэропортах. Оплата пользователями ВП производится по тарифам, разработанным в соответствии с международными правилами. Принципы и стоимостная основа взимания сборов за АНО приведены в приложении 2.

### 1.3. Информационное обеспечение полетов в воздушном пространстве

#### 1.3.1 Земные навигационные системы координат

Положение объектов на поверхности Земли и над ее поверхностью задается в одной из систем координат (соответственно двумерной или трехмерной). Указание положения, как известно, зависит от предположений о форме Земли и осуществляется (исходя из целесообразности) в одной из известных систем координат (СК): геофизической, астрономической, сферической, ортодромической и др. Исторически используемые географические координаты (широта  $\varphi_r$  и долгота  $X_r$ ), строго говоря, к соответствующей (географической) СК не привязаны. Они получены в результате нанесения ортогональной сетки меридианов и параллелей на проекцию земного эллипсоида в виде географической карты.

**Сферическая земная система координат.** При решении ряда задач, относящихся к навигационному обеспечению полетов, по соображениям точности допустимо представлять Землю в виде шара некоторого радиуса и, таким образом, пользоваться сферической СК.

*Нормальные сферические координаты* получаются из географических по нижеследующим соотношениям.

Если радиус Земли принимается равным  $R_3 = 6371,1$  км (сфера равновелика по объему сфероиду Красовского), то

$$\varphi = \varphi_r \text{ и } \lambda = \lambda_r.$$

Если же  $R_3 = 6372,9$  км (сфера Каврайского), то

$$\varphi = \varphi_r - 8'39'' \sin 2\varphi_r \text{ и } \lambda = \lambda_r.$$

При первой аппроксимации максимальная погрешность  $\sin 2\varphi_r$  достигает: по углу  $0,4^\circ$  и по расстоянию  $0,5\%$ , при второй — не превышает  $0,1^\circ$  и  $0,08\%$  соответственно.

**Прямоугольная гринвичская система координат.** В этой СК ось  $Z$  направлена по оси вращения Земли, ось  $X$  — по линии пересечения нулевого (гринвичского) меридиана с плоскостью экватора, а ось  $Y$  — ортогональна осям  $Z$  и  $X$ , как показано на рис. 1.3. В такой системе координат  $OXYZ$  точка  $M$  на поверхности эллипсоида определяется декартовыми координатами.

**Геодезическая система координат.** Сфера представляет собой весьма грубую аппроксимацию реальной формы Земли. Значительно лучшее приближение — геоид, представляющий, по определению, фигуру Земли, ограниченную уровневой поверхностью, пересекающей в любой точке отвесные линии под прямым углом и совпадающей в открытых морях и океанах с их невозмущенной поверхностью. (В России поверхность геоида привязана к нулю Кронштадтского футштока.) Однако поверхность геоида имеет сложную форму и вследствие этого неудобна для вычислений, поэтому, к примеру, для отсчета высоты точек земной поверхности используют квазигеоид — вспомогательную поверхность, совпадающую с геоидом в океанах и открытых морях и продолженную соответствующим образом под материками и островами. (Максимальная невязка между поверхностями квазигеоида и геоида имеет место в горных местностях и не превышает  $2$  м, а в равнинных составляет всего несколько сантиметров.)

Для решения задач навигации геоид приближают *эллипсоидом вращения (сфероидом)*.

Эллипсоид вращения, центр которого совпадает с центром масс и экватором Земли соответственно, а поверхность в определенном смысле наилучшем образом аппроксимирует поверхность геоида в целом, называется *общеземным эллипсоидом*.

Эллипсоид, являющийся наилучшим локальным приближением (в пределах отдельного государства или региона, включающего группу государств), называют *референц-эллипсоидом*.

Известен ряд референц-эллипсоидов, названных по именам их разработчиков (Красовского, Бесселя, Хайфорда, Кларка и др.). Они отличаются друг от друга значениями основных параметров эллипсоида: экваториальным радиусом (большой полуосью), полярным радиусом (малой полуосью) и сжатием.

Эллипсоид Красовского, по данным большого числа астро-геодезических измерений на территории бывшего СССР, США и Индии, достаточно близко представляет всю Землю. В 1967 г. в США был введен новый референц-эллипсоид, он учитывает больший, чем прежде, объем наблюдений, в том числе и спутниковых. Этот референц-эллипсоид получил название международного эллипсоида 1967 г. и принят в мировой практике (в том числе для создания баз навигационных данных).

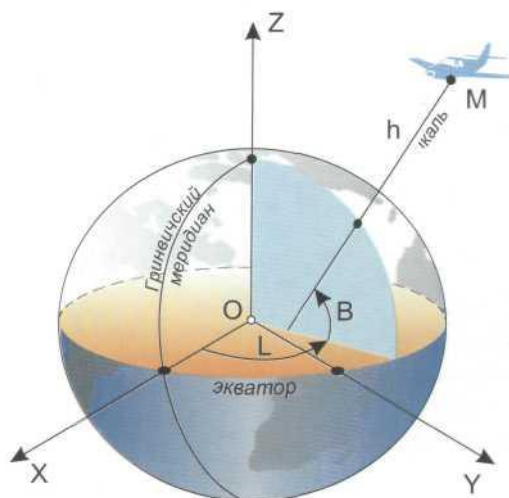


Рис. 1.3. Геодезическая система координат

Для определения положения точки на поверхности земного эллипсоида используются *геодезические координаты* (рис. 1.3).

*Геодезической широтой*  $B$  называется угол, заключенный между плоскостью экватора и нормалью к поверхности эллипсоида в земной точке (широта изменяется от  $0$  до  $\pm 90^\circ$ ).

*Геодезической долготой*  $L$  называют двугранный угол, заключенный между плоскостями начального меридиана (гринвичского) и меридиана данной точки. Долгота принимает значения от  $0$  до  $+180^\circ$  (восточная) и от  $0$  до  $-180^\circ$  (западная). По согласованию долгота может измеряться и от  $0$  до  $360^\circ$ . Если точка расположена над поверхностью эллипсоида, то добавляется третья координата — высота  $h$ , отсчитываемая по нормали. Нормаль к поверхности геоида, по определению, всюду совпадает с направлением вектора  $d'$  удельной силы тяжести, модуль которого равен ускорению свободного падения в данной точке и представляет собой сумму удельных гравитационной  $g$  и центробежной сил:

$$\vec{g}' = \vec{g} + \vec{\Omega} \times (\vec{\Omega} \times \vec{R}),$$

где  $\Omega = 15,04107$  °/ч;  $g = 7,29211 \cdot 10^{-6}$  1/с — угловая скорость вращения Земли;  $R$  — ее радиус.

Сделаем одно замечание. В связи с появлением и развитием глобальных спутниковых систем позиционирования использование различных земных эллипсоидов стало невозможным, так как приводило к неоднозначности определения координат.

**Ортодромические системы координат.** Они получили широкое распространение в навигации и бывают двух типов: геоцентрического и геодезического. Рассмотрим СК первого, геоцентрического типа, как более часто применяющуюся.

Ортодромической СК геоцентрического типа (или просто *ортодромической системой координат*) называется геоцентрическая система, у которой полюсом  $P_0$  (рис. 1.4) может быть произвольная точка с геоцентрическими координатами  $\varphi_{p0}$ ,  $\lambda_{p0}$  (обычно полагают, что полюс расположен в Северном полушарии) Большой круг в этой системе называется ортодромическим экватором, или просто *ортодромией*. Радиус-вектор, направленный из центра земного эллипсоида в полюс  $P_0$ , перпендикулярен плоскости ортодромического экватора. Угол пересечения с меридианами ортодромии (путевой угол ортодромии  $U^0$ ), как это следует из рис. 1.4, не постоянен для одной и той же ортодромии. Точка  $V$  ортодромии, наиболее удаленная от земного экватора, называется

вертексом. В ней путевой угол ортодромии равен  $90^\circ$ . Положение точки  $M$  задается координатами: ортодромической широтой  $\Phi$ , долготой  $L$  и расстоянием  $R^0$  до центра Земли.

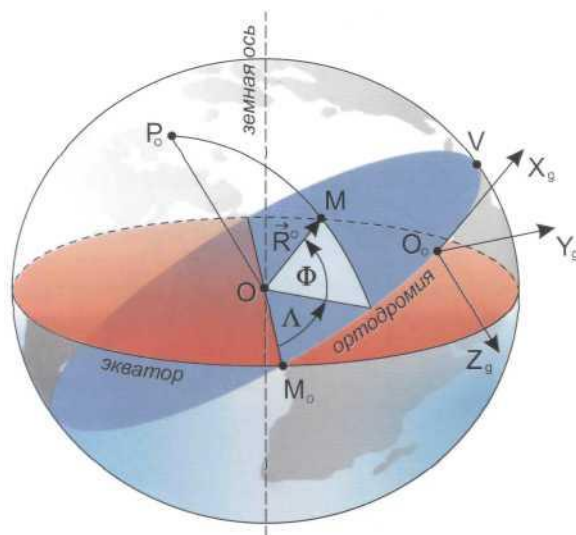


Рис. 1.4. Ортодромическая система координат

Ортодромической широтой  $\Phi \in [-\pi/2, \pi/2]$  точки  $M$  называется угол между радиусом-вектором  $R^0 = OM$  этой точки и плоскостью ортодромического экватора. Долгота  $L \in [-\pi, \pi]$  отсчитывается по ортодромическому экватору от точки его пересечения с земным экватором, т. е. от начального меридиана, проходящего через точку  $M_0$  (для определенности из двух таких точек пересечения за начало отсчета принимается та из них, которая лежит восточнее полюса  $P_0$  ортодромии).

Ортодромические координаты другого, геодезического типа применяют, как правило, в тех случаях, когда на ПА в качестве основной используется геодезическая (или близкая к ней) истинная вертикаль. При этом оказывается, что для точки  $M$  ее ортодромические координаты геодезического типа численно отличаются от соответствующих координат геоцентрического типа. Первые могут трактоваться как угловые координаты центрального типа, если в качестве центра СК выбирать определенную подвижную точку.

Если ортодромия проходит через исходный (ИПМ) и конечный (КПМ) пункты маршрута, то такую ортодромическую СК называют общей (ООСК); если же ортодромии строятся для каждого участка между всеми поворотными пунктами маршрута (ППМ), то имеем дело с частноортодромической СК (ЧОСК). По причине близости ортодромии на эллипсоиде к линии кратчайшего расстояния (геодезической линии) и относительной простоты ее задания в пространстве движение по ортодромическим маршрутам получило широкое распространение в авиации (как в гражданской, так и в военной).

Если длина участка  $40$  между соседними ППМ невелика, то в полосе маршрута (т. е. в его окрестностях) поверхность Земли допустимо принимать за цилиндрическую (образующая цилиндра совпадает с ЧО). При развертке цилиндра получается плоская поверхность, а ЧОСК превращается в *прямоугольную ортодромическую систему координат* (ПОСК). Одна из координатных плоскостей этой системы совпадает с полетной картой.

Следует отметить, что с добавлением третьей, вертикальной оси ПОСК превращается по сути в *нормальную земную систему координат* (НЗСК), применяемую в задачах динамики полета (на рис. 1.4 она обозначена как  $O_0X_gY_gZ_g$ ). Начало координат может располагаться в любой точке ортодромии в соответствии с решаемой задачей.

Две горизонтальные координаты точки  $M$  в этой СК, имеющие смысл расстояния по линии ортодромии и бокового отклонения от нее, для малых удалений выражаются приближенными формулами:  $X_g = R^0(\lambda - \lambda_0)$ ,  $Z_g = R^0\Phi$ , где  $\lambda_0$  — ортодромическая долгота меридиана, проходящего через точку начала координат  $O_0$  (см. рис. 1.4).

Ось  $O_0Y_g$ , как и координата  $h$  на рис. 1.3, направлена по местной вертикали, а  $O_0Z_g$  — вправо перпендикулярно ортодромии. Различие ПОСК заключается

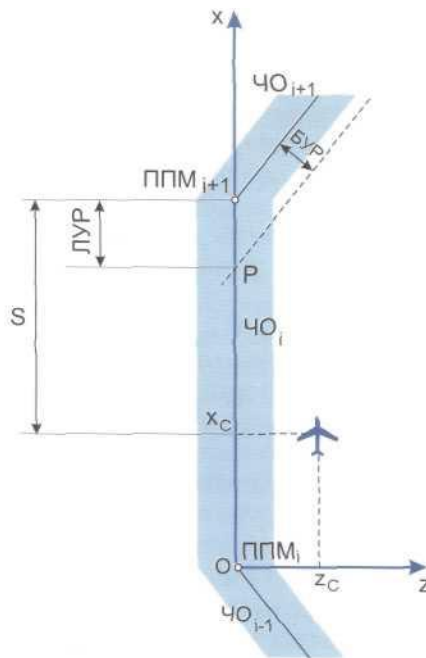


Рис. 1.5. Прямоугольная ортодромическая система координат

в том, что вместо координаты  $X_d$ , ось которой направлена по ортодромии, используют координату  $S$ , а ее отсчет ведется от следующего ППМ в обратную сторону (рис. 1.5). Таким образом,  $z$  представляет собой не что иное, как *линейное боковое уклонение (ЛБУ) от линии заданного пути (ЛЗП)*, а величина  $S$  — это расстояние до очередного ППМ.

Задача самолетовождения в ПОСК (в том числе и автоматизированного) значительно упрощается, так как сводится к поддержанию нулевых значений координаты  $z$  и ее производных, определению (по достижении заданного значения *линейного или бокового упреждения разворота* — ЛУР или БУР) момента начала перехода на следующую ЧО с последующей стабилизацией на ней.

Сказанное поясняется рис. 1.5, где изображен фрагмент маршрута, состоящий из участков — частных ортодромий: очередной ЧО<sub>*i*</sub> предыдущей ЧО<sub>*i-1*</sub> и последующей ЧО<sub>*i+1*</sub>. Точка  $P$  является расчетной точкой начала разворота при переходе на следующий участок маршрута.

Отметим в заключение, что существуют и другие СК, такие как полярные и биполярные, которые используются при полете с применением *радионавигационных систем (РНС)*, а также экваториальная и горизонтальная — когда применяются астрономические средства определения места самолета.

### 1.3.2. Уравнения траекторного движения

В этом параграфе речь пойдет о математическом описании траекторий подвижных объектов. Такое описание необходимо для осуществления процессов наблюдения и управления (некоторые важные определения и положения, относящиеся к теории управляемых динамических систем, приведены в приложении 3).

Для решения задач управления движением подвижных объектов любого типа необходимы сведения об их текущем местоположении и параметрах движения. Наиболее сложными подвижными объектами являются летательные аппараты. И первую очередь сложность управления подвижным объектом (а значит, и наблюдения за ним) обусловлена числом степеней свободы, а также числом и видом уравнений связи и ограничений, накладываемых на его движение. Это становится очевидным при сравнении таких видов транспортных средств, как железнодорожный вагон, морское и речное судно, автомобиль и др. Наиболее сложными объектами с динамической точки зрения являются летательные аппараты, и в первую очередь самолеты.

Транспортный самолет традиционной схемы совершает полет, состоящий из нескольких этапов: руления, разбега, взлета, набора высоты, полета по маршруту, снижения, захода на посадку, посадки, послепосадочного пробега и руления. Динамические характеристики на различных фазах полета отличаются друг от друга, причем при наземном движении это различие носит принципиальный характер. Действительно, при рулении самолет — это «почти» автомобиль, при разбеге происходит

постепенный переход к новому качеству летательного аппарата, а при посадке и в процессе послепосадочного пробега — обратный переход.

Рассмотрение наряду с «самолетной» также «автомобильной» схемы представляет и самостоятельный интерес. Дело в том, что в рамках единой системы организации воздушного движения объектами наблюдения и управления являются не только воздушные суда (в воздухе и на земле), но также и наземные транспортные средства (топливозаправщики, уборочная техника, спецтранспорт и пр.).

**Математические модели подвижных объектов.** Математические модели движения играют важную роль в прикладных задачах наблюдения. Предположения о характере движения используются в алгоритмах сглаживания и экстраполяции координат при построении траекторий, а также при прогнозе, необходимом для обнаружения потенциально конфликтных ситуаций. Очевидна закономерность, состоящая в соответствии (адекватности) используемой математической модели поставленным на определенных этапах задачам, а также методам их решения с учетом сложности применяемого математического аппарата и возможностей вычислительных средств.

При управлении воздушным движением стоят задачи иного рода. Наиболее важными являются такие:

- \* построить («нарисовать») траекторию движения по результатам отдельных наблюдений;
- \* спрогнозировать траекторию на некоторое время «вперед».

Для этих целей и используются математические модели, представляющие собой упрощенные описания динамических систем (см. приложение 3). Эти математические модели должны иметь как можно более простую форму и в то же время с необходимой точностью описывать реальное движение. При этом надо признать, что многие параметры наблюдаемого объекта неизвестны (неизменяемы). Как правило, ничего нельзя сказать о количественных характеристиках внешних воздействий.

Учитывая эти обстоятельства, упростив основную систему (см. приложение 3), получим математическую модель движения подвижного объекта следующего вида:

$$\left. \begin{aligned} x' &= V \sin \psi \\ z' &= V \cos \psi \\ \psi' &= u_1 \\ V' &= u_2 \\ y' &= u_3 \end{aligned} \right\}, \quad (1.4)$$

где  $x, y, z$  — координаты объекта (его центр масс) в земной нормальной системе координат;  $\psi$  — путевой угол;  $V$  — путевая скорость;  $u_1, u_2, u_3$  — управления, имеющие здесь смысл угловой скорости разворота, поступательного (продольного) ускорения/замедления и вертикальной скорости подъема/снижения соответственно.

Знак ' означает дифференцирование по времени  $d/dt$ , а нижний индекс «g» у координат  $x_g, y_g, z_g$ , означающий земную систему координат, опущен для краткости записи.

Из первых четырех уравнений, описывающих движение в горизонтальной плоскости, можно получить нижеследующие частные случаи.

*Модель движения первого порядка*

$$\left. \begin{aligned} x' &= V \cos \psi \\ z' &= V \sin \psi \end{aligned} \right\}, \quad (1.5)$$

где  $V = \text{const}$ ,  $\psi = \text{const}$  и  $u_1 = u_2 = 0$ .

Решая независимо друг от друга эти уравнения, получим для координат  $x$  и  $z$ :

$$x(t) = x_0 + V_x t, \quad z(t) = z_0 + V_z t, \quad (1.6)$$

где  $V_x = V \cos \psi = \text{const}$ ,  $V_z = V \sin \psi = \text{const}$ .

В соответствии с этой моделью объект (цель) движется прямолинейно с постоянными курсом и скоростью. (Строго говоря, постоянными являются компоненты  $V_x$  и  $V_z$  вектора путевой скорости.) Высота при этом в расчет не принимается.

*Модель движения второго порядка*

$$\left. \begin{aligned} x' &= V \cos \psi \\ z' &= V \sin \psi \\ V' &= u_2 \end{aligned} \right\}, \quad (1.7)$$

где  $V = \text{const}$  и  $U_2 = \text{const}$ .

Это модель разгона/торможения, причем  $U_2$  зависит от величины изменения тяги двигателей.

Решение системы в общем виде таково:

$$\left. \begin{aligned} x(t) &= x_0 + V_x t + a_x t^2, \\ z(t) &= z_0 + V_z t + a_z t^2, \end{aligned} \right\} \quad (1.8)$$

где  $V_x$  и  $V_z$  имеют размерность скорости,  $a_x$  и  $a_z$  — ускорение.

Если в системе положить  $u_1 = \text{const} \neq 0$  и  $u_2 = 0$ , то получим модель разворота. При развороте на угол, не превышающий  $90^\circ$ , как показано в приложении 3, траекторию можно приближенно описывать также выражением вида (1.8).

Случай одновременного изменения скорости и курса ( $U_1 = \text{const} \neq 0$ ,  $U_2 = \text{const} \neq 0$ ) укладывается в модель второго порядка.

Следует подчеркнуть, что коэффициенты в уравнениях вида (1.6) и (1.8) могут быть вычислены при *известных управлениях* либо, в противном случае, определены (идентифицированы) по результатам наблюдений за реальным движением.

Рассмотренные модели применимы для описания траекторного движения самолета как на воздушном, так и на наземном участках; они также соответствуют движению наземных транспортных средств.

Это уравнение заменяет соответствующее дифференциальное уравнение для  $V_y$  основной системы.

На управляющие и возмущающие воздействия накладываются ограничения, предполагается также, что ограничены погрешности измерений.

### 1.3.3. Датчики навигационной информации

Для выполнения задач навигации и УВД используются датчики — измерители координат и параметров движения ЛА.

В целях навигации на борту применяются как *автономные* системы (т. е. независимые от технических средств, находящихся на Земле или в ВП), так и *неавтономные*, которые измеряют координаты положения ЛА с использованием радиосигналов (полей), создаваемых наземными или космическими системами. При УВД наблюдение за ВП сопряжено с получением данных о положении всех подвижных объектов, находящихся в зоне наблюдения, а также параметров их движения. Эти данные на земле могут быть получены двумя принципиально отличными друг от друга путями. Первый состоит в использовании *независимых* датчиков наблюдения, которые являются по существу автономными и используют, как правило, переменные электромагнитные поля, создаваемые наземными источниками. Второй путь заключается в получении доступа к информации, имеющейся на борту наблюдаемого объекта, и может быть реализован при наличии линии передачи данных «борт—земля». В этом случае наземный наблюдатель (в данном случае диспетчер службы движения) оказывается в *зависимом* положении как от бортового источника информации, так и от линии передачи данных (ЛПД).

Как бортовые, так и наземные измерители местоположения навигационных параметров, использующие искусственно создаваемые электромагнитные поля, а также их источники относятся к средствам радиотехнического обеспечения полетов и авиационной связи (РТОП и связи).

Рассмотрим всевозможные доступные датчики информации о положении подвижных объектов в ВП и на земной поверхности, включая бортовые и наземные.

**Бортовые датчики-измерители.** На борту современных ВС применяются различного вида датчики-измерители навигационных параметров, использующие поля разной физической природы.

Рассмотрим наиболее распространенные авиационные датчики навигационных параметров, которые позволяют на борту измерить или вычислить теку-



Таблица 1.4. Бортовые измерители (датчики) навигационных параметров

| Название (тип) измерителя  | Измеряемые (вычисленные) параметры   | Доступность к информации   |
|--|--|----------------------------|
| Инерциальные курсовертикали (ИКВ)  | Угол гироскопического курса $\psi_T$<br>Угол крена $\gamma$<br>Угол тангажа $\vartheta$<br>Составляющие земной скорости $V_{x_g}, V_{z_g}$ | Полная                     |
| Доплеровские измерители скорости (ДИС)   | Проекции вектора путевой скорости $V_{x_c}, V_{z_c}$   | Полная                     |
| Радиосистемы ближней навигации (РСБН)  | Расстояние от маяка до ЛА $S_T$<br>Азимут от маяка на самолет $A_T$  | В пределах зоны действия   |
| Радиосистемы дальней навигации (РСДН)  | Две разности между кратчайшими расстояниями от самолета до ведущей и двух ведомых радиостанций $S_{12}, S_{13}$                            | В пределах зоны действия   |
| Среднеорбитальные спутниковые навигационные системы Navstar                          | Координаты ЛА $x_{сп}, y_{сп}, z_{сп}$<br>Дальность до спутника и скорость ее изменения $S_{п}, S_{п}$                                     | В зоне видимости спутников |
| Глобальные навигационные спутниковые системы GNSS-GLONASS                            | Описание характеристик приводится в главе 2  | В зоне видимости спутников |
| Бортовые пеленгаторы наземных ориентиров радиолокационного и оптического типа (БПНО) | Дальность до наземного ориентира $S_q$<br>Азимут ориентира $A_q$<br>Угол места ориентира $M_q$   | В зоне видимости ориентира |
| Астрономические пеленгаторы (АП)   | Высота светила $h_a$<br>Азимут светила $A_a$   | В зоне видимости светила   |

щие координаты ВС в реальном пространстве и параметры его движения (табл. 1.4).

**Инерциальные гироскопические курсовертикали** (ИКВ платформенного или бесплатформенного типа) задают на борту ВС координатный трехгранник  $xyz$ , определенным образом ориентированный в пространстве. Чаще всего одна из осей направлена по геоцентрической вертикали вверх, а две другие лежат в горизонтальной плоскости и развернуты на некоторые углы относительно меридиана. В результате обработки (интегрирования) составляющих ускорения  $a_x(t)$ ,  $a_y(t)$  и  $a_z(t)$ , измеряемых акселерометрами, измерительные оси которых направлены по осям указанной системы координат, получают составляющие  $V_x(t)$ ,  $V_y(t)$  и  $V_z(t)$  вектора  $V_g$  земной скорости ЛА (а в некоторых случаях — и абсолютной скорости):

$$\vec{V}_a = \vec{V}_g + \vec{\Omega} \times \vec{R},$$

где  $Q$  — угловая скорость вращения Земли;  $R$  — радиус-вектор ЛА.

Курсовертикали позволяют измерить также углы крена  $Y$ , тангажа  $d$  и угол гироскопического курса  $\gamma$  (т. е. угол между проекцией продольной оси самолета  $O_c X_c$  на плоскость платформы  $hoz$  и осью  $ox$ , которую условно принимают за курсовую ось платформы, совпадающую с осью собственного вращения гироскопа).

Погрешности ИКВ определяются неточностью интегрирования, которая приводит в конечном счете к накапливающейся ошибке счисления координат.

**Доплеровский измеритель скорости** (ДИС) обеспечивает измерение компонент  $V_x$  и  $V_z$ , вектора путевой скорости  $V_c$  в связанной с ЛА системе координат  $o_c x_c y_c z_c$ . Как известно, первоначально прибор измеряет величины доплеровских частот трех колебаний, получаемых в результате излучения и приема радиолучей, отраженных от подстилающей поверхности. Погрешность измерения скорости определяется рельефом и характером отражающей поверхности Земли. Для снижения влияния помех применяют фильтрацию, в результате чего прибор выдает некоторые осредненные значения скоростей (имеет запаздывание).

**Радиосистема ближней навигации** (РСБН) измеряет прямолинейное расстояние  $S_T$  между ЛА и радиомаяком и азимут  $A_T$  от маяка на ЛА. Принцип действия основан на измерении времени задержки между излученным и переизлученным маяком импульсами. Азимут получается с помощью измерения фазового сдвига между двумя сигналами, излучаемыми всенаправленной антенной («опорный сигнал») и вращающейся антенной маяка с узкой диаграммой направленности в горизонтальной плоскости.

По дальности и азимуту при известных координатах радиомаяка рассчитываются текущие координаты ЛА. Погрешность измерения зависит от ошибок распространения радиоволн.

**Радиосистемы дальней навигации (РСДН)** используют разностно-дальномерный или разностно-фазовый принцип измерения и состоят из трех радиостанций (одной ведущей и двух ведомых). Ведущая станция излучает сигнал, принимаемый на ЛА (как «опорный»); он же принимается и переизлучается двумя ведомыми станциями, а затем принимается и на ЛА. В результате сравнения времен задержек (разности фаз) можно определить две разности расстояний:  $S_{12}$  и  $S_{13}$ . Имея эти величины и зная координаты всех станций, можно, решая соответствующие уравнения, получить местоположение ЛА.

Недостатком системы является неоднозначность отсчета, зависящая от периода следования импульсов (или от периода колебаний). Основные погрешности вызваны распространением радиоволн.

**Среднеорбитальная спутниковая радионавигационная система (СРНС)** типа «Navstar» включает созвездия из 18 навигационных спутников, расположенных на своих орбитах таким образом, что в любой точке Земли одновременно могут наблюдаться не менее четырех спутников. Каждый из спутников непрерывно сообщает свои координаты. Приемник-вычислитель на ЛА принимает эти сигналы. Решая систему из четырех уравнений с четырьмя неизвестными, в число которых кроме трех дальностей до спутников входит также и уход бортовых часов, можно определить координаты ЛА  $x_{sn}$ ,  $y_{sn}$  и  $z_{sn}$ , а также скорости их изменения  $\dot{x}_{sn}$ ,  $\dot{y}_{sn}$  и  $\dot{z}_{sn}$ .

Более подробно характеристики СРНС обсуждаются в главе 2.

**Глобальная навигационная спутниковая система GNSS-GLONASS.** Эти системы разрабатывались в недавнем прошлом параллельно в США и России (в Соединенных Штатах основной являлась глобальная спутниковая система позиционирования — GPS). Имея сходные с СРНС принципы построения, GNSS-GLONASS значительно превосходит ее по точностным характеристикам и позволяет обеспечить ЛА необходимыми навигационными данными на всех этапах полета, начиная от руления, взлета, полета по маршруту и заканчивая заходом на посадку, посадкой и рулением. Подробно возможности и характеристики системы освещены в главах 10-12.

**Бортовые пеленгаторы наземных ориентиров (БПНО)** радиолокационного и оптического типа обеспечивают получение на борту ЛА дальности  $S_0$  до наземного ориентира, его азимута  $A_0$  и угла места  $M_0$  (два последних параметра измеряются с использованием ИКВ).

При известных координатах ориентира можно определить место ЛА.

**Астрономические пеленгаторы (АП)**, так же как и бортовые визирь, используются совместно с ИКВ. Они позволяют измерить высоту  $h_a$  и азимут  $A_a$  светила. Визирование двух светил позволяет определить местоположение ЛА на земном эллипсоиде (следует подчеркнуть, что высоту над поверхностью эллипсоида в этом случае определить невозможно).

Обзор авиационных датчиков-измерителей позволяет провести анализ их информативности с точки зрения полноты и качества измеряемых и вычисляемых параметров.

Перечислим теперь координаты, которые позволяют определить местоположение ЛА в соответствующих СК, принятых в навигации:

\* $h, B, L$  — геодезические координаты самолета, представляющие высоту ЛА над поверхностью земного эллипсоида, геодезические широту и долготу места;

\* $X, Y, Z$  — декартовы координаты ЛА в гринвичской прямоугольной СК;

\*  $R, \varphi, \lambda$  — геоцентрические (сферические) координаты ЛА, представляющие собой удаление от центра Земли, геоцентрические широту и долготу;

\* $RQ, \Phi, \Lambda$  — ортодромические координаты ЛА и  $S, z$  — координаты в частноортодромической СК.

Из предыдущего изложения ясно, что лишь некоторых из указанных координат могут быть измерены непосредственно. Подавляющее число координат получают пересчетом по формулам, которые здесь не приводятся (их можно найти в литературе из списка, помещенного в конце книги).

**Радиотехнические системы посадки типа СП и ILS.** Системы предназначены для измерения на борту отклонений от заданной линии посадки в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Радиотехнические системы определения отклонений от посадочной траектории состоят из наземного оборудования. В состав первых входят курсовые (КРМ) и глиссадные (ГРМ) маяки, а также маркерные маяки. К бортовому оборудованию относятся курсовые и глиссадные радиоприемники (КРП и ГРП). Схема размещения радиомаяков показана на рис. 1.6.

Принцип действия радиомаяков основан на измерении двух сигналов, которые получаются в результате амплитудной модуляции сигнала несущей частоты двумя разными частотами. При этом коэффициенты глубины модуляции меняются в зависимости от отклонения по углу  $\epsilon$  от так

называемой оси равно-сигнальной зоны. Для КРМ эта ось лежит в вертикальной плоскости, проходящей через ось ВПП (и ее продолжение), для ГРМ — в плоскости глиссады. На выходе КРМ и ГРП получают электрические сигналы, зависящие от величины и направления соответствующих отклонений:  $e_k$  и  $e_r$ .

Эти величины, имеющие размерность угловых, в определенном масштабе индицируются на навигационном дисплее. На их основе также вырабатываются управляющие (командные) сигналы по крену и тангажу, которые в автоматическом режиме обрабатываются системой автоматического управления (САУ), а в директорном режиме — пилотом через органы управления самолетом. Это позволяет осуществлять в автоматическом режиме заход на посадку по II категории ИКАО, а в директорном — по I категории.

**Микроволновая система посадки MLS.** От рассмотренных выше систем она отличается большей точностью и информативностью. Повышенная точность

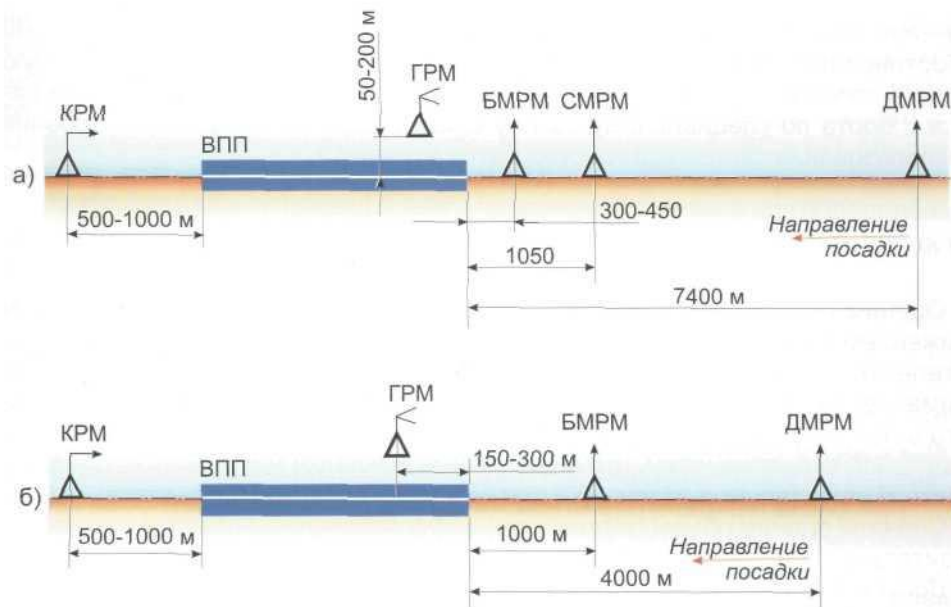


Рис. 1.6. Схема размещения радиомаяков: а — система ILS; б — система СП

достигается переходом от метрового к сантиметровому диапазону радиоволн. Увеличение информативности связано с введением дополнительного радиомаяка, позволяющего получить на борту информацию о дальности. Кроме того, значительно расширены секторы курсового и глиссадного радиомаяков, в которых можно получать сигналы  $e_k$  и  $e_r$ . Тем самым обеспечивается большая свобода выбора траектории при заходе на посадку.

Однако ввиду значительной стоимости она не нашла широкого применения в ГА, а в перспективе проиграет в конкуренции со спутниковыми системами.

**Спутниковые системы посадки.** Эти системы используют дифференциальный режим работы, когда необходимая для выполнения посадки точность измерения местоположения ВС достигается за счет ввода дополнительных (дифференциальных) поправок. Для их определения и передачи на борт ВС в районе аэродрома устанавливаются базовые станции системы DGPS (подробнее эти вопросы освещаются в главе 2).

**Наземные датчики-измерители местонахождения.** В центрах управления полетами ЕС ОрВД информация о местонахождении подвижного объекта (в воздухе и на земле) может быть получена с помощью следующих радиотехнических средств:

диспетчерского радиолокатора (радиолокационной станции — РЛС); посадочного радиолокатора (РЛП); радиолокатора обзора летного поля; ■ автоматического пеленгатора (АП); спутниковых систем слежения (ССС).

Первичный и вторичные радиолокаторы, автоматические пеленгаторы и посадочные радиолокаторы как источники информации о воздушной обстановке рассматриваются в главе 5.

**Системы автоматического зависимого наблюдения (АЗН)** в зависимости от типа и режима работы позволяют с высокой точностью определять местоположение ЛА и параметры его движения, измеренные датчиками, входящими в бортовой навигационно-пилотажный комплекс (БНПК) или вычислительную систему самолетовождения (ВСС), в том числе и СРНС. Информация передается с

борта по специальному каналу связи (подробно вопросы построения и использования систем АЗН обсуждаются в главе 10).

### 1.3.4. Оценка объемов информации

Оценим объемы информации, необходимые для управления воздушным движением. При этом пока не будем делать различий, от каких датчиков-измерителей (бортовых или наземных) она получена. Также не будем принимать во внимание, в какой системе координат определяется местоположение подвижного объекта, в качестве которого для определенности будем рассматривать воздушное судно (заметим, что аналогичные выкладки могут быть проделаны с учетом естественных различий и для наземных подвижных объектов).

Сначала оценим объем (количество) информации и информативную производительность источника данных о местонахождении ВС (см. приложение 4).

Допустим, что с некоторым периодом  $T_0$  от измерителя поступает набор данных, соответствующих точкам пространственно-временной траектории. Без потери общности можно считать, что эти данные представляют собой четверки чисел

$$t_i, x_i, y_i, z_i, i = 1, 2, \dots, N,$$

где  $t_i$  — момент времени получения  $i$ -го замера;  $X_j, y_i, z_i$  — координаты ВС в этот момент времени.

Если речь идет о диспетчерском радиолокаторе, то под  $X_j$  и  $z$ , следует понимать координаты ВС в прямоугольной системе координат, а под координатой  $Y_i$  — высоту  $h_i$ . В этом случае для удовлетворительной точности величины  $t_i, X_j, Z_i$  необходимо представить в формате float или long integer (по 4 байта), а  $h_i$  — integer (2 байта). Таким образом, четверка чисел (или одна точка пространственно-временной траектории) будет иметь объем 14 байт. Если, например, исходные данные поступают от радиолокатора с периодом вращения  $T_0 = 10$  с, то для хранения всех данных за час полета потребуется, как нетрудно подсчитать, 5040 байт, или приблизительно 5 Кбайт. Соответственно за сутки надо передать (и хранить) 120 Кбайт.

В зоне УВД может находиться в воздухе одновременно несколько десятков ВС. Следовательно, за сутки общий объем данных измеряется мегабайтами или десятками мегабайт. Информационная производительность одного источника (ВС) составляет 1,4 байт/с. Однако указанной информации для осуществления прогноза недостаточно.

Для решения вопроса о необходимом и достаточном объеме информации воспользуемся результатами, полученными при проведении исследований в рамках программы FANS. Работы по будущим аэронавигационным системам выполнялись специальным комитетом, созданным ИКАО под этим же названием, в 1983-1985 гг. Глобальная концепция развития систем навигации, связи и наблюдения на ближайшие 25 лет получила название ADS (автоматического зависящего наблюдения — АЗН). Она основана на спутниковой технологии. При ADS основным источником информации является бортовой навигационный комплекс, включающий спутниковую систему и другие источники данных о положении ВС (о координатах, высоте, скорости, курсе и пр.). Данные с борта ВС в заданном темпе (автоматически или по запросу) передаются на землю по специальному каналу связи. В рамках программы были определены и обоснованы состав, объем и темп передачи информации, необходимые для полного (т. е. однозначного и своевременного) определения положения ВС в ВП, обеспечивающие заданный уровень безопасности ВД.

Используя данные, приведенные в приложении 5, можно для определенной ситуации с учетом ее особенностей рассчитать и среднюю частоту передачи данных с борта ВС:

$$v_k = \sum_{i=1}^r p_{ki} F_{ki} q_i,$$

где  $v_k$  — информационная производительность элемента ВП  $k$ -го типа, бит/ч;  $p_{ki}$  — «частота» (или вероятность) передачи данных  $i$ -го типа,  $0 < p_{ki} < 1$ ;  $q_j$  — длина кодовой посылки  $i$ -го параметра, бит;  $F_{ki}$  — частота опроса  $i$ -го параметра в зависимости от конкретных свойств элемента ВП (участка трассы).

Вероятность возникновения той или иной ситуации (см. табл. в приложении 5)  $p_{ki}$  различна. По каждой ситуации сопоставляется определенная группа передаваемых параметров, причем длина

сообщения  $q$ , соответствует данным табл. П. 5.1. Частота опроса  $F_{ki}$ , как и предполагалось, находится в пределах от 20 до 720 1/ч (период опроса от 5 до 180 с — в соответствии с табл. П. 5.2).

Из данных табл. П. 5.1 следует, что длина (объем) посылки может составить от 87 до 336 бит. Таким образом, информационная производительность  $v_k$  может составлять от 1740 до 241 920 бит/ч. Первое значение относится к наиболее «простой» ситуации полета по трассе (с односторонним движением на одном эшелоне), а второе — к наиболее сложным условиям полета. Таким образом, максимальная информационная производительность одного источника (BC) составит 67,2 бит/с.

Численные значения параметров, входящих в выражение для расчета информационной производительности, как уже отмечалось, получены в результате исследований, проведенных комитетом FANS. В связи с этим и значение информационной производительности следует рассматривать как научно обоснованное, а именно как необходимое и достаточное для обеспечения заданного уровня безопасности полетов. С увеличением информационной производительности напряженность обслуживания растет.

В существующих системах УВД при применяемых технологиях и технических средствах сбора данных количество информации, которым располагает диспетчер, меньше величины, определяемой по методике FANS, что заставляет диспетчера использовать малоскоростной радиоканал «земля—борт—земля» и, таким образом, увеличивать потери времени на сбор и обработку информации о ВД. Это приводит к уменьшению пропускной способности.

### 1.3.5. Метеоинформация

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) сданными 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°;

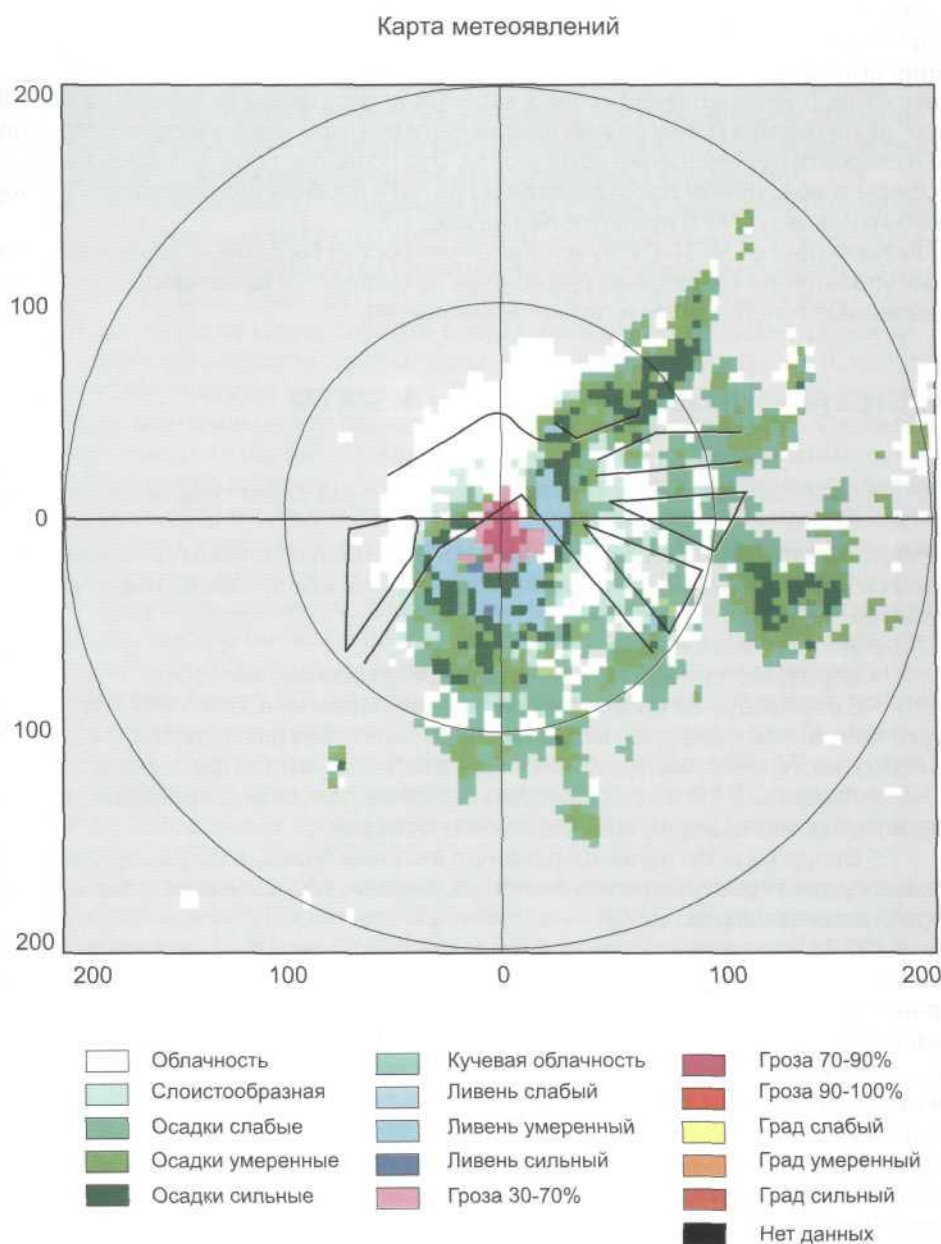


Рис 1.7. Пример оценки состояния атмосферы в воздушном пространстве по данным МРЛ

\*вертикальное сканирование в пределах от 1 до 95° (МРЛ — от 2 до 105°) с переменным регулируемым периодом обзора от 24 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 движением по цифровым каналам данных (сети, выделенные телеграфные и телефонные линии).

## 1.4. Стратегия развития системы CNS/ATM

### 1.4.1. Обоснование и основные положения новой стратегии развития

Радиолокатор, который до недавнего времени был основным средством диспетчерского наблюдения и контроля за воздушной обстановкой, имеет ряд недостатков.

Перечислим главные из них.

Зона действия РЛС ограничивается прямой видимостью.

В вертикальной плоскости диаграмма направленности такова, что существуют по крайней мере две «мертвые зоны»: на низких высотах, вплоть до земной поверхности, и вертикальная «воронка» в виде конуса, расширяющегося вверх.

Антенны РЛС имеют боковые и задние лепестки диаграммы направленности, вызывающие появление ложных отметок.

Ввиду того что период вращения антенны велик, а погрешности измерения координат растут с увеличением дальности, точность определения местоположения невысока.

Обслуживание сети воздушных трасс большой протяженности требует создания радиолокационного поля соответствующего размера. Однако оптимальная расстановка РЛС обычно невозможна вследствие ряда ограничений географического, экологического и технического характера.

Следует признать, что современные типы диспетчерских радиолокаторов достигли предела своего совершенства и всякое их улучшение дается высокой ценой.

Радиолокатор (с учетом его массовости) является наиболее дорогостоящим средством аэронавигационного обеспечения воздушного движения как по собственной цене, так и по капитальным затратам на его установку, оборудование радиолокационной позиции, подведение сетей энергоснабжения, прокладку дорог. К этому добавляются высокие эксплуатационные расходы, связанные с техническим обслуживанием, ремонтом и оплатой персонала, а также транспортные расходы и стоимость передачи данных при обмене информацией между радиолокационными позициями и центрами УВД.

К от им недостаткам добавляются технические проблемы обработки радиолокационных наблюдений (часть из них обсуждается в главах 6 и 7).

Если придерживаться прежней концепции, основанной на радиолокационном контроле, то это будет означать движение по экстенсивному пути развития системы ОВД. Более эффективным, как известно, всегда является интенсивный путь, предполагающий новую стратегию развития.

Предпосылкой и основанием перехода к новым средствам связи, навигации и наблюдения послужили, во-первых, их моральное и физическое старение, во вторых, несоответствие современным требованиям и, в-третьих, возможность использования новых информационных спутниковых технологий.

Специальный комитет, созданный в 1983 г. Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) и получивший наименование FANS по названию программы исследований путей развития аэронавигационных систем тогда еще будущего, XXI века, закончил свою работу в 1988 г., представив единственную концепцию, которая могла служить адекватным ответом вызову времени. Это была концепция развития систем связи, навигации и наблюдения (CNS), основанная на спутниковых технологиях. В процессе работы комитетом рассматривались два возможных пути построения глобальной системы CNS. Первый должен был привести к реализации системы



кооперативного независимого наблюдения (Cooperated Independent Surveillance — CIS). Ядро системы — созвездие специальных ретрансляционных искусственных спутников Земли (ИСЗ), которые принимают и затем переизлучают сигналы, передаваемые воздушным судном. Сообщение имеет формат, близкий к используемому во вторичной локации с адресным запросом. Оно содержит информацию о бортовом номере (позывном), высоте полета и другие дополнительные данные. В ретранслированное спутником сообщение включаются данные о точном моменте времени получения посылки от ВС. На станции, входящей в наземный сегмент системы, по времени задержки приходящего сообщения и по известным (измеренным) координатам ИСЗ с помощью решения известных уравнений (подробно см. в главе 10) рассчитываются координаты местонахождения ВС и параметры его движения. Эти данные сообщаются потребителям, в том числе и диспетчеру УВД.

Во втором варианте, получившем название автоматического зависимого наблюдения (Automatic Dependent Surveillance — ADS), не требовалось запуска дополнительных 16 ретрансляционных ИСЗ, но использовалась дополнительная система связи. Идея заключалась в том, чтобы транслировать с бортового передатчика по специально организованной системе связи данные о его местоположении (а также и о параметрах движения), которые могут быть получены на борту ВС от приемника-вычислителя GNSS/GLONASS. Это сообщение должно быть доступно всем заинтересованным потребителям, в том числе другим бортам и центрам УВД.

Предпочтение отдавалось второму варианту как более экономичному (по крайней мере, не требующему запуска дополнительных созвездий ИСЗ).

Сделаем два замечания. Первое касается термина «корпоративное зависимое наблюдение». Если исключить из системы ИСЗ, то под это определение подходит вторичная радиолокация с адресным запросом. Второе замечание относится к АЗН. Если из него «выбросить» спутниковую информацию, то по указанной выше специально выделенной системе связи ВС, оборудованное соответствующим передатчиком, может передавать свои координаты и параметры движения по данным бортовых систем (БНПК, ВСС). Основная проблема состоит в создании системы передачи данных, которая должна быть общедоступной, а также в синхронизации работы бортового и наземного оборудования. (Подробно вопросы, связанные с разработкой и использованием наиболее «продвинутого» варианта системы передачи данных, освещены в главах 9 и 10.)

Разработки комитета FANS носили, вообще говоря, рекомендательный характер, но эти нововведения при их реализации в полной мере должны неизбежно изменить в глобальном масштабе систему организации воздушного движения (АТМ). В связи с этим появился глобальный план ИКАО для систем связи, навигации и наблюдения/регулирования воздушного движения — CNS/АТМ — и разработана аэронавигационная стратегия для Европейской конференции по вопросам гражданской авиации (ЕКГА) в рамках международного агентства Евроконтроль.

#### 1.4.2. Связь с потребностями пользователей воздушного пространства

Мероприятия по модернизации и развитию систем АТМ в мировом масштабе и ЕС ОрВД Российской Федерации в рамках стратегии CNS/АТМ должны отвечать потребностям авиакомпаний, обусловленным ростом воздушного движения при обеспечении высокого уровня безопасности. В нынешних условиях авиакомпании стремятся:

\*использовать воздушное пространство в оптимальных условиях эксплуатации за счет выигрыша в расстоянии и высоте полетов (при минимизации расхода топлива);

\*сделать максимально экономичным использование наземной инфраструктуры, обеспечивающей вырубивание и взлеты без задержек, сокращенные сроки техобслуживания и т. д.

Для реализации этих потребностей разрабатываются новые концепции, такие как IMA (модульное интегрированное бортовое электронное оборудование), обеспечивающее оптимизацию собственно систем бортового оборудования, а также его техобслуживание и эксплуатацию за счет повышенной надежности. Отметим и влияние перспективного УВД на функции бортового электронного оборудования с требуемыми навигационными характеристиками (RNPC), ориентированного на использование в рамках системы автоматического зависимого наблюдения — АЗН (ADS):

\*сети авиационной телесвязи (АТН);

\*спутниковой навигации (GPS/GLONASS) и посадки (DGPS);

\*спутниковой связи (SATCOM).



Указанные особенности и тенденции развития бортовых средств навигации и посадки, которыми располагают (или будут располагать в недалеком будущем) пользователи ВП, следует учесть при выработке концепции модернизации и развития системы ОВД.

Рассмотренные характеристики бортового оборудования перспективных ВС могут дать существенный эффект, если и наземное оборудование, обеспечивающее навигацию, наблюдение и УВД, выйдет на соответствующий, более высокий уровень.

### 1.4.3. Общая характеристика стратегии

По прогнозам ИКАО, в ближайшие два десятилетия ожидается двукратный рост объема авиaperевозок в европейском регионе (включая исландское и океанические воздушные пространства).

При старых средствах связи, навигации, наблюдения и оповещения ряд крупных аэропортов уже в настоящее время оказываются перегруженными даже и нормальных условиях (не говоря уже о нестандартных ситуациях, связанных, например, с неблагоприятными метеорологическими условиями). В результате увеличиваются задержки вылета и прилета, нарушается регулярность и, как следствие, снижается экономичность перевозок, возрастает степень неблагоприятного влияния на экологию.

Наряду с аэропортами, ограничения в пропускной способности воздушного пространства создаются на трассах и маршрутах, особенно большой протяженности, которые пересекают многочисленные границы зон (в том числе и совпадающие с государственными границами).

Стратегия преследует противоречивые цели: обеспечить рост пропускной способности ВП для удовлетворения потребностей в авиaperевозках с одновременным снижением удельных затрат и повышением уровня безопасности ВД. Эти цели могут быть достигнуты с помощью новых технических средств и на их основе — новой организации УВД (СНН/ОВД) с применением передовых информационных технологий, среди которых наиболее эффективными являются спутниковые.

В основу стратегии положены следующие принципы:

*\*полнота:* новую организацию и управление необходимо применять для всех этапов полета (руление, взлет, полет по маршруту, заход на посадку, собственно посадка и послепосадочное руление), а также для наземных процессов, связанных с подготовкой и обеспечением полетов;

*\*единство:* стратегия направлена на удовлетворение потребностей всех пользователей воздушного пространства (включая пассажирские и грузовые перевозки, чартерные и спецрейсы, полеты военной авиации и др.);

*\*однородность:* переход на новые технологии должен осуществляться планомерно и последовательно органами ОВД всех стран-участников в соответствии с глобальной и региональной программами ИКАО (в европейском ВП — конвенцией Евроконтроля).

Стратегия предусматривает следующие инициативы:

\* организацию и управление движением в воздушном пространстве без национальных границ и на всех этапах полета;

\* разработку и применение новых единых стандартов, правил и практики безопасности;

\* создание структуры, обеспечивающей применение общих эффективных правил, регулирующих предоставление услуг ОВД всеми государствами;

\* экономически эффективную ОВД, предоставляющую услуги пользователям ВП и максимально удовлетворяющую их требованиям;

\* повышение производительности органов УВД с учетом человеческого фактора;

\* снижение затрат на АНО и ОВД за счет применения новых информационных технологий и технических средств, оптимизации структуры и процедур предоставления услуг пользователям ВП;

\* повышение пропускной способности ВП и аэропортов, элементов единой транспортной сети;

\* организацию принятия решений на основе новых информационных технологий для всех участников ВД;

\* оценку и снижение степени влияния на окружающую среду;

\*меры по дальнейшему улучшению взаимодействия между военными и гражданскими органами ОВД.

#### 1.4.4. Реализация стратегии

В соответствии со стратегией определены следующие направления развития системы ОВД и мероприятия по их реализации:

- \*повышение оперативности и качества наземного планирования всех этапов полета;
- \*оптимизация структуры маршрутов и секторов на основе технологии RNAV и введения RVSM;
- \* модернизация системы FDPS для поддержки полетов по гибким маршрутам и оперативного изменения маршрутов;
- \* оперативное управление наземным движением и пропускной способностью в воздушной зоне основных аэропортов;
- \* постепенное внедрение основных аэропортовых средств управления прибытием;
- \* улучшение интерфейса человек—система и рабочих мест диспетчеров;
- \*реализация системы тактического управления потоками (EFMS);
- \* внедрение методов управления информацией в масштабах всей системы ОВД;
- \* внедрение мобильной передачи данных основных аэропортов для поддержки разрешения на взлет и ATIS.

Наиболее важные вопросы реализации стратегии развития обсуждаются ниже. Полные сведения о плане реализации можно найти в приложении 6.

Рассмотрим три основные составляющие стратегии CNS.

*Иф\ОВД* и предоставление аэронавигационных услуг в зоне ЕКГА. Указанные сети связи должны быть совмещены с глобальными разработками.

Общая структура связи включает следующие компоненты:

- \*панъевропейские службы фиксированной сети (PENS), обеспечивающей международную систему телекоммуникаций на базе национальных инфраструктур передачи данных и речевой связи; технические средства позволяют осуществить управление данными, обеспечивают сквозную целостность, коммутацию и маршрутизацию передачи, уплотнение и управление сообщениями;
- \*мобильная сеть (MNS), обеспечивающая связь между подвижными объектами (самолетами и автомобилями) и наземными элементами при наличии функций управления сетевыми системами.

*Стратегия развития навигации.* Здесь главная цель состоит в постепенном, эволюционном, экологически эффективном и согласованном с требованиями потребителя предоставлении услуг по авиаперевозке, в переходе *кединой европейской ОВД* и создании инфраструктуры, обеспечивающих этот переход.

Основные направления для области навигации таковы:

- \*построение и обеспечение общей среды RNAV;
- \*поддержка и осуществление концепции «свободных маршрутов»;
- \*поддержка и осуществление общего воздушного движения;
- \* осуществление полетов 4D RNAV для поддержки перехода к полному управлению полетом на всех этапах к 2015 г.;
- \*постепенное развертывание и поддержка наземной и спутниковой инфраструктуры.

*Стратегия наблюдения* направлена на создание и использование новых технических средств и технологий, обеспечивающих необходимый уровень информативности наблюдений и сообщений об обстановке в воздушном пространстве и на земле, включая данные о местоположении движущихся объектов (ЛА и автомобилей), их взаимном расположении, а также данные о прогнозе движения и сведения об их намерениях. Соответствующая инфраструктура включает как новые, так и традиционные средства наблюдения и тесно связана с системами навигации и связи.

Ключевые моменты инфраструктуры таковы:

- \* автоматическое зависимое наблюдение в широкополосном режиме (ADS-B);
- \* радиолинии передачи дискретных данных — VDL с адаптивной организацией временного распределения;
- \*сеть наземных базовых станций;

\* использование в качестве первичных источников информации о местоположении и параметрах движения датчиков БНПК/FMS с постепенным переходом на спутниковые системы GNSS (или другие перспективные системы).

*Организация использования воздушного пространства.* Новые средства связи, навигации и наблюдения, повышающие информированность участников воздушного движения о воздушной обстановке, являются основой концепции *гибкого использования воздушного пространства* (FUA) в рамках программы EATCIP (1995 г.). Суть концепции состоит в сочетании новых возможностей, которые дают современные бортовые системы, по точному определению местоположения, высоты и параметров движения ВС с развитием технологии зональной навигации (RNAV). Это позволяет использовать ранее недоступные зоны ВП, спрямленные маршруты при улучшенной координации как между региональными центрами ОВД, так и между межведомственными структурами (гражданскими и военными). К 2010 г. предполагается при совместном планировании рассматривать ВП как континуум с укрупненными FIR.

*Дополнительные эшелоны полета.* Повышение точности измерения высот и определения местоположения ВС позволяет в европейском регионе с 2001 г. вводить сокращенные минимумы вертикального эшелонирования (RVSM) до 1000 футов (305 м) в верхнем воздушном пространстве. В результате увеличивается физическая пропускная способность ВП, уменьшается сложность управления на встречных маршрутах и пересекающихся трассах. Это позволяет ВС летать ближе к оптимальным высотам, обеспечивая тем самым большую экономичность.

Наряду с положительным эффектом изменение норм эшелонирования вызывает дополнительные трудности для системы УВД по обеспечению безопасности в контролируемом ВП. Для снижения загрузки и напряженности работы диспетчера предпринимается следующее:

\* использование автоматизированных средств помощи диспетчеру при планировании и решении тактических задач прокладки (корректировки) маршрутов;

\* перераспределение задач управления между группами сектора или между диспетчерами в рамках центра управления;

\* при наличии в кабине ВС средств отображения воздушной обстановки с полной информативностью — передача экипажу функций контроля и ответственности за выдерживание норм эшелонирования;

\* использование ABS-B и средств среднесрочного обнаружения конфликтов (MTCD), что позволяет надежно прогнозировать ситуацию на 20 минут, своевременно обнаружить ПКС и уменьшить таким образом число необходимых корректировок;

\* совокупность точных сведений о 40-траекториях и системах FDP предоставляет возможность использования процедур многосекторного планирования бесконфликтных траекторий, следствием чего является как снижение оперативной загрузки диспетчера, так и сокращение незапланированного расхода топлива и числа задержек, т. е. в конечном счете повышение экономичности и регулярности полетов.

## Глава 2. СПУТНИКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

### 2.1. Спутниковая навигация

Стратегия развития систем связи, навигации и наблюдения в ГА основывается на спутниковых технологиях. Спутниковые радионавигационные системы (СРНС) обладают рядом преимуществ по сравнению с навигационными измерителями радиотехнического и инерциального типа, обзор которых приведен в главе 1. В отличие от радиолокаторов, РСБН и РСДН спутниковые системы в значительно меньшей степени подвержены влиянию помех, вызванных аномалиями распространения и переотражениями, влиянием рельефа местности и других фактов.

СРНС имеют высокие характеристики надежности, готовности, целостности и непрерывности, недостижимые для систем других типов. Очень важными свойствами спутниковых систем являются универсальность (они могут использоваться на всех этапах полета), доступность (оперативный выбор периодичности измерений), высокая точность и информативность. СРНС позволяют определять не только местоположение ВС, включая высоту, но и параметры его движения (путевую и вертикальную скорости, значения ускорений и путевой угол).

Радионавигационные точки СРНС располагаются на навигационных искусственных спутниках Земли (НИСЗ). НИСЗ обращаются на высотах от 600 до 36 000 км. Благодаря этому расстояние прямой видимости НИСЗ оказывается весьма значительно, что полезно для навигационных измерений.

Существуют две разновидности СРНС, различающиеся зоной действия:

- \*регионального типа, когда рабочая область ограничена определенным регионом (например, районом Северной Атлантики или территорией отдельного государства);

- \*глобального типа, когда навигация обеспечивается по всему земному шару.

Наибольшую известность получила в настоящее время глобальная система NAVSTAR GPS. До недавнего времени система имела 18 основных НИСЗ и три резервных, но сейчас уже функционирует полный комплект НИСЗ, состоящий из 24 рабочих спутников. Высота полета НИСЗ над поверхностью Земли в этой системе составляет 20 183 км. Наземный командно-измерительный комплекс (КИК) включает:

- \*четыре станции слежения за НИСЗ (Monitor Station);

- \* корректирующую станцию (Upload Station);

- \* главную станцию управления (Master Control Station).

Станции слежения располагаются на Гавайских островах, острове Гуам, Аляске и в Калифорнии.

Отечественная система GLONASS основана на принципах, близких к заложенным в систему NAVSTAR. Основное различие между системами NAVSTAR и GLONASS заключается в используемом частотном спектре, который в системе NAVSTAR характеризуется единой применяемой частотой передачи для всех НИСЗ, в то время как в системе GLONASS используется частотное разделение каналов приема сигналов НИСЗ.

История создания СРНС насчитывает несколько десятилетий. СРНС первого поколения («Цикада», «Транзит») не обеспечивали непрерывного и глобального определения местоположения, длительность определения координат составляла порядка 15 минут, а точность была невысока (сотни метров). При создании систем второго поколения (GPS, GLONASS) был учтен опыт эксплуатации их предшественников. Системы стали глобальными, и точность определения координат существенно выросла.

Глобальная спутниковая навигационная система (ГСРНС), предоставляющая своим пользователям координатную информацию с беспрецедентной точностью, не могла не найти широкого применения. Причем с развитием ГСРНС она находит все новые и новые области применения. Если в начале применение СРНС предполагалось лишь на этапе полета по маршруту, то теперь реально можно говорить о посадочных системах, бортовых системах предотвращения столкновений на основе СРНС, системах передачи данных, использующих СРНС, системах связи и т. д.

## 2.2. Структура и характеристики СРНС

### 2.2.1. Принцип действия

В общем случае СРНС состоит из трех основных частей:

- космическая часть (сегмент) системы;
- наземная часть (сегмент) системы;
- аппаратура потребителей.

Структурная схема СРНС представлена на рис. 2.1.

Далее будет рассматриваться СРНС NAVSTAR. Эта система является реализацией СРНС без активного ответа, что обеспечивает неограниченную пропускную способность и ее слабую чувствительность к помехам. В отличие от СРНС, использующих НИСЗ на стационарных орбитах, данная система может обслуживать потребителей и в полярных районах, что и позволяет называть ее глобальной.

Для определения параметров движения ВС на борту необходимо получить и обработать данные от четырех НИСЗ. Сначала на борту ВС с координатами  $x_{ВС}$ ,  $y_{ВС}$  и  $z_{ВС}$  определяются *псевдодальности* до каждого из четырех НИСЗ, координаты которых  $X_i$ ,  $Y_i$ ,  $Z_i$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$  в экваториальной гринвичской системе координат вычисляются на основании эфемеридной информации, передаваемой со спутников. Псевдодальности  $D_i$  отличаются от действительных дальностей  $R_i$  на величины погрешностей распространения радиоволн  $\delta_r$ , часов НИСЗ  $\delta_{с.ч}$  и самолетного стандарта времени ВС:

$$D_i = R_i + \delta_r + \delta_{с.ч} + \delta_{с.в}. \quad (2.1)$$

При получении сигналов от четырех НИСЗ решается система из четырех уравнений вида:

$$D_i = \sqrt{(x_i - x_{ВС})^2 + (y_i - y_{ВС})^2 + (z_i - z_{ВС})^2} + \delta_r + \delta_{с.ч} + \delta_{с.в}. \quad (2.2)$$

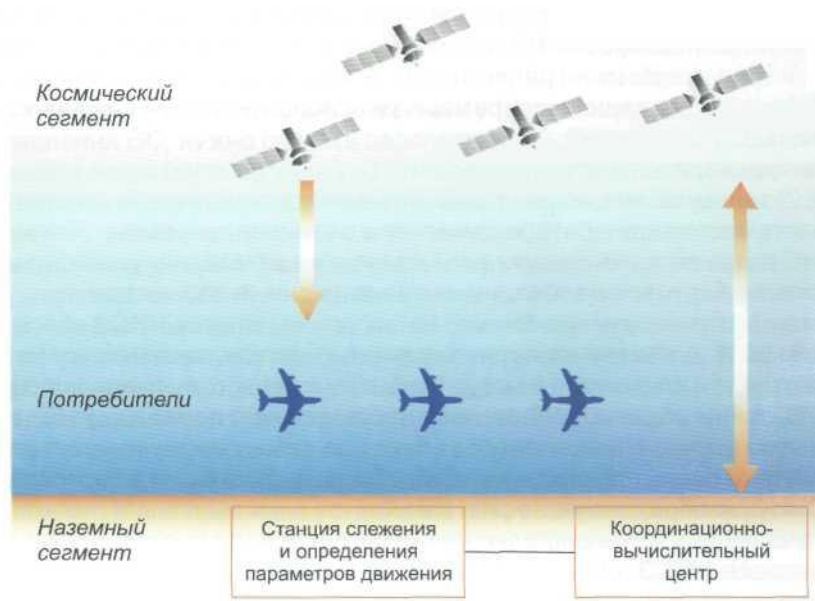


Рис. 2.1. Структурная схема СРНС

После предварительного определения  $\delta_r$  и  $\delta_{с.ч}$  рассчитываются четыре неизвестных, из которых три являются пространственными координатами ВС, а четвертая  $\delta_{с.в}$  — погрешностью часов стандарта времени ВС. Продифференцировав уравнения по времени, получим следующие соотношения:

$$\dot{D}_i = \frac{(\dot{x}_{BC} - \dot{x}_i)(x_{BC} - x_i) + (\dot{y}_{BC} - \dot{y}_i)(y_{BC} - y_i) + (\dot{z}_{BC} - \dot{z}_i)(z_{BC} - z_i)}{D_i} + \delta_p + \delta_{с.ч} + \delta_{с.в}, \quad (2.3)$$

где  $x_i, y_i, z_i$  — составляющие скорости  $i$ -го спутника, вычисляемые на основе эфемеридных данных.

*Эфемеридами* называются предвычисленные значения координат и скорости НИСЗ. При навигационных определениях на борту, конечно, желательно было бы иметь всю необходимую информацию об эфемеридах в таком виде, чтобы использовать ее в любой момент времени без привлечения средств связи с наземными пунктами управления. Однако интервал прогноза ограничен, что требует оперативной доставки на борт самолета эфемеридной информации на срок наблюдений. Сейчас эфемеридная информация передается на борт с помощью НИСЗ, который производит запоминание эфемерид, относящихся к определенным моментам времени, и их выдачу в период навигационных измерений. Для этого стационарными наземными пунктами наблюдения, называемыми командно-измерительными центрами, замеряются текущие координаты НИСЗ с точной привязкой результатов измерений ко времени. Результаты измерений периодически обрабатываются, что дает возможность вычислять элементы орбиты спутников на определенные моменты времени. Эти данные используются для прогноза движения НИСЗ, а результаты прогнозирования передаются на борт НИСЗ и закладываются в бортовое запоминающее устройство.

В дальнейшем производится последовательная выборка прогнозируемых значений координат и скорости НИСЗ, относящихся к определенным моментам времени, и трансляция их по радиоканалу. Аппаратурой потребителей ведутся прием и регистрация принятых эфемерид и использование их при навигационных расчетах.

После предварительного определения  $D_i, \delta_p, \delta_{с.ч}$  по четырем уравнениям (2.1) и (2.2) вышеуказанного вида рассчитывают составляющие скорости ВС и погрешность частоты генератора самолетного стандарта времени. Таким образом, СРНС позволяет, используя прогностическую эфемеридную информацию, определить на борту все необходимые навигационные параметры.

При этом в случае одновременного наблюдения четырех НИСЗ обеспечивается режим 3D (т. е. измеряются три координаты местоположения и время). Если наблюдаются три спутника, то могут быть вычислены только две координаты (режим 2D, таким образом, аналогичен наблюдению с помощью РНС; высота полета в этом случае определяется на борту по автономному измерителю).

Рассмотрим схему прохождения и обработки информации в бортовой аппаратуре СРНС, изображенную на рис. 2.2.

На этапе *первичной обработки* навигационной информации производятся прием сигналов НИСЗ, определение измеряемых навигационных параметров псевдодалности от ВС до НИСЗ, скорости изменения псевдодалности, выделение эфемеридных данных, определение с использованием этих данных параметров движения НИСЗ  $x_j, y_i, z_i$  в прямоугольной экваториальной гринвичской системе координат, а также погрешностей  $\delta_p, \delta_{с.ч}, \delta_{с.в}$ .

На этапе *вторичной обработки* информации производится оценка параметров движения ВС, а также преобразование координат ВС к виду, удобному для использования в бортовой системе управления.



Рис. 2.2. Схема прохождения и обработки информации в бортовой аппаратуре CPNC

Следует заметить, что использование СРНС до недавнего времени ограничено применением их в качестве дополнительного источника получения навигационной информации, а не основного. Поэтому часть изображенной схемы, относящаяся к выработке непосредственных управляющих воздействий на органы управления ВС, нужно считать перспективной. Пока же потребитель имеет возможность применять аппаратуру СРНС лишь как дополнительную навигационную систему. Конечно, на практике пользователи часто применяют для определения местоположения именно аппаратуру СРНС, полагаясь на ее беспримерную точность, но ИКАО еще не выработало никаких требований и рекомендаций, касающихся СРНС и ее применения, хотя это по самым пессимистическим оценкам дело ближайших пяти лет. В ближайшее время потребители СРНС смогут рассчитывать лишь на комплексное применение ее с другими навигационными системами на основе параллельного использования.

Исследования орбитальных характеристик СРНС показали, что для создания единого радионавигационного поля требуется 24 НИСЗ. Эти спутники располагаются на трех нестационарных орбитах таким образом, чтобы в любой точке земного шара приемное устройство потребителя принимало сигналы, по крайней мере, четырех НИСЗ. Некомплектность созвездия НИСЗ приводит к появлению зон ухудшенных точностных характеристик СРНС. На самом деле приемное устройство потребителя фиксирует в среднем восемь-девять НИСЗ. Задача выбора созвездия, обеспечивающего наилучшую точность, решается в аппаратуре потребителей с помощью специально разработанных алгоритмов.

## 2 2.2. Точностные характеристики

К потребителям СРНС поступает информация о текущем значении навигационных параметров и эфемеридная информация. Поэтому следует выделить два канала связи потребителя с НИСЗ:

- \*канал навигационной информации;
- \*канал эфемеридной информации.

Информация, поступающая по обоим каналам, искажена помехами. Каждый канал вносит свои погрешности, и, кроме того, обработка поступающей информации также имеет свои погрешности. Условно можно разбить систему погрешностей навигационных определений на две подсистемы:

- \*погрешности системы спутникового обеспечения;
- \*погрешности определения навигационных параметров.

Система спутникового обеспечения, состоящая из станций слежения, обработки и передачи данных, служит для определения координат НИСЗ и скорости их изменения, характеристик фазы и частоты генераторов (которые необходимы потребителю для навигационных определений). Погрешности системы спутникового обеспечения очень малы, но их учет вызывает значительные трудности. Данные по точности передаваемых эфемерид для системы NAVSTAR GPS приведены в табл. 2.1.

Ошибки прогноза эфемерид возникают в основном из-за неточности геопотенциальной модели Земли.

Наибольший вклад вносит вторая подсистема погрешностей. В системе NAVSTAR GPS имеются два вида дальномерных кодов, которые различаются точностными характеристиками: точный P-код и более грубый код C/A. До не-

Таблица 2.1. Погрешности передаваемых эфемерид

| Составляющая ошибки               | Ошибка (1 $\sigma$ ) за 24 часа |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| Радиальная                        | 0,7 м                           |
| Продольная                        | 3,5 м                           |
| Поперечная                        | 0,7 м                           |
| Смещение частоты стандарта        | 100 нс                          |
| Дрейф частоты стандарта           | 1 $\times$ 10                   |
| Скорость дрейфа частоты стандарта | 4 $\times$ 10                   |

давнего времени P-код был доступен только для санкционированных пользователей, основную часть которых составляют военные ведомства. Код C/A был доступен для гражданских пользователей. Информация в случае применения кода C/A специально загроублялась. В настоящее



время ситуация изменилась, P-код открыт для общего применения. В табл. 2.2 приведены основные данные по погрешностям системы NAVSTAR GPS.

Модель измерения навигационных параметров в СРНС может быть представлена в виде:

$$R_i = D_i(x, y, z, x_c, y_c, z_c) + b + w, \quad (2.4)$$

где  $R_i$  — результаты псевдодальномерных измерений для  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_i$ ;  $D_i$  — дальность от ВС до НИСЗ в  $i$ -й момент времени;  $x, y, z, x_c, y_c, z_c$  — координаты ВС и НИСЗ;  $b$  — постоянное смещение, обусловленное погрешностью синхронизации часов НИСЗ и ВС;  $w$  — шумовая погрешность  $i$ -го измерения.

Основными составляющими шумовой погрешности измерений являются ионосферная и тропосферная погрешности, причем ионосферная погрешность превосходит тропосферную по величине. Причина возникновения этих погрешностей кроется в искривлении траектории распространения радиоволн и в неравномерности скорости их распространения, которая вызывается неравномерным распределением показателя преломления в пространстве. Сам же показатель преломления в ионосфере определяется распределением объемной плотности электронов по высоте. Концентрация электронов и ее распределение по

Таблица 2.2. Погрешности системы NAVSTAR GPS

| Система NAVSTAR GPS                   | P-код | C/A код |
|---------------------------------------|-------|---------|
| Погрешность определения               |       |         |
| дальности ( $2\sigma_D$ ), м          | 5,6   | 30      |
| скорости ( $2\sigma_V$ ), м/с         | 0,2   | —       |
| времени ( $2\sigma_t$ ), нс           | 48    | —       |
| высоты ( $2\sigma_H$ ), м:            |       |         |
| прогнозируемая                        | 27,7  | 156     |
| повторяющаяся                         | 27,7  | 156     |
| относительная                         | 11,7  | 44,5    |
| местоположения ( $2\sigma_{MP}$ ), м: |       |         |
| прогнозируемая                        | 17,8  | 100     |
| повторяющаяся                         | 17,8  | 100     |
| относительная                         | 7,6   | 28,4    |

высоте зависят от времени года и суток, солнечной активности, географического положения и других факторов. В данной зависимости весьма существенен вклад случайной составляющей, что крайне затрудняет коррекцию ионосферной погрешности на основе априорных данных. Величина ионосферной погрешности зависит от угла места НИСЗ и частоты излучаемых радиоволн.

Зависимость ионосферной погрешности от частоты дает возможность корректировать эту погрешность при помощи применения двухчастотных каналов связи с НИСЗ.

Геометрия спутниковой системы оказывает существенное влияние на точность навигационных определений. Влияние расположения созвездия НИСЗ характеризуется *геометрическим фактором* СРНС. Геометрический фактор связывает дальномерную погрешность с С.К.О. определения местоположения и может принимать различные значения в зависимости от взаимного положения НИСЗ и ВС. Можно выделить следующие типы геометрического фактора:

- \* в горизонтальной плоскости ( $\Gamma_H$ );
- \* в вертикальной плоскости ( $\Gamma_B$ );
- \* в пространстве ( $\Gamma_P$ );
- \* при определении поправки к шкале времени потребителя;
- \* суммарный ( $\Gamma_E$ ).

Суммарный геометрический фактор равен:

$$\Gamma_\Sigma = \sqrt{\Gamma_P^2 + \Gamma_t^2}; \quad \Gamma_P = \sqrt{\Gamma_H^2 + \Gamma_B^2}. \quad (2.5)$$

Следует заметить, что наибольший вклад в суммарную погрешность геометрического фактора вносит высотная составляющая ( $\Gamma_B$ ).

При характеристике точности СРНС часто используют параметр  $\sigma$  — среднеквадратичное значение геометрического фактора, полученное усреднением по времени и по поверхности земного шара при работе с оптимальным созвездием из четырех НИСЗ. Для системы NAVSTAR значения геометрического фактора таковы:  $\delta_{\Gamma_P} = 2,6$ ;  $\delta_{\Gamma_H} = 1,45$ ;  $\delta_{\Gamma_B} = 1,2$ .

Геометрический фактор можно охарактеризовать коэффициентом трансформации (КТ) погрешностей измерения навигационных параметров в погрешности определения параметров движения ВС. Можно также рассматривать КТ, характеризующий геометрический фактор в горизонтальной плоскости и вертикальной плоскости.

Аппаратура потребителей СРНС осуществляет выбор оптимального созвездия при помощи упрощенного алгоритма. Сначала выбирается НИСЗ, находящийся ближе всех к зениту ВС, а остальные три НИСЗ выбираются с тем расчетом, чтобы геометрия взаимного расположения спутников была бы оптимальной и обеспечивала наибольшую точность определений координат. (Идеальное размещение спутников над горизонтом под углом  $120^\circ$  друг к другу). Однако даже при приеме сигналов от четырех НИСЗ могут появляться районы, где точность определения местоположения будет ниже требуемой. Это может происходить вследствие искривления орбиты или просто из-за неудачного расположения НИСЗ в выбранном созвездии. Решением проблемы может быть внедрение в общую сеть НИСЗ дополнительных геостационарных спутников, оборудованных аппаратурой связи. При этом предусматривается существенное упрощение аппаратуры СНС на геостационарных НИСЗ за счет применения только грубого C/A кода. В этом случае НИСЗ выполняет роль ретранслятора, а большинство оборудования, в том числе и атомный стандарт времени, находится на наземной станции. Кроме того, Федеральное управление ГА США (FAA) также обратило внимание на проблему создания контролирующей системы, после чего попросило фирму MITRE исследовать этот вопрос и выдвинуло требование создания контролирующей системы, которая должна обеспечивать потребителей GPS тревожной информацией об аномальном поведении НИСЗ (контроль целостности). Для передачи тревожной информации может быть использован блок спутниковой связи на геостационарном НИСЗ.

### 2.2.3. Передаваемая СРНС информация

СРНС позволяют обеспечить потребителей данными об их местоположении, и притом с высокой точностью, в любое время суток, в любом месте. В системах GLONASS и NAVSTAR для этого используется передача данных с малой скоростью (50 бод, т. е. бит/с). Содержание передаваемых сообщений позволяет потребителям вычислять свое текущее положение и скорость любого спутника на заданный момент времени, а также прогнозировать появление данного спутника над горизонтом.

Структура полного сообщения НИСЗ имеет вид, показанный на рис. 2.3.

Приняты обозначения, которые расшифровываются следующим образом.

TLM — содержит синхропосылку и телеметрическую информацию, характеризующую состояние систем спутника. Синхропосылка служит для синхронизации приемной аппаратуры.



Рис. 2.3. Структура сообщения, передаваемого НИСЗ

Таблица 2.3. Структуры альманахов систем NAVSTAR и GLONASS

| NAVSTAR                | GLONASS                      |
|------------------------|------------------------------|
| Идентификатор          | Номер канала                 |
| Эксцентриситет         | Эксцентриситет               |
| Наклонение             | Наклонение                   |
| Время альманаха        | Время пересечения экватора   |
| Состояние спутника     | Достоверность альманаха      |
| Восходящий узел (ВУ)   | Долгота пересечения экватора |
| Скорость изменения ВУ  | —                            |
| Корень главной полуоси | Период орбиты                |
| Аргумент перигея       | Аргумент перигея             |
| Средняя аномалия       | —                            |
| —                      | Лунно-солнечная подставка    |
| Время отклонения       | Время отклонения             |
| Частота отклонения     | —                            |

HOW — является кодовой посылкой, которая описывает состояние P-последовательности.

Все данные, необходимые для формирования информационного сообщения, за исключением частей TLM и HOW, передаются на НИСЗ с наземных станций управления. Данные TLM и HOW формируются на спутниках. Если требуется корректировка частоты атомного стандарта спутника, то в сообщении появляется соответствующий сигнал предупреждения.

Содержание сообщения, передаваемого спутниками NAVSTAR GPS, можно разделить на три обособленных блока:

\*блок 1: поправки к бортовому времени спутника;

\*блок 2: эфемериды спутника;

\*блок 3: альманах.

Блок 1 содержит ионосферные поправки, данные вековых возмущений и временную поправку, которая аппроксимирует отклонение бортового времени полиномом с членами, учитывающими мгновенное отклонение ( $a_0$ ), в секундах, и его первую и вторую производные ( $a_1$  и  $a_2$ ).

Блок 2 содержит эфемериды, представленные оскулирующими членами — элементами эллипса Кеплера, с дополнительными поправками по аргументу широты, радиусу и наклонению, рассчитанными на фазовый центр антенны спутника в геоцентрической системе координат.

Навигационное сообщение в системе GLONASS содержит только два раздела:

\*раздел 1: временные поправки ( $a_0$ ,  $a_1$ ) без второй производной ( $a_2$ );

\*раздел 2: эфемериды и альманах.

Эфемериды системы NAVSTAR передаются на промежуток времени в несколько часов. В системе GLONASS пространственные координаты даются через каждые полчаса.

Рассмотрим структуры альманахов систем NAVSTAR и GLONASS. Как можно заметить из табл. 2.3, величины большинства параметров идентичны или близки.

Альманах в системе NAVSTAR GPS достоверен в течение нескольких суток, а в системе GLONASS обычно (но не всегда) он меняется каждые сутки в полночь.

## 2.3. Расширение функций СРНС

### 2.3.1. Дифференциальный режим

Точность измерения координат с помощью СРНС на этапе полета по маршруту вполне достаточна. Большой интерес вызывает использование данной системы и на этапе посадки. Однако та точность, которая обеспечивается стандартными режимами работы СРНС, не является достаточной для обеспечения безопасной посадки. Даже точный P-код не обеспечивает необходимую точность. Это побудило к разработке путей повышения точности СРНС. Была предложена и разработана идея точной посадочной спутниковой системы на основе использования дополнительной наземной станции коррекции, размещаемой в районе посадки. Такая станция

должна быть установлена в фиксированной точке с известными координатами. На этой станции устанавливается аппаратура СРНС и получают от нее координатную информацию, которую сравнивают с истинными координатами станции. В результате вычисляются ошибки определения координат СРНС. Полученные таким образом *дифференциальные поправки* необходимо передать потребителям, которые смогут скорректировать свои измерения. Такая модификация СРНС получила название *дифференциальной СРНС* (DGPS). Структурная схема дифференциальной СРНС показана на рис. 2.4.

Возможно несколько реализаций идеи дифференциальной СРНС.

Вариант 1. Приемник помещается в известной точке, и измеряются ошибки определения координат, полученных при помощи СРНС. Данная информация передается на пользовательский приемник. Недостатки этой реализации ДСРНС состоят в том, что достоверность поправок ухудшается с увеличением расстояния между корректирующей станцией и приемником пользователя, причем оба приемника (на станции и у потребителя) должны использовать один и тот же набор рабочих НИСЗ. Учитывая локальность применения ДСРНС, можно утверждать, что вероятность выбора различных созвездий НИСЗ приемником СРНС на корректирующей станции и на борту ВС невелика, так как алгоритмы выбора оптимального созвездия на обоих приемниках будут практически одинаковы. Однако несовпадение созвездий все-таки возможно.

Вариант 2. Приемник располагается в известной точке, определяются ошибки в псевдодальностях до всех видимых НИСЗ и передаются пользователям. При таком подходе пользователь может использовать любую группу НИСЗ, в том числе и не совпадающую с используемой и приемником СРНС на корректирующей станции.

Вариант 3. Наземная станция выступает в роли псевдоспутника. Вычисляются отклонения в псевдодальностях до всех НИСЗ, и эта информация включается в состав сообщения, передаваемого данным псевдоспутником. Пользователь получает эти данные как часть регулярной навигационной информации и соответствующим образом корректирует измерения.

Все три варианта реализации ДСРНС требуют наличия линии передачи данных между корректирующей станцией и пользовательским приемником. Это ограничивает возможности применения ДСРНС относительно небольшой областью пространства, в пределах прямой радиовидимости.

Другим ограничивающим фактором является ухудшение точности передаваемых поправок с увеличением расстояния от базовой станции коррекции до ВС.

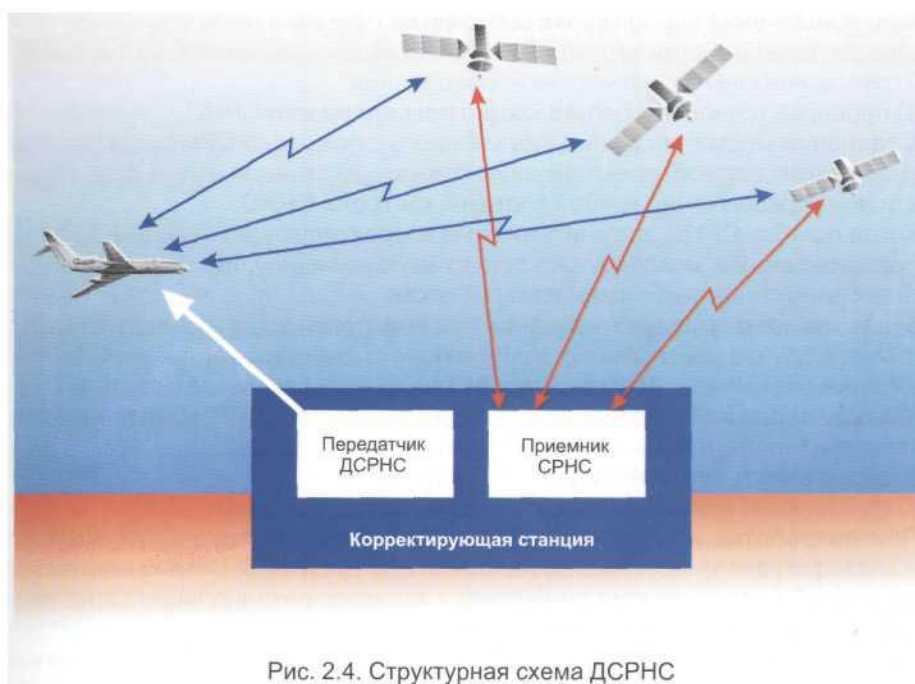


Рис. 2.4. Структурная схема ДСРНС

Поправка псевдодальности на станции коррекции равна разности между ожидаемым и фактическим временем приема сигнала. Ожидаемое время приема определяется исходя из данных об истинном местоположении станции коррекции и предполагаемого местоположения спутника. Вносимая ошибка по дальности прямо пропорциональна расстоянию между станцией коррекции и приемником пользователя.

В вариантах 2 и 3 поправки к псевдодальностям действительно посылаются пользователям, а в варианте 1 передаются поправки к координатам в земной системе координат. Ошибка в координате связана с погрешностью определения дальности (значением коэффициента PDOP):

$$E_x = \text{PDOP} \times E_r,$$

где  $E_x$  — ошибка по координате, а  $E_r$  — ошибка по дальности.

Коэффициент PDOP является функцией взаимного расположения пользователя и спутника (геометрический фактор).

Как мы видим, ДСРНС чувствительна к поперечному смещению спутника, в отличие от стандартной СРНС, которая очень чувствительна к радиальному смещению спутника.

ДСРНС, реализованная по варианту 1, была испытана фирмой TEXAS INSTRUMENTS (TI). При расстоянии между наземной станцией и ВС в 10-15 км ошибки составляли 4-5 метров.

Область применения ДСРНС достаточно обширна. Перечислим несколько возможных путей применения ДСРНС:

- 1) обеспечение посадки по приборам на необорудованных аэродромах;
- 2) обеспечение всепогодных околобереговых полетов вертолетов; это важно в связи с расширением нефтеразработок в прибрежных районах, что потребовало применения всепогодных вертолетов с точным навигационным оборудованием (точность стандартной СРНС не всегда оказывается достаточной);

- 3) сейсмические геодезические исследования;

- 4) проверка точности и сигнализация неисправности СРНС.

Сравнение местоположения, полученного с помощью СРНС, с известными координатами опорной наземной корректирующей станции может быть положено в основу чрезвычайно точной системы контроля СРНС.

Когда ошибка СРНС, рассчитанная на корректирующей станции, превосходит установленную, максимально допустимую величину, пользователю может быть послано сигнальное извещение об этом;

- 5) возможность функционирования при неисправностях атомного стандарта спутника; в случае неисправности спутникового стандарта времени ошибка определения системного времени станет очень большой и этот спутник станет непригодным для использования в стандартной СРНС; ДСРНС будет в состоянии скорректировать большую ошибку спутниковых часов;

- 6) возможность применения ДСРНС в целях УВД;

- 7) применение аварийно-спасательными службами.

При разработке и внедрении ДСРНС наибольшие трудности возникают в организации канала связи между наземной станцией и ВС. Самым многообещающим способом организации линии связи является ретрансляция сигналов наземной станции коррекции спутниками. В качестве ретрансляционных спутников могут быть применены как спутники системы NAVSTAR, так и дополнительные геостационарные спутники связи. Однако этот путь организации канала передачи данных является очень сложным и дорогим, хотя современные технологии позволяют его реализовать. Представленные уже сейчас спутниковые посадочные системы (фирма TRIMBLE) используют прямую передачу поправок с наземной станции пользователям. Это и диктует небольшой радиус действия системы (25-40 км). Погрешности определения координат приведены в табл. 2.4.

Как можно заметить, точность СРНС даже в дифференциальном режиме не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к перспективным MLS/ILS системам посадки. Но ожидается, что требования к посадке с использованием ДСРНС будут несколько мягче. Этим вопросом в данное время занимается группа по перспективным системам навигации и посадки ИКАО и FAA.

Фирма TRIMBLE предложила уникальную разработку спутниковой системы посадки, которая обеспечивает точность до 1,5-2 м и обновление информации 4 раза в секунду. При этом посадочная информация от приемника ДСРНС на борту поступает прямо на ПНП (CDI), что облегчает восприятие информации пилотам, которые привыкли к подобной индикации посадочной информации. Кроме того, в данной системе организована передача навигационной информации о ВС на КДП, что обеспечивает еще и функцию слежения со стороны УВД. Причем индикация координатной информации на КДП осуществляется с помощью специального программного обеспечения (AV-TRACK) на дисплее на фоне электронной карты зоны полетов. Эта аппаратура

является одновременно и системой посадки, и системой УВД и представляет собой прототип комплексных многофункциональных систем навигации, посадки и УВД будущего (CNS/ATM).

Комитетом ИКАО одобрено использование СРНС как дополнительного средства навигации. В 1996 г. Федеральное авиационное агентство США (FAA) приняло постановление об использовании этого бортового средства в качестве ос-

Таблица 2.4. Точностные характеристики ДСРНС

| Источники ошибок определения псевдодальностей      | С/А код S/A вкл | С/А код S/A выкл | P-код | ДСРНС |
|--|-----------------|------------------|-------|-------|
| Ошибки часов НИСЗ                                  | 2               | 2                | 2     | 0     |
| Ошибки эфемерид                                    | 4               | 4                | 4     | 0     |
| Ионосферные задержки                               | 8               | 8                | 1     | 0     |
| Тропосферные задержки                              | 3               | 3                | 3     | 0     |
| Шум схемы приемника                                | 0,5             | 0,5              | 0,3   | 0,5   |
| Отражение сигналов                                 | 1,5             | 1,5              | 1     | 1,5   |
| Ограниченный доступ S/A                            | 32              | 0                | 0     | 0     |
| Суммарная ошибка определения псевдодальности       | 33              | 10               | 6     | 1,6   |
| Средний горизонтальный геометрический фактор, HDOP | 1,5             | 1,5              | 1,5   | 1,5   |
| Средняя ошибка определения координат, 95%          | 100             | 30               | 18    | 5     |
| Средний вертикальный геометрический фактор, VDOP   | 2,2             | 2,2              | 2,2   | 2,2   |
| Средняя ошибка определения высоты, 95%             | 145             | 44               | 26    | 7     |

*Примечание* Среднеквадратические погрешности приведены в метрах

нового на трансокеанских маршрутах. Применение ОКНО в качестве вспомогательного средства навигации вызывает необходимость комплексирования с другими навигационными системами, такими как РДРНС Омега, Лоран или автономная навигационная система (АНС), использующая ИКВ. Следует отметить, что комплексирование СРНС и бортовых навигационных систем дает чрезвычайно полезные результаты даже в том случае, если точность последних относительно невысока. Периодическое поступление точных спутниковых данных обеспечивает коррекцию счисляемых БНК координат. Комплексирование гарантирует также непрерывность получения координат в случае кратковременного пропадания спутниковых данных (например, при эволюциях ВС). Комплексирование возможно в двух вариантах:

- 1) на уровне аппаратного объединения в единую систему навигации;
- 2) на уровне параллельного использования навигационных данных, поступающих от различных систем.

Аппаратное объединение имеет неоспоримые преимущества, однако оно часто сопряжено с большими трудностями в части практической реализации, так как требует конструктивных доработок объединяемых систем.

Параллельное использование средств навигации в настоящее время широко распространено на практике. Обычно СРНС используется для контроля счисления пути бортовыми комплексами и его коррекции.

### 2.3.2 Перспективы развития глобальной спутниковой системы связи и передачи данных

В перспективной системе ОВД большое внимание уделяется качественному обеспечению аэронавигационной информацией экипажей ВС и других пользователей ВП. Существующая система обеспечения АНИ заключается в предоставлении всех необходимых данных непосредственно перед полетом, а также в организации радиоканалов связи с наземными службами. Создание спутниковой системы передачи информации обеспечит надежную дальнюю связь, в которой так нуждаются сейчас авиакомпании, экипажи и службы УВД. Спутниковые системы связи существуют уже давно. Однако глобальной многофункциональной системы связи и передачи данных до недавнего времени так и не было создано В августе 1985 г. группа авиационной электроники фирмы Rockwell International совместно с четырьмя другими организациями провела



полетную демонстрацию экспериментального спутникового канала связи и передачи данных. Летные испытания были построены таким образом, чтобы показать четыре различных способа использования авиационной спутниковой связи:

\*автоматическая связь с наземными службами для передачи данных о позиции ВС, полученных с помощью СРНС;

\*двусторонняя связь для передачи сообщений системы связи между ВС и наземными пунктами,

\*связь для оперативной передачи метеорологических данных с наземных станций на борт ВС;

\*двусторонняя связь для передачи оперативных данных системы УВД.

Испытания показали неоспоримое преимущество спутниковой связи над традиционными средствами.

ИКАО совместно с Комитетом по электронной технике авиатранспортных компаний (АЕЕС) четко определены характеристики системы спутниковой связи. Было решено, что эта система будет использовать отводимый для нее спектр частот в следующих целях:

\* для связи «самолет—спутник»;

\* для прямой связи «воздух—Земля»;

\* для оперативной связи на глобальной основе;

\* для автоматического зависимого наблюдения;

\* для организации доступа небольших наземных станций связи;

\* для обеспечения оцифрованной речи.

Комитет по будущим аэронавигационным системам (FANS) разработал характеристики базовой системы спутниковой связи. Базовая система спутниковой связи должна иметь скорость передачи данных 600 бит/с, а при введении оцифрованных речевых каналов, скорость передачи данных составит 21 Кбит/с. При дальнейшем развитии с учетом многопользовательского режима использования системы спутниковой связи скорость передачи данных может составить 64 Кбит/с и выше.

### 2.3.3. Построение бортовых систем предотвращения столкновении

Задачу предотвращения столкновений с землей или с другим ВС решают сейчас в основном диспетчеры службы УВД, так как бортовые СРНС еще не получили должного развития. Служба УВД обеспечивает консультативное диспетчерское обслуживание ВС по линиям связи борт—земля. Существующая система диспетчерского обслуживания охватывает только контролируемые ВС. В случае же конфликта между контролируемым и неконтролируемым воздушными судами или между двумя неконтролируемыми ВС действует правило «смотри и избегай». Анализ статистических данных по авиационным происшествиям выявил, что практически во всех случаях возникновения конфликтных ситуаций не хватало необходимых данных обзора пространства или имеющиеся данные использовались недостаточно эффективно. Для улучшения диспетчерского обслуживания можно либо усовершенствовать существующую, либо создать принципиально новую высокотехнологичную систему УВД на основе, например, высококачественного канала передачи данных с помощью НИСЗ. Бортовые СПС являются не альтернативой, а скорее логическим дополнением систем предотвращения столкновений УВД. Эти системы способны независимо от служб УВД обеспечить безопасное расхождение ВС при возникновении угрозы столкновения. Существующие БСПС имеют в своей основе автоматическую передачу с борта ВС некоторого набора данных о параметрах своего движения при помощи вторичной радиолокации и получение таких же сообщений от других ВС, находящихся в зоне охвата радиолокационной передачи. Появление СРНС как поставщика высокоточной координатной информации открывает возможности по совершенствованию БСПС. Возможны две схемы построения СПС на основе СРНС.

*Реализация СПС как автономной бортовой системы.* Все необходимые вычисления для решения задачи предотвращения столкновений решаются на борту ВС. Это необходимо в случае, если ВС находятся над территорией, не контролируемой центрами УВД.

*Реализация СПС на основе наземных комплексов обработки информации о полетах.* В этом случае все необходимые расчеты производятся на земле, а на борт поступают уже обработанная

информация и команды уклонений от столкновения. Данная реализация СПС предпочтительна при полетах в районах с повышенной интенсивностью (например, в аэроузловых зонах).

Можно также предложить систему СПС, сочетающую первый и второй варианты построения. В таком случае при полете в неконтролируемом пространстве СПС будет работать по первому варианту, а при полете в контролируемом пространстве с большой интенсивностью движения переходить ко второму варианту.

Следует также отметить, что при наличии на обоих конфликтующих ВС аппаратуры СПС, использующей СРНС, будут практически отсутствовать погрешности относительного определения положения угрожающего и защищаемого ВС. Это обусловлено тем, что оба приемника СРНС (на первом и втором конфликтующем ВС) с очень высокой вероятностью выберут одно созвездие НИСЗ, а значит, и погрешности определения местоположения на обоих ВС будут одинаковы. Таким образом, на защищаемом ВС относительное положение угрожающего ВС определится практически безошибочно. Эти соображения являются еще одним доводом в пользу создания СПС на основе СРНС.



## Глава 3. ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УВД

### 3.1. Цели и задачи, решаемые при автоматизации

#### 3.1.1. Необходимость и закономерность автоматизации процессов УВД

Автоматизированные системы управления воздушным движением явились 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, диспетчера службы УВД. 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 УВД без использования вычислительной техники достаточно высокой мощности, адекватной сложности решаемых задач.

Рассмотрим специфические особенности деятельности диспетчера при управлении воздушным движением. Это поможет глубже разобраться в существе дела, а именно в автоматизации процессов УВД.

Диспетчер, как правило, выполняет следующие функции:

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

Особенности этого процесса таковы:

- \* функции и входящие в них операции выполняются последовательно;
- \* последовательность действий имеет циклический характер;
- \* все операции выполняются в реальном масштабе времени.

С ростом интенсивности и плотности ВД, появлением высокоскоростных ВС большой пассажироместимости нагрузка диспетчера возрастает настолько, что существенно повышается вероятность принятия им ошибочного решения или пропуск (несвоевременное обнаружение) опасных ситуаций. Простое увеличение количества диспетчеров не дает желаемого результата, так как увеличиваются объем и интенсивность обмена информацией между ними. Единственный выход заключается в передаче части функций диспетчера вычислительной системе. При этом немедленно возникает вопрос о степени автоматизации.

В любой области существует некоторая рациональная степень автоматизации производственных процессов, начиная от автоматизации отдельных операций и заканчивая построением полностью автоматических систем, в работе которых функции человека ограничиваются лишь контролем и, может быть, заданием режима работы. Примером такой весьма совершенной системы является система автоматического управления полетом (АБСУ), состоящая из вычислительной системы (ВСУП), вырабатывающей по заранее заданным законам (алгоритмам) и на основании информации, получаемой от соответствующих датчиков-измерителей сигналы

управления, обрабатываемые автопилотом (АП) или САУ. Цель управления, заложенная в систему, обычно состоит в минимизации отклонений от заданных параметров управляемого процесса (например, от программной траектории движения). Роль экипажа заключается в запуске системы, установке режима, задании программы. Все эти акты одноразовые, так как система спроектирована таким образом, чтобы в стандартных условиях не требовалось постоянного вмешательства в ее работу. Это достигается тем, что системе придаются свойства устойчивости по отношению к малым (ограниченным) возмущениям. Пилот (экипаж) при этом не принимает прямого и непосредственного участия в выработке управляющих воздействий и лишь контролирует правильность работы и исправность автомата по показаниям специальных приборов-индикаторов (дисплеев). При необходимости пилот вмешивается в работу системы, изменяя режим или отключая ее вовсе. Наряду с автоматическим на борту применяется и так называемый директорный (полуавтоматический) режим. Он отличается тем, что пилот, как говорят, непосредственно включен в контур управления (автопилот при этом отключен) и управляет самолетом (вертолетом), исполняя команды, формируемые ВСУП и индицируемые на командном дисплее (или командном стрелочном приборе) в символической форме (обычно в виде отклонений некоторых специальных индексов). Задача пилота при этом состоит в том, чтобы, действуя на органы управления, «отработать» командные сигналы.

Существенным является то, что как управляющие сигналы в автоматическом режиме, так и командные сигналы в директорном формируются по сложным законам (алгоритмам) и являются функциями не только отклонения от заданного движения, но и от скорости его изменения, а также и от других фазовых координат. Это объясняется необходимостью обеспечения устойчивости и качества переходных процессов (в частности, демпфирования колебаний). С этой же целью частота обновления (периодичность вычисления) этих сигналов составляет от 5 до 10 Гц и выше — в зависимости от динамических свойств объекта управления. В боковом канале обычно вырабатывается сигнал, представляющий собой заданное приращение угла крена  $A_{\omega 3}$ , а в продольном — тангажа  $A_{\gamma 3}$  (при непосредственном управлении подъемной силой — заданное приращение перегрузки  $A_{p 3}$ ).

В системах УВД все оказывается значительно сложнее. В зоне управления диспетчера 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 на борту, можно утверждать, что при прочих равных условиях диспетчеру приходится вмешиваться в процесс управления значительно чаще, чем пилоту. Это означает, что даже при наличии в АС УВД мощного вычислителя, взявшего на себя все функции обработки информации, вплоть до выработки решений в типовых ситуациях, при возникновении нестандартной ситуации (вероятность которой также возрастает экспоненциально) диспетчеру приходится вмешиваться в процесс управления.

Рассуждая подобным образом, мы исходим из того, что количество типов стандартных ситуаций, для которых разработаны алгоритмы работы системы, *ограничено*.

Сократить число нестандартных ситуаций, для которых не рассчитаны алгоритмы управления, можно, 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 УВД, так как не гарантирует от принятия ошибочных решений.

Системы строились в прошлом (и строятся в настоящее время) как автоматизированные, где вычислительным средствам передается лишь часть функций и операций обработки информации по жестким алгоритмам, в то время как за человеком-оператором остаются те задачи, которые требуют творческого подхода и нестандартных решений в сложных ситуациях. По мере совершенствования АС УВД перечень функций и операций, которые полностью автоматизированы, расширяется и, следовательно, возрастают уровень автоматизации и степень совершенства систем аэроконтроля.

Здесь уместно определить терминологию. Под системами *аэроконтроля* в широком смысле будем понимать технические средства автоматизации процессов УВД. *Автоматизированные системы (АС)* УВД — это системы с высоким уровнем автоматизации. В прошлом для систем *низкого уровня* использовался термин *аппаратура отображения*, а в последнее время их часто называют *комплексами средств автоматизации (КСА)* УВД. Последний термин не вполне удачен, однако мы его будем использовать, понимая под ним *комплексы средств автоматизации*

наблюдения за воздушной обстановкой. Так как указанные функции осуществляются и в АС высокого уровня, то КСА включаются в их состав на правах подсистемы.

### 3.1.2. Предпосылки перехода к качественно новому типу систем аэронавигации

Системы аэронавигации, разрабатываемые и производящиеся в настоящее время в России, разительно отличаются от своих предшественников. Они приходят на смену морально и физически устаревшему оборудованию, не соответствующему концепции CNS/ATM, принятой ИКАО. Надежную базу создания таких систем составляют новейшие информационные технологии, современные компьютерные аппаратные и программные средства, а также практика эксплуатации отечественных АС в центрах УВД. Новые условия диктуют необходимость разработки оригинальных подходов к конструированию, которые позволяют получить техническую реализацию системы, удовлетворяющую современным требованиям, в минимальные сроки и с наименьшими затратами.

Идеологическую основу развития систем аэронавигации на ближайшие двадцать лет составит концепция CNS/ATM. Напомним, что она была инициирована исследованиями специального комитета FANS, который в 1983-1985 гг. критически рассмотрел существующие в то время системы с точки зрения их возможностей и перспектив усовершенствования, что необходимо для удовлетворения растущих потребностей. Был сделан вывод об их ограниченных возможностях, обусловленных самой сутью этих систем. К ним относятся:

- \*ограничение зоны действия систем «прямой видимостью», что связано с особенностями распространения радиоволн и методами обзора пространства, лимитирующими точность, надежность и устойчивость процессов наблюдения;

- \*ограничения использования традиционных систем и способов аэронавигации в ряде районов мира, отличающихся своей большой протяженностью;

- \* ограничения пропускной способности, информативности, достоверности речевой связи при отсутствии цифровых линий обмена информацией «борт— земля», необходимых для развития автоматизированных систем управления как бортовых, так и наземных.

В качестве единственного реалистичного способа решения проблемы обеспечения эффективного использования ВП, повышения его пропускной способности, экономичности, регулярности и безопасности полетов при увеличивающейся интенсивности ВД была признана концепция, основанная на сочетании спутниковых технологий, цифровых систем обмена данными и усовершенствованных традиционных радиолокационных средств.

Реализация концепции новых систем должна проводиться в соответствии с разработанным и скоординированным планом перехода к будущей глобальной системе аэронавигации, о которой шла речь в главе 1. Базисом системы являются три подсистемы: связи, навигации и наблюдения (CNS).

В настоящее время идет интенсивная разработка эксплуатационных требований к характеристикам связи (PCP) и навигации (RNP), а навигационные требования будут предусматривать возможность для ВС использовать зональную навигацию (RNAV), на первых этапах опираясь на традиционные наземные и бортовые системы, с постепенным переходом на глобальную спутниковую навигационную систему GNSS. При этом будет все сильнее ощущаться экономический эффект, связанный с использованием CNS/ATM. Он обусловлен ликвидацией морально и физически устаревшего дорогостоящего наземного оборудования.

Центральным элементом системы CNS/ATM становится наземный комплекс автоматизированных средств наблюдения и управления ВД. Его функции значительно расширяются. В последнее время созданы условия реализации этих функций в максимальном объеме на новой элементной базе с использованием современных компьютерных (аппаратных и программных) средств и новых информационных технологий.

Все это позволяет утверждать, что мы имеем дело с АС УВД нового поколения, качественно отличающихся от своих предшественников.

## 3.2. Информационные технологии разработки и проектирования

### 3.2.1. Общая характеристика подхода

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. 3.1. 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

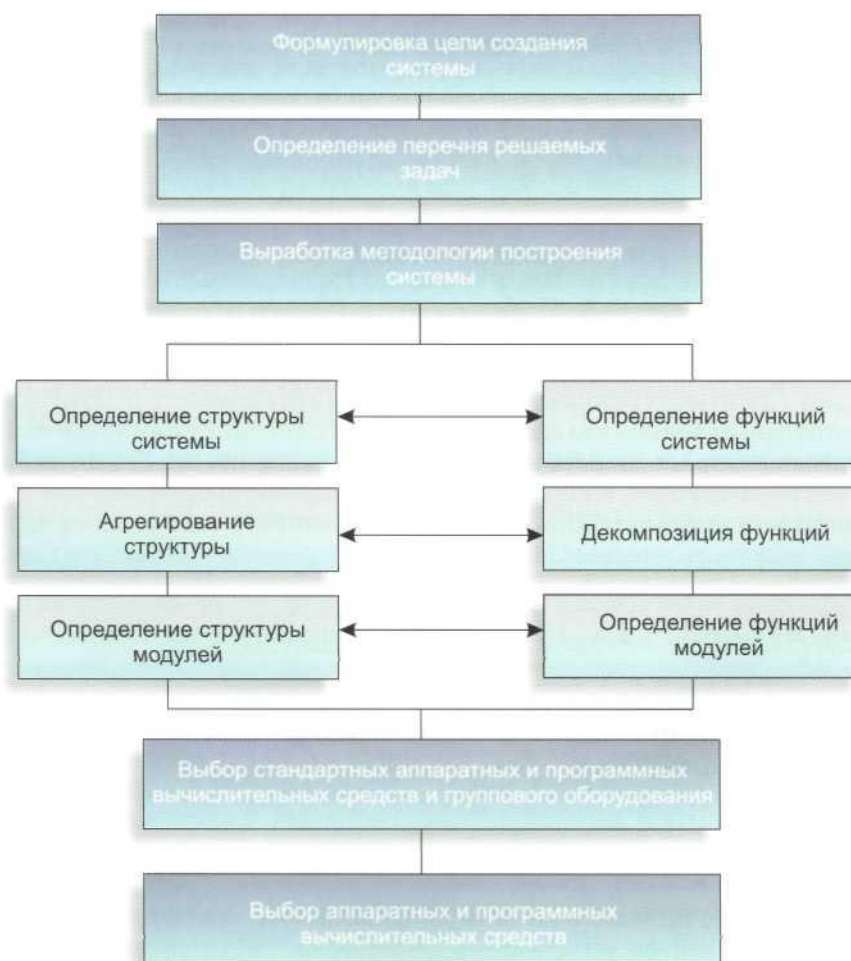


Рис. 3.1. Перечень задач, решаемых при разработке системы

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.

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 (Product Data Management). 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. 3.2).

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 компьютеризированной 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,



Рис. 3.2. Синтез информационной системы

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.

### 3.2.2. Построение информационной модели 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 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.

### 3.3. Функции перспективных автоматизированных систем

#### 3.3.1. Функции автоматизированных систем УВД

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:

\*улучшение 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);

\*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»);

развитие средств наблюдения и помощи в принятии решений:

- \*прогнозирование траекторий полета;
- \*обнаружение конфликтных ситуаций;
- \*разрешение конфликтов;
- \*автоматическое обнаружение отклонений от траектории;
- \* развитие элементов искусственного интеллекта (экспертных систем);
- \* оптимизированное присвоение кода ВРЛ в соответствии с принципом ORCAM (Originating Region Code Assignment Method);
- \* 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.

### 3.3.2. Общие требования к технической реализации

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.

*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.

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

1. Ошибочное действие (сообщение) расценивается как правильное («пропуск ошибки», или «ложная тревога»);
2. 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.

*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.

*Замечание.* Эта группа требований (при их выполнении) обеспечивает важнейшее свойство АС УВД как системы наблюдения, а именно устойчивость наблюдения.

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

*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.

*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. (Под открытостью вычислительных сетей понимают свойство, состоящее в возможности их расширения и обмена данными с другими сетями.)



*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).

### 3.3.3 Архитектура информационно-вычислительной системы.

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, развитый 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. 3.3).

\* 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.

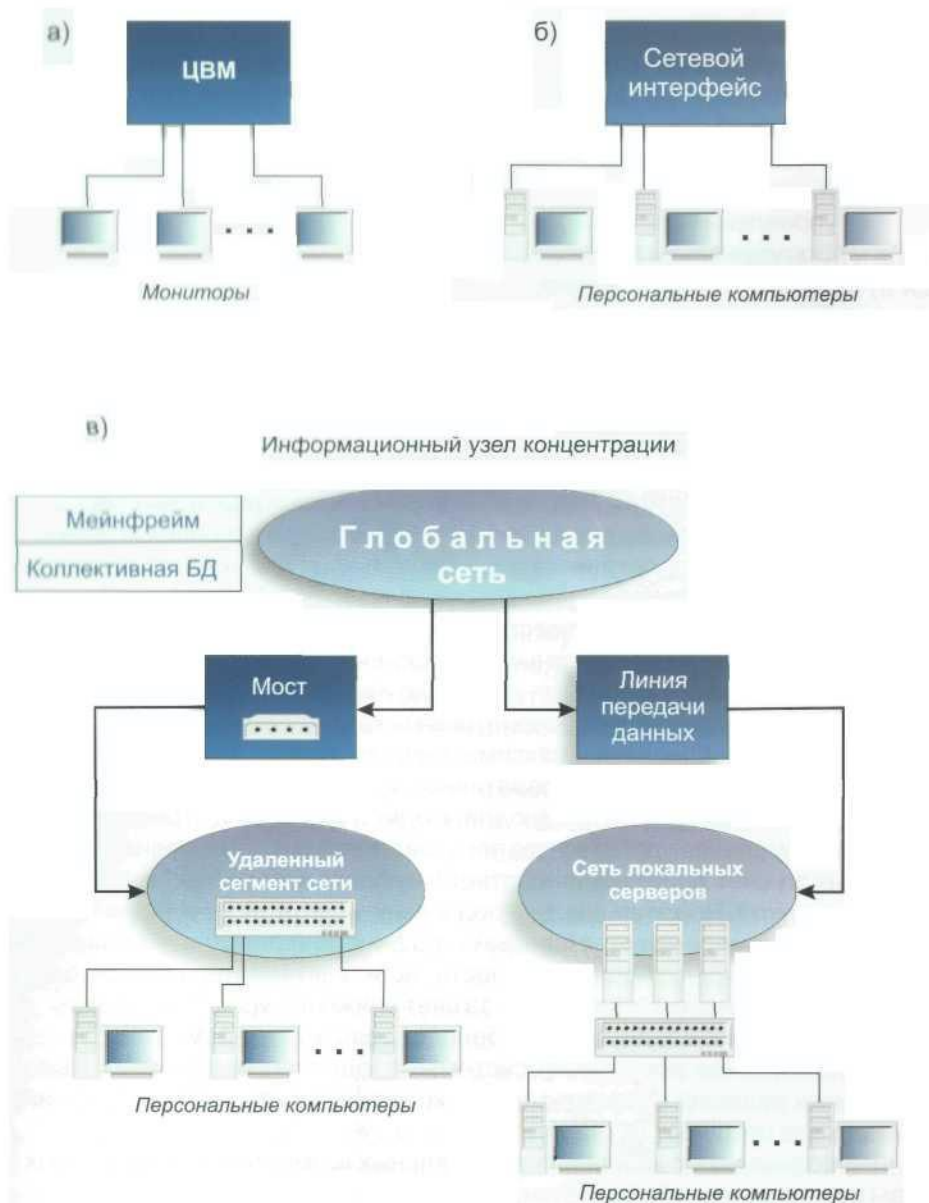


Рис. 3.3. Три типа архитектуры ИВС: а — централизованная ИВС; б — одноранговая сетевая ИВС; в — иерархическая структура ИВС

\* 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.

## **3.4. Аппаратные и программные средства**

### **3.4.1. Масштаб реального времени**

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 суперЭВМ 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. Другими словами, такая ОС гарантирует, что после наступления прерывания по какому-либо событию пользовательская функция-обработчик данного события будет вызвана не позднее чем через время  $t$ , где  $x$  — константа для данного типа процессора и данной ОС.

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 системы и протоколами).

### 3.4.2. Вычислительная мощность

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: мини-ЭВМ (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 авиастроении, 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 суперЭВМ — 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 ASCII 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 ASCII Red компании «Интел» (более девяти тысяч процессоров).

Так, корпорация IBM подписала контракт с американским правительством на создание суперкомпьютера ASCII Purple стоимостью 290 млн долларов США. Производительность ASCII Purple — 100 терафлопов (100 триллионов операций с плавающей точкой в секунду), что в 8 раз больше скорости компьютера ASCII White, используемого для моделирования атомных испытаний. Представители IBM утверждают, что скорость вычислений нового кластера сравнима с «производительностью» человеческого мозга.

ASCII Purple включает 12 тысяч процессоров Power 5, что на 4 тысячи больше, чем число процессоров ASCII White, использующего процессоры Power 4. 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 Blue Gene/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 Blue Gene/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.

### 3.4.3 Принципы выбора аппаратных и программных средств

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, обуславливающее 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 мегабайт. 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).

Сейчас 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 компьютеризированных 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. Поданным компьютерной компании IDS (International Data Corporation), оплата труда персонала составляет 51 % от общих затрат (табл. 3.1).

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 погашение 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.)

Таблица 3.1 Распределение эксплуатационных расходов

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

Вопрос подбора подходящих аппаратных средств связан с выбором операционной системы (ОС). Из довольно большого числа ОС (см. приложение 7) 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, 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; <sup>в</sup> каждая версия ОС по существу уникальна, а следовательно, имеет высокую цену; соответственно высока и стоимость обслуживания системы;

<sup>г</sup> 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 (NT, XP, NET и, несомненно, ее будущие варианты) отличается от ОС UNIX и других клонов прежде всего стоимостью, подобно тому как массовый PC 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.



# Глава 4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ПЛАНОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

## 4.1. Назначение системы обработки плановой информации

### 4.1.1. Организация системы планирования в России

В небе, как и на земле, есть свои магистрали, дороги и проселки. Так же как и на земле, на воздушных трассах встречаются перекрестки с интенсивным движением и могут образоваться «пробки».

Но на воздушных дорогах, в отличие от земных, можно предусмотреть подобные перегрузки. Основным инструментом для этого является планирование полетов.

Любому полету предшествует составление его план. Даже если выполняется срочное задание, то вслед за вылетом самолета передается план, в котором содержится маршрут полета.

Когда пассажир выбирает удобный маршрут для поездки в отпуск или в командировку, он пользуется расписанием. Каждая авиакомпания изучает пассажиропотоки на различных маршрутах и на основе этого планирует свои рейсы (повторяющиеся планы полетов). На этом этапе производится *предварительное планирование*. Необходимо учесть множество интересов, начиная с пассажира и заканчивая службами аэропортов. И уже здесь можно иметь достаточно полную картину загрузки воздушного пространства. Координацией планов занимается Главный центр планирования и регулирования потоков воздушного движения (ГЦ ППВД). В его задачи входит сглаживание пиков интенсивности движения на аэродромах вылета и посадки, трассах и их пересечениях путем изменения планового времени вылета и маршрутов полета. Изучая спрос авиакомпаний на определенные направления (маршруты), можно проектировать новые воздушные трассы, использование которых позволит снизить расходы авиакомпаний и увеличить безопасность полетов.

Кроме полетов по расписанию ведутся полеты деловой авиации и производственные полеты. Планы на них подаются за сутки до выполнения. Кроме того, подаются планы на использование воздушного пространства авиацией различных ведомств (ФЛА, МО) и планы проведения различных работ, которые представляют потенциальную угрозу безопасности полетов. *Суточное планирование* осуществляется накануне дня использования воздушного пространства. К моменту суточного планирования поступает дополнительная информация о режимах и ограничениях на воздушных трассах и аэродромах.

Задачи, решаемые при суточном планировании:

- \* оптимальное распределение использования воздушного пространства с учетом интересов всех подавших заявки;

- \* проверка лицензий авиакомпаний на право выполнения заявленных полетов;

- \* проверка задолженности авиакомпаний за аэронавигационное обслуживание;

- \* проверка запланированного маршрута на попадание в зоны ограничений и режимов;

- \* сглаживание пиков интенсивности.

На основе утвержденных Зональным центром суточных планов создаются суточные планы аэропортов, которые регламентируют работу служб аэропорта на день полетов.

С наступлением новых суток суточный план переходит в *текущий*. С этого времени информация о состоянии рейса уточняется на каждом этапе полета.

За час до вылета экипаж должен проанализировать загрузку, метеоинформацию и аэронавигационную обстановку, рассчитать запас топлива и принять решение на вылет. За полчаса до вылета передается флайт-план, содержащий время вылета и маршрут полета. Эта информация передается в центры УВД по маршруту полета и в органы, осуществляющие контроль воздушного пространства. Фактический маршрут полета должен соответствовать заявленному в плане (исключение составляют чрезвычайные ситуации). За соблюдение маршрута несут ответственность экипаж и диспетчер УВД, контролирующей полет. Информация о принятии решения, запуске

двигателей, начале руления, маршруте выхода из района аэродрома каждого рейса отображается в формулярах ожидания системы УВД. Информация о взлете передается в центры УВД по маршруту полета, где она автоматически обрабатывается и корректирует положение рейса в формулярах ожидания систем УВД. После взлета и ввода в сопровождение (корреляция радиолокационной и плановой информации происходит в режиме УВД по соответствию номера борта рейсу, в режиме RBS назначением диспетчером кода ответчика рейсу) ведется постоянное сравнение планового и фактического маршрутов, причем по мере прохождения точек маршрута последующие плановые времена корректируются и данные передаются в центры УВД по маршруту полета. Это позволяет с достаточной точностью формировать списки ожидания.

Точность списков ожидания помогает диспетчеру УВД принимать оптимальные решения для управления самолетами в своей зоне. После выполнения полета в системах УВД остается плановый и фактический маршрут полета. Фактические данные используются для статистических отчетов об использовании воздушного пространства, а также при выставлении счетов за аэронавигационное обслуживание.

#### **4.1.2 Задачи автоматизации процессов планирования воздушного движения**

Автоматизация функций планирования должна осуществляться с учетом рекомендаций ИКАО, изложенных в европейском аэронавигационном плане. Необходимо решить следующие задачи:

- \* взаимодействие с военными системами организации воздушного движения России;
- \* планирование и координирование использования воздушного пространства России и сопредельных государств;
- \* устранение перегрузок зон и секторов УВД путем рационального планирования и упорядочения потоков воздушных судов;
- \* выбор наиболее экономичных маршрутов и профилей полетов с учетом интересов всех пользователей воздушного пространства;
- \* осуществление процессов планирования воздушного движения и расчета АНС с использованием современных средств связи;
- \* обмен планами полетов и аэронавигационной информацией между элементами системы ПВД России, сопредельных государств и органами организации планирования европейского региона ИКАО,
- \* создание единого центра для ведения общей базы аэронавигационных данных о структуре воздушного пространства России;
- \* создание централизованной системы сбора данных об аэронавигационном обслуживании, расчета и учета АНС.

## **4.2. Информационная структура системы планирования**

### **4.2.1. Состав информации**

Плановая информация должна автоматически обрабатываться и представляться в удобной форме в виде плановых таблиц, формуляров, списков ожидания; она включает базовые (информационные), плановые, корректировочные данные, метеоинформацию и вспомогательную информацию.

Базовая информация содержит справочные данные по аэропортам, точкам, трассам, авиакомпаниям, по структуре воздушного пространства. Плановая информация состоит из повторяющихся планов полетов, ППЛ, ПЛН, ФПЛ

Корректировочная информация — это информация о фактическом движении ВС (взлет, фактический пролет определенных точек, уточненное плановое время пролета точек по маршруту, уточненный маршрут полета). К этому виду информации также относятся согласование между

смежными районами (РЦ), информация, поступающая от военных секторов РЦ, относительно ограничений использования воздушного пространства.

Метеоинформация — прогнозы погоды на аэродромах и на трассах, фактическая погода.

Вспомогательная информация — НОТАМ.

Взаимодействие с источниками и потребителями информации осуществляется по сети АФТН, по глобальным региональным и местным ЛВС (АС УВД, ПДСП сетям авиакомпаний).

Необходимым условием является формализация передаваемой информации. Принимаемая и отображаемая информация распечатывается в виде плановых таблиц и справочников. Особое внимание при автоматизации обработки плановой информации уделяется следующим вопросам:

\*прием, обработка и выдача на рабочие места комплекса плановой и метеоинформации, информации об ограничениях и режимах ИВП, а также справочной и другой вспомогательной информации;

\*вид отображаемой информации на рабочих местах; обеспечение взаимодействия с источниками и внешними потребителями информации;

\*контроль и управление техническим состоянием оборудования;

\*документирование и воспроизведение различных видов информации.

Источниками информации для планирования являются:

- зональные центры ЕС ОрВД;
- АДП аэропортов;
- АС УВД;
- службы планирования авиакомпаний;
- служба аэронавигационной информации;
- метеокомплексы.

#### 4.2.2. Техническая реализация системы обработки плановой информации

Система планирования представляет собой информационно-вычислительную систему сетевой структуры. В процессе ее функционирования различные источники информации взаимодействуют между собой и собственно с системой обработки плановой информации (системой нижнего уровня), обеспечивающей оперативную обработку и выдачу результатов потребителям.

Информационную структуру такой автоматизированной системы целесообразно представить в виде соединения отдельных функциональных модулей.

Согласно такой структуре и выполняется техническая реализация автоматизированной системы обработки плановой информации.

*Модуль сопряжения с источниками информации.* Задача модуля заключается в обработке и представлении в определенном виде поступающей информации.

*Модуль обработки и хранения информации.* Выполняет архивирование, функции администрирования и резервирования. Производится ежедневное резервирование данных и, кроме того, текстовое резервирование данных в зависимости от настроек. Обеспечиваются поддержка целостности и восстановление данных при аппаратных и программных сбоях, защита данных от разрушений при авариях и сбоях в электропитании комплекса.

*Модуль планирования полетов на аэродроме.* Создает текущий план на основе повторяющихся планов и заявок. Обеспечивает расчет плановой траектории в районе аэродрома.

*Модуль планирования полетов по трассам.* Обеспечивает расчет плановой траектории (информация для расчета берется из поля маршрута). При изменении параметров полета (времени вылета, маршрута) плановая траектория автоматически пересчитывается.

*Модуль статистической обработки.* Обрабатывает выполненный план полета, позволяет сделать распечатки статистических выборок, различных выходных форм.

*Модуль сопряжения с потребителями информации.* Обеспечивает взаимодействие с потребителями информации (так называемую «прямую-обратную связь»), в частности, в отношении выполнения аэронавигационного обслуживания (АНО) и его оплаты.

### 4.3. Организация обмена плановой информацией

#### 4.3.1. Взаимодействие с центрами коммутации сообщений

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): <sup>11</sup> 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 производится 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 (У), вторые буквы означают принадлежность к одному из узлов связи, расположенных на территории России, следующее сочетание букв, от одного до двух знаков, свидетельствует 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.).

#### 4 3.2. Взаимодействие с автоматизированной системой ППВДЗЦ

Автоматизированная система планирования воздушного движения зонального центра (АС ПВД ЗЦ) при передаче данных руководствуется документами и протоколами взаимодействия с комплексами планирования. Состав информации, передаваемой из АС ПВД ЗЦ, представлен в табл. 4.1.

Таблица 4 1. Информация, передаваемая из АС ПВД ЗЦ

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

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

#### 4.3.3. 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, созданного в соответствии с требованиями Программы EATC/HP (European Air Traffic Control Harmonisation and Integration Programme) Евроконтроля.

Органы УВД, которые используют данный протокол, должны иметь средства обработки плановой информации, обеспечивающие возможности, требуемые для приема, обработки, компиляции, вывода на отображение и передачи необходимых сообщений. Основным источником информации по конкретному полету является план полета, поданный командиром ВС или от его имени. Все рассчитанные данные получают из обработки плана полета применительно к аэронавигационной инфраструктуре конкретного органа УВД.

Процедура ОЛДИ включает действия в передающем органе УВД по инициации функций, необходимых для своевременного предоставления данных передающему диспетчеру, а также для передачи данных по координации принимающему органу УВД. Для этой цели плановая система передающего органа УВД должна инициировать соответствующие события и сообщения, основываясь на сравнении текущего времени УТЦ и применяемых временных параметров с временами, рассчитанными для определенных участков маршрута полета.

Плановые системы, используемые для обеспечения процедуры ОЛДИ, должны автоматически принимать, собирать, обрабатывать, выделять и отображать на рабочем месте диспетчера необходимую информацию, передавать соответствующие данные в реальном времени, а также принимать и передавать полетные данные в форматах сообщений, определенных и описанных в данном протоколе, и с использованием средств связи, которые обеспечивают процедуру ОЛДИ.

#### 4.3.4. Взаимодействие с автоматизированными системами и средствами метеорологического обеспечения полетов

В АС УВД передается информация о текущем и суточном планах в виде плановых таблиц и списков ожидания. В свою очередь АС УВД предоставляют фактическое время пролета точек, используемое для уточнения времен пролета следующих точек по маршруту и для составления сводок о фактически выполненных рейсах. Для более точных расчетов прибегают к оперативной метеоинформации.

Метеоинформация поступает от различных источников по соответствующим каналам:

\*КРАМС — фактическая погода на аэродроме;

\*метеотелеграммы по АФТН — фактическая и прогнозируемая погода на аэродроме, фактическая и прогнозируемая погода в аэропортах, входящих в кольцо оповещения;

\*информация (прогноз ветра по высотам, контуры опасных метеоявлений, траектории метеорологических радиозондов) в согласованном виде от метеокомплексов — по сетевым каналам, программное обеспечение для решения задач планирования.

## 4.4 Программное обеспечение

### для решения задач планирования

#### 4.4.1. 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 относится исключительно к компьютерам и обозначает средства хранения информации.

Классическая база данных использует для хранения информации таблицы. Таблицы состоят из/солонки 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*, т. е. 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 глобальной сетью, объединяющей пользователей практически всех стран.

#### 4.4.2. 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.

#### 4.4.3. 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 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.

#### 4.4.4. Базы данных как основа построения плановой подсистемы

Плановая подсистема является одной из важнейших составных частей полноценной АС УВД. Ведь процесс УВД начинается именно с долговременного планирования воздушного движения (РПЛ). На следующем этапе осуществляется текущее планирование (ФПЛ, ППЛ), и только затем воздушное судно допускается к полету. Своевременное и доступное представление информации о планируемом воздушном движении и является главной задачей плановой подсистемы АС УВД (ПП АС УВД). Для решения этой задачи необходимо иметь в составе ПП АС УВД:

\*средства получения долговременной и текущей плановой информации (сеть АФТН, СИТА, цифровые каналы связи и др.);

\*средства получения фактической летной обстановки на текущий момент времени (средства связи с головным центром обработки информации АС УВД);

\*средства хранения полученной информации (база данных, СУБД);

\*средства отображения имеющейся информации (программный или аппаратный модуль отображения).

Кроме своей главной задачи ПП АС УВД должна также решать дополнительные, но не менее важные задачи, такие как расчет и оценка плановой и текущей интенсивности полетов. Легко заметить, что для реализации перечисленных функций ПП АС УВД необходимо иметь в своем составе базу данных и, соответственно, СУБД. Решение задач ПП АС УВД напрямую связано с исполнением требований по безопасности полетов, а также с регулярностью полетов, что диктует повышенные требования к применяемой СУБД. Это касается в первую очередь надежности и скорости обработки информации, хранящейся в БД.



## **РАЗДЕЛ ВТОРОЙ**

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКОЙ**

# Глава 5. НАБЛЮДЕНИЕ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

## 5.1. Особенности процессов наблюдения

### 5.1.1. Новые подходы

Наблюдение за движущимися объектами практически всегда осуществляется при дефиците и искаженности как априорных знаний, так и текущей (оперативной) информации. При такой неопределенности возникают задачи оценивания положения и параметров движения наблюдаемого объекта.

Проблема теории наблюдения состоит в построении наилучших в определенном смысле способов обработки замеров координат движущегося объекта, доступных измерению. Результаты наблюдения должны содержать информацию, достаточную для осуществления функций управления.

В теоретическом плане необходимо создание на основе идеологии информационных множеств методов обработки информации о положении подвижных объектов, прежде всего ВС, получаемой от различных источников. Эти методы позволяют усовершенствовать традиционные и создать новые эффективные алгоритмы оценивания состояния и параметров движения в автоматизированных системах УВД.

Предметом теоретического рассмотрения должны быть инструментальные методы наблюдения подвижных объектов. Сложность проблемы обусловлена рядом обстоятельств. С одной стороны, растет круг управляемых подвижных объектов, которые подлежат наблюдению. Причем, наряду с увеличением их разнообразия по типам (воздушные, космические, наземные и т. д.) и расширением спектра их свойств и характеристик (скоростей, высот, маневренности и т. д.), растут требования к точности и достоверности результатов наблюдений. С другой стороны, стремительный рост аппаратных средств наблюдения, навигации и связи, использующих новейшие компьютерные технологии, позволяет широко пользоваться результатами теоретических разработок в области обработки информации, в том числе и такими, которые ранее были недоступны для практического применения в силу ограниченных возможностей вычислительной техники.

Указанное обстоятельство в полной мере относится к области управления воздушным движением, где для управления ВС как в воздушном пространстве, так и на земле используется широкий спектр средств навигации и наблюдения.

Для удовлетворения современных высоких требований к разрабатываемым системам УВД целесообразно использовать весь арсенал математической теории управления и наблюдения (см. приложение 10), а для реализации алгоритмов, созданных на этой основе, — новейшие достижения информатики, программные и аппаратные средства нового поколения.

Хотя в современных АС УВД используются по необходимости наиболее адекватные (или удобные) подходы и методы, предпочтение отдается так называемому гарантийному подходу и численным методам оптимизации.

В общей форме проблема наблюдения рассматривается как задача о вычислении текущих координат движущегося объекта по доступным измерению величинам.

Известно, что проблемы наблюдения и управления имеют общую природу. Эта общность проявляется в свойстве *двойственности* между управлением и наблюдением и соответствующем правиле *минимакса*, характерном для позиционных дифференциальных игр, где решение принимается в условиях неопределенности.

**О гарантированном результате.** Когда говорится о неопределенности, то, естественно, предполагается, что некие априорные знания о процессе, в том числе и о помехах и возмущениях, все-таки имеются. При вероятностном (стохастическом) подходе, когда используется вероятностная мера априорной неопределенности, такая же мера распространяется и на конечный результат наблюдения (и управления).

Цель оптимизации в этом случае заключается в применении таких операций, которые обеспечивают получение наилучших (по определенному критерию) оценок параметров состояния

наблюдаемого объекта. Причем, идет ли речь о точечных или интервальных оценках, они никогда (за исключением тривиальных случаев) не имеют исхода «с вероятностью, равной единице». Следует подчеркнуть, что если такие утверждения и встречаются в теории стохастической аппроксимации и адаптации, то они справедливы лишь в асимптотическом, а не в конечном смысле.

В отличие от этого при гарантийном подходе обеспечивается «стоппроцентный» результат. Это следует понимать так. *Если некоторые (заранее оговоренные) условия соблюдаются с вероятностью единица, то и соответствующий результат также наступает с вероятностью, равной единице.*

Конкретно при решении задачи наблюдения, если возмущения и помехи не выходят за границы некоторых заранее обусловленных областей (множеств), то и оценки также обязательно принадлежат компактным информационным множествам.

Таким образом, с идеологической (методологической) точки зрения вся «ответственность» за нарушение гарантии переносится на факторы, обуславливающие несоблюдение исходных условий.

### 5.1.2. Характеристика задач наблюдения при УВД

Систему УВД в целом следует рассматривать как сложную динамическую систему, подчиняющуюся общим законам, изучаемым в теории управления. Для выработки решений и управляющих воздействий по принципу обратной связи необходимо знание переменных состояний системы — фазовых координат объектов управления, в качестве которых выступают как одиночные ВС, так и их потоки.

Для эффективного управления необходимо знание достаточного числа фазовых координат. Причем чем выше требования к динамической точности процесса управления, тем большее число фазовых координат должно быть измерено. Однако на практике, как известно, далеко не все координаты доступны измерению, а те, для которых имеются соответствующие измерители, оказываются зашумленными. Недостающие координаты приходится вычислять, т. е. получать с помощью не *прямых*, а *косвенных* измерений.

Так, например, обстоит дело с производными по времени от измеряемых координат, что приводит к дополнительному возрастанию уровня помех. Заметим, что указанные трудности существуют даже тогда, когда уровень помех и модель наблюдаемого объекта достаточно хорошо известны.

Выход из создавшегося положения состоит в определении координат не только из их мгновенных измеренных значений, но и с использованием некоторой предыстории их изменения на предшествующем интервале времени.

С учетом неопределенности, вызванной указанными особенностями измерений, для операций определения параметров состояния динамической системы, которой является подвижный объект, будем использовать термин *оценивание*. Он предполагает наличие неопределенности в результате измерений.

При получившем наибольшее распространение вероятностном подходе процесс оценивания заключается в статистической обработке результатов измерений.

Так как в зоне наблюдения находится не единичный объект, а некоторое множество (число ВС может доходить до нескольких десятков или даже сотен), поток сообщений, содержащий информацию о положении (координатах) объектов, носит (с учетом потерь и ложных сигналов) нерегулярный характер.

Задачи приема сигналов (сообщений), несущих информацию о состоянии системы, включая их обнаружение, классификацию, фильтрацию и прочие операции, относятся к *первичной* обработке радиолокационной информации. Исключение составляют лишь некоторые задачи декодирования и кодирования (например, обработка «сырого видео»), связанные прежде всего с отображением радиолокационной информации.

Обработка потока сообщений традиционно использует принципы пространственно-временной селекции. Она реализуется с помощью *стробов*, представляющих собой ограниченные области в пространстве или на плоскости. Построение и управление стробами в известных системах обработки радиолокационной информации проводилось из крайне простых и зачастую интуитивных соображений. Для расчета их характеристик и параметров используется вероятностный подход.

Существует, однако, предложенный относительно недавно, но уже достаточно развитый метод информационных множеств, используемый для решения задач управления и наблюдения в условиях неопределенности. Идеология информационных множеств может служить конструктивной основой для разработки алгоритмов построения обобщенных стробов и одновременно с успехом использоваться для оценивания параметров движения наблюдаемых объектов, классификации, идентификации и построения траекторий.

### 5.1.3. Архитектура типовой схемы наблюдения нового поколения

Для того чтобы иметь общее представление об архитектуре комплексов средств автоматизации наблюдения нового поколения, рассмотрим один типичный пример.

На рис. 5.1 показаны состав и основные связи КСА «Альфа» (первый вариант известен как система отображения «Норд»).

Комплекс средств наблюдения «Альфа» обеспечивает полную функциональную замену комплексов аппаратуры «Строка-Б», «Страница», «Строка-2», «Знак»,

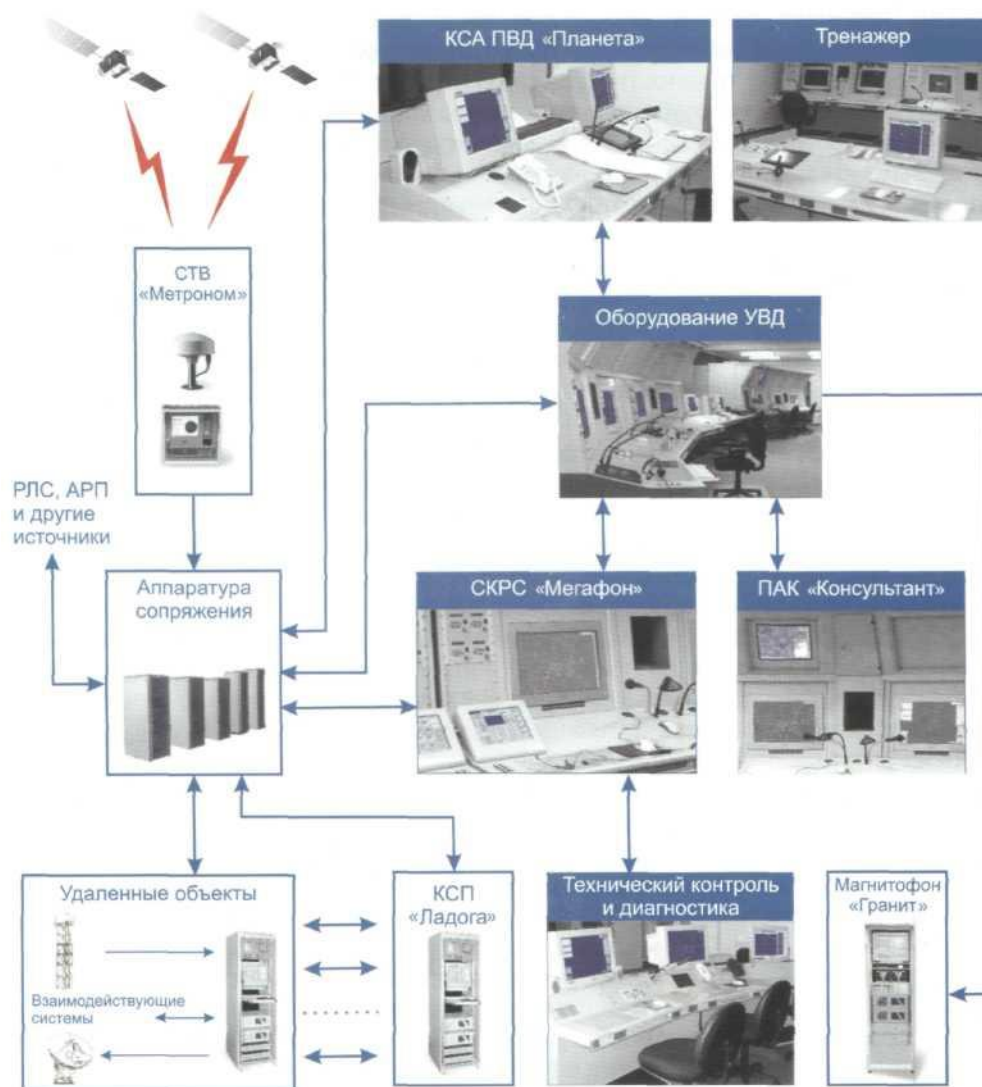


Рис. 5.1. Типовая схема размещения и соединения оборудования, применяемого в системе «Альфа»

«Символ», «Старт» и по своим тактико-техническим характеристикам намного их превосходит. Система предназначена для применения в районных и аэродромных центрах управления воздушным движением.

Источником радиолокационной информации могут служить радиолокационные комплексы типа 1РЛ-139, 1Л-118, ВРЛ «Крона», РЛК «Скала», ВРЛ «Радуга», МВРЛ СВК, ДРЛ-7СМ, Экран-85 «Урал» и др.

В системе «Альфа» предусмотрено сопряжение с радиопеленгатором, подсистемой планирования, аппаратурой АРМа «Метеоролога», сетью АФТН и др. Система «Альфа» предусматривает максимальное использование существующих средств (радиолокационных комплексов, коммуникаций, линий связи т. д.), что позволяет модернизировать оборудование УВД с минимальными финансовыми затратами. Оборудование и матобеспечение адаптируется к требованиям заказчика и условиям конкретного аэропорта. Для повышения надежности комплекса в системе «Альфа» используются методы аппаратного и информационного резервирования.

Система имеет распределенную архитектуру, в которой каждая ЭВМ выполняет свою, независимую от другой ЭВМ функцию. Распределенная архитектура позволяет оптимизировать связь, наращивать системы и модернизировать их. Такая архитектура допускает работу в режиме сокращенного состава технических средств, что обеспечивает полную эксплуатационную готовность системы при отказах.

Для упрощения техобслуживания и сокращения финансовых затрат в течение срока службы оборудования система «Альфа» ориентирована на максимальное использование стандартных аппаратных и программных средств.

К нестандартному оборудованию относятся:

- \*устройство преобразования радиолокационной информации; устройство
- \*сопряжения с пеленгатором; платы сопряжения с сетью АФТН; часть
- \*интерфейсного оборудования.

Вычислительный комплекс строится на базе персональных компьютеров и/или рабочих станций. Система располагает системой отображения на основе цветных дисплеев с высокой разрешающей способностью.

ЭВМ объединены в дублированную локальную сеть Ethernet (Fast Ethernet). Комплекс «Альфа» базируется на операционной системе Windows NT, 2000, XP. Прикладное матобеспечение написано на алгоритмических языках С и С++ и использует многооконный графический интерфейс.

КСА наблюдения «Альфа» выполняет функции сбора и преобразования радиолокационных данных о воздушной обстановке, пеленгационной и плановой информации, распределение данных по рабочим местам диспетчеров и их отображение.

Система включает групповое и индивидуальное оборудование. Групповое оборудование осуществляет прием и обработку радиолокационной информации, а также передачу обработанной информации на рабочие места диспетчеров средствами локальной вычислительной сети. Индивидуальное оборудование осуществляет прием и отображение радиолокационной информации, принятой и обработанной в групповом оборудовании.

В состав группового оборудования входят:

- \*модуль централизованной обработки (только для сетевого варианта) — сервер системы;
- \*коммуникационное оборудование;
- \*модуль распределения исходных сигналов РЛС (только для локального варианта).

В состав индивидуального оборудования входят:

- \*модуль отображения ДВО — рабочая станция диспетчера; модуль сопряжения с \*автоматическим радиопеленгатором.

Система включает также модуль преобразования радиолокационной информации, входящий в состав группового оборудования.

Обработка плановой информации осуществляется отдельной подсистемой — аппаратурой АРМов диспетчера АДП и РЦ.

## **5.2. Формализация структуризация процесса наблюдения при УВД**

### **5.2.1. Схема наблюдения**

Наблюдение за перемещающимися в пространстве объектами при помехах и в условиях неопределенности относительно будущего их поведения сводится к оцениванию параметров состояния динамической системы, представляющей собой математическую модель объекта измерения. Следует учитывать то, что наблюдение осуществляется без непосредственного контакта

с наблюдаемым объектом. Поэтому процесс наблюдения включает передачу, транспортировку сигналов, несущих информацию или сообщения о положении объекта и его изменениях.

Под *фильтрацией* обычно понимают отделение полезной информации (сигнала) от помех.

*Оценка* координаты или параметра движения — величина, находящаяся в некотором соответствии с истинным значением координаты (параметра), близкая к нему в том или ином смысле. Построение оценок траекторий называют *сглаживанием*.

*Оценивание* — процесс получения оценки в условиях неопределенности, вызванной действием случайных факторов (помех и ошибок измерений). Терминологически оценивание носит более общий характер, нежели фильтрация, которую следует рассматривать как частный его вид.

Применительно к сфере УВД, так же как и в других задачах управления транспортными средствами, необходимо говорить о множестве (поток) наблюдаемых объектов и, по сути, о нескольких измерителях, образующих измерительную систему.

В самом общем виде схема наблюдения может быть представлена в виде, показанном на рис. 5.2.

В качестве основного объекта наблюдения (ОН) в дальнейшем будет выступать воздушное судно (ВС). Однако многие задачи и методы их решения, рассматриваемые в работе, имеют достаточную общность и могут быть применены к процессам наблюдения при управлении объектами иного вида, например наземными транспортными средствами.

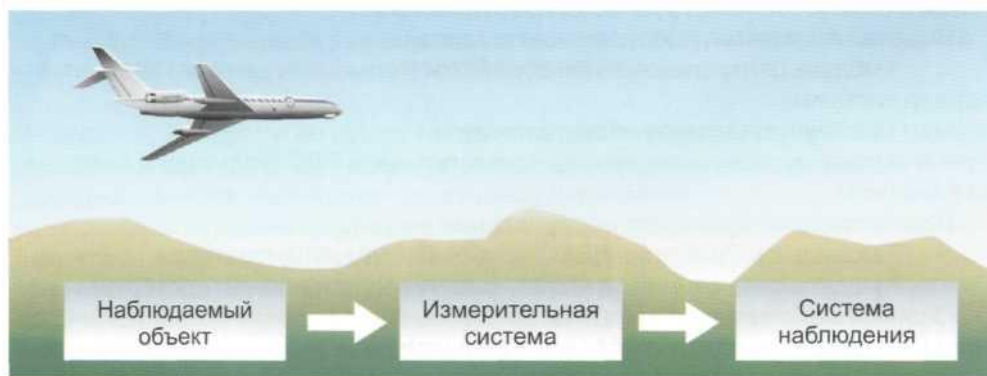


Рис. 5.2. Схема наблюдения за одиночным движущимся объектом

Источниками информации являются следующие измерительные системы (часть которых рассмотрена в главе 1): радиолокаторы — первичные (ПРЛ) и вторичные (ВРЛ), бортовые навигационные системы (БНС) и бортовые навигационные комплексы (БНК), включающие радиотехнические, инерциальные, спутниковые и др. Сюда же для сокращения записи отнесены такие измерители, как инерциальные, курсовертикали (ИКВ), доплеровские измерители скорости и угла сноса (ДИСС), системы воздушных сигналов (СВС), и прочее оборудование, входящее в пилотажно-навигационный вычислительный комплекс современных самолетов гражданской авиации.

Функции *системы наблюдения* (*наблюдателя*, СН) возлагаются на наземный комплекс средств автоматизации (КСА) наблюдения и отображения или АС УВД.

### 5.2.2. Формализация процесса наблюдения

Введем формализацию, взяв за основу общепринятые математические термины. Они соответствуют приведенным выше содержательным описаниям и путем введения ограничительных признаков обеспечат корректность математических построений в дальнейшем.

*Объект наблюдения.* В качестве математической модели ОН примем систему обыкновенных дифференциальных уравнений (в общем случае — нелинейных и неавтономных) вида:

$$\dot{x}' = f(x, u, v, t), \quad (5.1)$$

где  $x$  — вектор параметров состояния (фазовых координат);  $u$  — вектор управляющих воздействий;  $v$  — вектор возмущающих воздействий;  $t$  — время;  $f(-)$  — нелинейная вектор-функция.

Такое описание обычно используется при решении задач управления подвижными объектами (см. приложение 10).

Относительно управлений  $u(t)$  и возмущений  $v(t)$  положим, что они могут быть:  
известными функциями времени;  
известными функциями фазовых координат;

$$u \in C(t), \quad v \in P(t), \quad (5.2)$$

где  $P(t)$  и  $C(t)$  — ограничения, зависящие от времени

*Измерительная система.* Выходом системы являются измерения:

$$\chi = g(x, \delta(t)), \quad (5.3)$$

неизвестными функциями, подчиняющимися определенным ограничениям, в частности вида:

где  $x$  — вектор измерений;  $\delta(t)$  — погрешности измерений;  $g(\cdot)$  — вектор-функция.

Отдельное измерение будем называть *замером*.

Погрешности измерений вызваны действием различного рода помех, относительно которых делаются предположения, аналогичные тем, что и об управлениях и возмущениях. В дальнейшем будем полагать, что выполняется включение

$$\delta(t) \in Q(t), \quad (5.4)$$

где  $Q(t)$  — область ограничений (в одномерном случае — отрезок).

В частности, справедлива запись:

$$\chi = D(t)x + \delta, \quad (5.5)$$

где  $D(t)$  — известная матрица (таблица коэффициентов).

Соотношение (5.5), справедливое и для косвенных измерений, при  $D(t) = E$ , где  $E$  — единичная матрица, описывает прямой способ измерения.

Будем также учитывать, что далеко не все фазовые координаты ОН доступны измерениям.

Существенным является дискретный характер измерений, который обусловлен либо методом измерения, либо способом передачи данных измерений.

*Система наблюдения.* Задача СН — выработать оценку состояния наблюдаемого объекта по результатам измерений. В математической теории управления-наблюдения задача наблюдения формулируется как отыскание такой операции (правила и алгоритма)

$$(\chi(\tau), t - \theta \leq \tau \leq t),$$

которую подлежит произвести над *предысторией*  $(\chi \{ \tau \}, t - \theta < \tau < t)$  изменения доступных измерению координат для получения искомой оценки. Наличие предыстории (*памяти наблюдателя с глубиной*  $\theta$ ) имеет, как доказано, принципиальное значение.

Оценка может быть оптимальной в смысле некоторого критерия. При построении оценки используется дополнительная информация о погрешностях измерений и наблюдаемом процессе.

### 5.2.3. Получение измерительной информации

К настоящему времени существуют три основных способа получения измерительной информации о подвижном объекте в пункте наблюдения (рис. 5.3).

При первом способе измеритель находится в пункте наблюдения (рис. 5.3, а). К такому способу относится радиолокационное наблюдение, но возможно использование и иных сенсорных устройств. Процесс измерения в этом случае имеет автономный и индивидуальный характер. При наблюдении параллельно за несколькими объектами используется временное разделение, которое увеличивает временной дискрет.

Второй способ реализуется при наличии линии передачи данных (ЛПД) между наблюдаемым объектом и пунктом наблюдения (рис. 5.3, б), по которой передается информация от измерителя, установленного непосредственно на ОН. Этот способ отвечает дискретно-адресной вторичной радиолокации и нашел свое полное воплощение в кооперативном независимом наблюдении (CIS) с использованием спутниковых систем (GNSS), хотя в качестве измерителей могут использоваться и БНС другого типа. (К этому же способу может быть отнесен и процедурный контроль.) В отличие от этого, третий, наиболее перспективный способ требует обязательного использования спутниковой технологии (рис. 5.3, в). На борту устанавливается устройство, осуществляющее



передачу на основании измерений с помощью БНК и GPS (GPS/Глонасс) информационного сообщения в определенном формате в эфир.

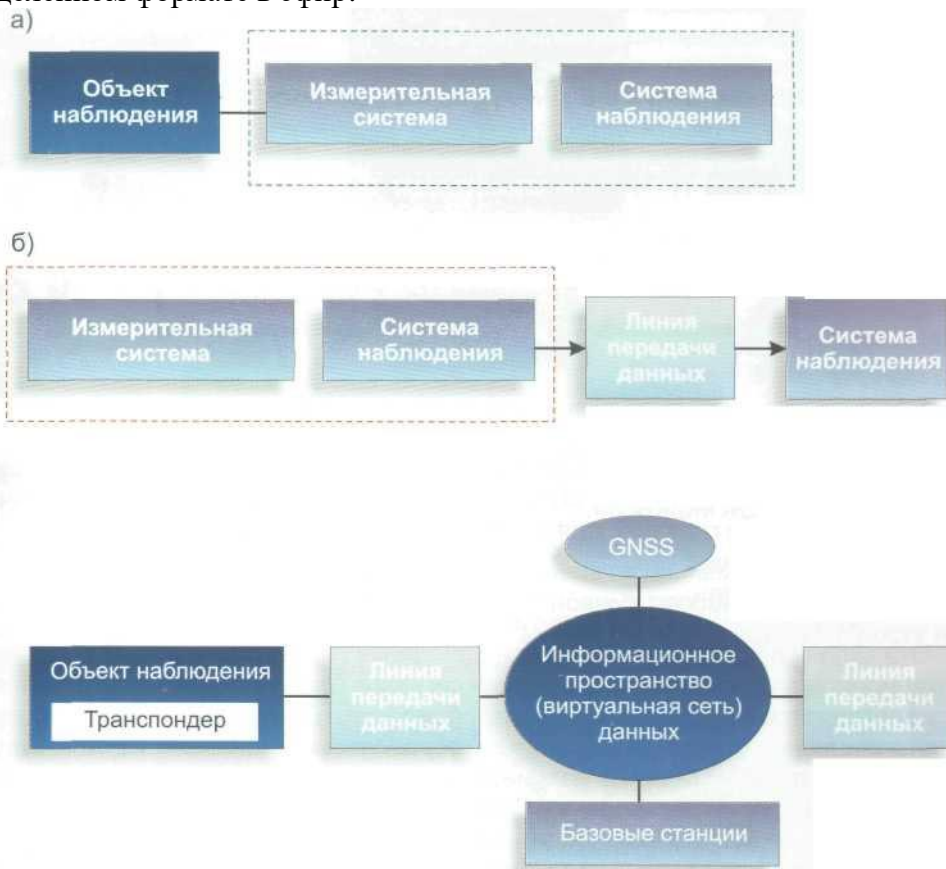


Рис. 5.3. Способы получения измерительной информации

В режиме полнодоступности информационные сообщения могут принимать любые другие подвижные объекты, а также наземные пункты наблюдения. Такой способ, получивший название автоматического зависимого наблюдения в широкоэмитальном режиме (ADS-B), наряду с первыми двумя, указанными выше, также рассматривается в соответствующих главах.

Следует подчеркнуть, что для всех рассмотренных способов характерен дискретный характер получения измерений во времени для последующей обработки в системе наблюдения.

#### 5.2.4. Декомпозиция общего процесса измерения-наблюдения

Процесс организации и оперативного управления воздушным движением возможен на основе получения необходимой информации (общая схема иллюстрируется рис. 5.4).



Рис. 5.4. Управление и наблюдение при ОВД



Наша цель состоит в том, чтобы яснее представить себе возможности применения различных методов в общей задаче наблюдения при УВД. Эта задача распадается на три главные, для которых используются термины: " обнаружение; " оценивание; • классификация, или идентификация.

Эти задачи решаются в системах наблюдения любой структуры. При радиолокационном наблюдении обнаружение сигналов (радиолокационных отметок) осуществляется в процессе *первичной обработки*. Оценивание и классификация традиционно относятся к *вторичной обработке* информации. Соответствующие алгоритмы составляют специальное математическое обеспечение вторичной обработки информации в АС УВД прежних поколений.

Приведем необходимые определения.

*Первичная обработка* — получение оценок координат подвижного объекта по данным измерителей (например, РЛС).

*Вторичная обработка* — процесс вычисления параметров движения объекта (цели) и построения траектории по данным измерений.

*Третичная (мультисенсорная) обработка* — совместная (комплексная) обработка информации о подвижном объекте наблюдения по данным нескольких измерителей.

*Автосопровождение* — процесс слежения за движением наблюдаемого объекта по дискретным во времени измерениям.

*Строб* — специально построенная ограниченная пространственная область, в которой, по предположению наблюдателя, должен находиться объект (цель) при поступлении очередного измерения.

*Идентификация* — отождествление, или соотнесение, измерительной информации с определенным объектом наблюдения.

Основное внимание следует уделить процессам, связанным с автоматическим сопровождением, но круг вопросов включает и другие проблемы наблюдения.

Процесс автоматического сопровождения радиолокационных отметок от ВС, осуществляемый при вторичной обработке радиолокационной информации, протекает в условиях неопределенности. Это обусловлено, по крайней мере, двумя причинами. Первая состоит в неточном определении координат с помощью радиолокатора. Вторая связана с возможными изменениями параметров движения сопровождаемой цели. При указанных выше предположениях задача оценивания также не находит однозначного решения.

Замеры координат производятся дискретно. Величина дискрета постоянна и равна периоду обзора (вращения антенны радиолокатора)  $T_0$ , который обычно составляет от 5 до 20 с. В связи с этим процесс наблюдения следует рассматривать не в непрерывном, а в дискретном времени  $t_i = iT$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots$ .

## 5.3. Методы наблюдений

### 5.3.1. Вероятностные методы обработки наблюдений

При разработке новых методов обработки результатов наблюдений на основе информационных технологий было бы в высшей степени неразумно отбрасывать накопленный опыт проектирования и эксплуатации АС УВД прежних поколений.

Здесь приходится ограничиваться кратким перечислением методов обработки результатов измерений с указанием лишь основных особенностей и характерных черт (полный и исчерпывающий анализ был бы неуместен и попросту невозможен, он содержится в многочисленных изданиях различного толка).

Уже в первых АС УВД задачи *обнаружения* сигналов и *оценивания* параметров движения решались на различной методической основе. Это различие закрепилось и в аппаратных средствах: первая операция производилась в АПОИ, а остальные — в вычислительном комплексе ВК. Вторичная обработка использовала комбинацию алгоритмов сглаживания и экстраполяции, позволяющих получить точечные оценки параметров движения, и алгоритмы стробирования, дающие интервальные оценки и обеспечивающие пространственную селекцию, необходимую для идентификации, т. е. классификации радиолокационных отметок.

В силу естественных ограничений на вычислительные ресурсы тогдашних аппаратных средств использовались наиболее простые процедуры рекуррентного типа, в основу которых были положены методы *линейной фильтрации*. Вместе с тем линейные оценки, полученные по методу наименьших квадратов и максимального правдоподобия (М-оценки), совпадают и являются оптимальными лишь при условии гауссовости ошибок измерений и чувствительны к аномальным выбросам.

В связи с этим в системах точного траекторного измерения стали применяться робастные оценки (L-оценки, R-оценки и пр.).

Дальнейший прогресс в создании цифровых измерительных и навигационных систем связан с разработкой методов оптимальной нелинейной фильтрации, и в первую очередь фильтров Калмана.

Следует отметить, что наивысшая эффективность построенных таким образом алгоритмов может быть обеспечена лишь при точном знании статистических характеристик помех и ошибок измерений.

Заслуживает внимания также важная ветвь *теории статистических решений*, получившая название *последовательного статистического анализа (оптимальных правил останова)*. На ее базе с единых позиций было предложено эффективное решение целого комплекса задач, входящих в проблему наблюдения, а именно: обнаружения, оценивания и классификации. При разработке алгоритмов принятия оптимальных решений здесь учитываются такие особенности, как, например, стоимость измерений. Однако и здесь успех дела в конечном счете зависит от полноты и достоверности априорной информации о процессе измерений.

### 5.3.2. Информационные множества

В последнее время развивается новый подход, основанный на конструктивном использовании информационных множеств; он направлен на получение гарантированного результата наблюдения при минимальной априорной информации о помехах и возмущениях, т. е. в условиях максимальной неопределенности. Ясно также, что наличие дополнительной достоверной априорной информации может улучшить гарантию. Недостатки, присущие методу, и практические способы их возможного преодоления служат предметом последующего обсуждения.

В связи с этим отметим основополагающие идеи Н.Н. Красовского, в соответствии с которыми решение двойственной задачи наблюдения-управления сводилось к математической проблеме об отделении выпуклых совокупностей в пространстве функций. Им указана и исследована тесная связь между правилами минимакса, обуславливающими решение задач об управлении и наблюдении, а также связь с теорией игр, когда при наличии седловой точки в условиях противодействия обеспечивается гарантированный результат.

Для решения проблемы оптимального наблюдения в условиях неопределенности одним из плодотворных является подход, использующий формализацию многошаговых и дифференциальных игр. При такой интерпретации процесс наблюдения трактуется как конфликтная ситуация, в которой действуют два игрока. Первый из них управляет помехой (ошибкой измерения) и, возможно, возмущениями  $x$  объекта. Второй игрок распоряжается выбором доступной стратегии (алгоритма) обработки информации, а именно управлением информационной системой.

Основные идеи построения *информационных множеств* (см. приложение 11) были сформулированы применительно к одному из классов позиционных дифференциальных игр, а именно *информационной игровой задаче управления*.

С помощью информационных множеств, как известно, решаются задачи построения стратегий позиционного управления с использованием доступных измерению параметров. Управление осуществляется по принципу *обратной связи*, и, следовательно, необходимо рассматривать совокупный процесс, состоящий, с одной стороны, в оценивании текущего состояния и параметров системы по результатам наблюдений, а с другой — в построении законов (алгоритмов) управления. В таком контексте динамика совокупной системы трактуется как эволюция информационных множеств в пространстве состояний. Эти процессы в ряде случаев удается представить либо в замкнутой форме в виде систем особых эволюционных уравнений, либо в форме аппроксимаций, построенных на основе решений систем обыкновенных дифференциальных или разностных уравнений.

Строгое математическое определение понятия информационного множества приводится в приложении 11.

По своему физическому смыслу применительно к подвижному динамическому объекту информационное множество для определенного момента времени есть совокупность тех и только тех значений координат и параметров движения, которые не противоречат полученным измерениям и заранее заданным ограничениям на их погрешности и динамические характеристики. Информационные множества (при сохранении их основного смысла) могут быть построены не только в обобщенном пространстве состояний, или фазовом пространстве, но также и в других подходящих пространствах, например в пространстве параметров некоторых движений, соответствующих траекториям определенного вида.

Из содержания понятия информационных множеств следует, что они применимы к наблюдению за такими объектами, как ВС в воздухе и на земле (на этапах разбега, послепосадочного пробега и руления), а также за наземными транспортными средствами. На базе информационных множеств может быть построен и обоснован ряд процедур, обеспечивающих устойчивое сопровождение этих объектов, контроль за их перемещением в условиях неопределенности, вызванной влиянием различных неконтролируемых факторов.

### 5.3.3. Об устойчивости наблюдения

Главная задача наблюдения в системах аэронавигации состоит в снижении до минимума возможности «потери цели», т. е. срыва наблюдения. Проблема повышения точности определения координат и параметров движения ВС как самоцель отходит на второй план, и рассматривать ее имеет смысл лишь с точки зрения достижения указанной основной цели. Действительно, при идеальном выдерживании заданной траектории в пределах норм эшелонирования, номинальных характеристиках основного источника информации о движении ВС в идеальных условиях контроль за воздушным движением не вызывает серьезных трудностей.

Существенные проблемы возникают в условиях неопределенности при учете дискретного во времени поступления информации о положении ВС.

Основных причин «срыва сопровождения», приводящих к *неустойчивости* наблюдения, три:

- \* потеря сигнала (отсутствие замера);
- \* аномальный замер;
- \* маневр цели.

В дальнейших построениях формализуются действия двух источников неопределенности:

1) внешние возмущающие факторы, ошибочные действия экипажа или неисправности (отказы) бортовых систем, приводящие к отклонениям от заданной траектории движения, изменение характера и параметров наблюдаемой траектории на интервале между соседними отсчетами;

2) погрешности измерения координат, а также параметров движения, вызванные влиянием факторов внешней среды, помехами и ошибками измерителей, систем передачи и обработки данных.

Первая группа факторов отражается в модели наблюдаемого объекта (5.1), а именно, как полагается, они содержатся в заранее неизвестной (по крайней мере, полностью) функции  $u(t)$ . Влияние помех, естественно, учитывается также заранее неизвестной функцией  $\delta(t_k)$ , входящей в уравнение для измерительной системы (5.3).

Принципиальная особенность такого подхода состоит в том, что заранее считается известным лишь то, что эти функции принадлежат к довольно широкому классу ограниченных функций.

Смысл множеств ограничений поясним примером. В самом простом случае для скалярной функции погрешности измерений можно записать:  $\mu_1 < \delta(t_k) < \mu_2$ . Ограничения такого вида называют геометрическими. Величины  $\mu_1$  и  $\mu_2$  могут зависеть от времени. В дальнейшем будем полагать, что все указанные функции стеснены ограничениями (5.2) геометрического характера, причем в отличие от традиционно применяемого вероятностного подхода знания вероятностных характеристик (функций плотности распределений вероятностей, автокорреляционных функций и т. д.) здесь не предполагается. Такие предположения соответствуют реальному положению, когда статистики обычно либо малодостоверны, либо отсутствуют вовсе, а влияющие факторы и помехи обязательно ограничены, что ставит под сомнение применимость, к примеру, гауссовых функций

распределения, которые реально должны всегда «усекаться». (Практически все реализации случайных процессов являются неоднородными совокупностями, содержащими «аномальные выбросы», которые обычно отсеивают, добиваясь устойчивости оценок в статистическом смысле.)

Перейдем к описанию свойств функций  $u(t)$  — воздействий на наблюдаемый объект. При этом также будем исходить из самых общих представлений. Как известно, полет по маршруту состоит из конечного числа участков, на которых параметры движения либо остаются постоянными, либо меняются в довольно медленном темпе, так что отслеживание траектории с необходимой точностью не вызывает трудностей. Будем полагать, что переход с одного участка на другой происходит практически мгновенно, что допустимо (особенно в случае радиолокационного контроля, где период обзора больше времени переходного процесса в движении наблюдаемого ВС). Таким образом, мы приходим к предположению, что функция  $u(t)$  принадлежит к классу кусочно-постоянных функций с конечным числом разрывов, причем длительность участка постоянства  $u(t)$  ограничена снизу (а из-за конечной длительности процесса полета по маршруту — также и сверху):

$$\Delta \leq \theta_i \leq \theta: U(t) = \text{const}, \quad t \in \theta_i.$$

В эти рамки укладываются как запланированные, так и непредвиденные (случайные) воздействия. Конечно, в реальном полете имеют место кратковременные малые вариации параметров движения и управляющих воздействий.

Их влияние можно учесть, отнеся вызванные ими изменения фазовых координат к погрешностям измерения. В этом случае можно считать, что их наследует измерительная система с помощью соответствующего расширения множеств  $Q(tk)$ . (Заметим, что тогда неизбежно меняется «точка отсчета» истинной траектории, что, впрочем, в еще большей степени имеет место при скользящем сглаживании с помощью  $\alpha$ - $\beta$  фильтров.)

Из сказанного следует сделать вывод, что понятие устойчивости наблюдения при УВД имеет более широкий смысл, чем робастность в статистике. Рассматривая устойчивость наблюдения при УВД, представляется, что более подходящей является аналогия с робастностью не в узком (статистическом), а в широком (системном) смысле (близкой к понятию практической устойчивости в теории управляемых систем).

Информационное множество, как любое математическое понятие, носит абстрактный характер и достаточно универсально. Применительно к задачам, возникающим при наблюдении за движущимися объектами и, прежде всего, при оценивании их положения в пространстве, параметров траекторий и их построения, мы будем использовать ИМ различного типа, вкладывая в них конкретный смысл. Они будут различаться видом описания динамики наблюдаемого объекта, управляющих и возмущающих воздействий, а также погрешностей (ошибок) измерений. Будем рассматривать следующие варианты:

\* воздействия и помехи известны (изменяются по известным законам во времени или постоянны, в частности принимают нулевые значения, т. е. отсутствуют вовсе);

\* воздействия и помехи могут изменяться во времени произвольным образом, но обязательно в пределах известных ограничений.

В дальнейшем будут рассматриваться два типа ИМ — основного вида и частного вида.

*ИМ основного вида.* Строится в пространстве состояний (фазовом пространстве). Динамический объект задан в форме дифференциальных (или дифференциально-разностных) уравнений с постоянными или переменными коэффициентами (в последнем случае они также могут быть отнесены к возмущениям параметрического типа). Оцениванию подлежат параметры состояния.

*ИМ частного вида.* Строится в пространстве параметров траектории известного вида (описывающей функции), которая представляет одно из возможных решений описывающей системы дифференциальных уравнений и имеет обычно вид алгебраического (или тригонометрического) полинома, параметры (коэффициенты) которого неизвестны и подлежат оцениванию. Кратко и наглядно охарактеризуем эти два типа ИМ, приведя табл. 5.1.

Таблица 5.1. Классификация информационных множеств

| Тип воздействий  | Вид ИМ   |         |
|------------------|----------|---------|
|                  | основной | частный |
| Управляющие      | •        | ○       |
| Возмущающие      | •        | ○       |
| Помехи измерения | •        | •       |

Как нетрудно видеть, в последнем случае неопределенность вызвана исключительно погрешностями измерения. В случае же когда и они отсутствуют, то при такой полной степени определенности ИМ вырождается в точку.

Идеология информационных множеств оказывается удобной для практических приложений в области управления воздушным движением. Однако, несмотря на значительные достижения теории наблюдения-управления в условиях неопределенности, решение практических задач в любой предметной области, обладающей своей спецификой, требует разработки специальных методов и приемов.

## 5.4. Оценивание координат и параметров программных траекторий

### 5.4.1. Программные движения и траектории

Для решения основной (навигационной) задачи управления подвижным объектом, а именно перевода его из некоторого исходного состояния в конечное по траектории с определенными характеристиками, следует сформировать соответствующие управляющие воздействия. Будем полагать, что такие управления реализованы, а неконтролируемые возмущающие воздействия отсутствуют.

Для основной системы (5.1) это означает, что, изменяя управления  $U_1$ ,  $U_2$  и  $U_3$  по определенной программе, важно обеспечить движение по соответствующей программной траектории.

Программным движениям отвечают решения системы уравнений, описывающих поведение наблюдаемого объекта при определенном виде управления.

Расширив фазовое пространство (пространство состояний) динамической системы за счет добавления еще одной координаты — времени  $t$ , будем трактовать программную траекторию как кривую в этом пространстве позиций, отвечающую программному движению. Тогда график изменения каждой координаты — переменной состояния — получается как проекция траектории на соответствующую координатную плоскость. Будем исходить из того, что для транспортной авиации наиболее распространенным видом полетов является полет по трассам (маршрутам), состоящим из конечного числа участков конечной длины, на которых параметры движения остаются практически постоянными или претерпевают изменения в небольших пределах, не превышающих погрешности измерений (последний случай анализируется в следующем параграфе).

Программной траекторией наблюдаемого объекта, описываемого системой уравнений (5.1), называется движение, порождаемое на интервале времени  $[t_0, \theta]$  вектором управлений  $u_0(t) = \{u_1(t), u_2(t), u_3(t)\}$  и начальными условиями. Будем полагать, что вектор-функция  $u_0(t)$  относится к классу кусочно-постоянных во времени, с известными пределами изменения. В частности, вектор  $u_0(t)$  может быть тождественно равным нулю (или равны нулю либо постоянны его некоторые компоненты).

Отмеченные выше небольшие отклонения реальной траектории от программной, вызванные малыми неконтролируемыми возмущающими воздействиями, могут быть отнесены к погрешностям измерений и учтены в измерительной системе.

При указанных предположениях вектор переменных состояния объекта представляет вектор-функцию известного вида. Заметим, что координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$  образуют подпространство, совпадающее с реальным, в котором задана нормальная земная система координат. Измерительная система позволяет в дискретные моменты времени  $t_j$ ,  $i = 1, n$  получить замеры некоторых компонент фазового вектора с погрешностью  $\delta_i$ .

Можно также полагать, что относительно вероятностных характеристик известен лишь характер функции распределения (нормальное или равномерное).

Будем рассматривать координаты вектора переменных состояний (фазовые координаты) в отдельности.

В целях упрощения записи предположим, что с помощью соответствующих измерителей (измерительной системы) эта координата доступна прямому измерению. (В общем случае, при непрямом измерении, возможно, придется проводить дополнительные преобразования, например преобразование из полярной в прямоугольную систему координат.)

Для описания невозмущенных движений подвижных объектов оказывается вполне достаточно системы функций, представляющих собой алгебраические или тригонометрические полиномы. Их конкретный вид зависит от типа движения.

Основным видом движения на маршруте является полет с постоянной скоростью и путевым углом. Так как маршрут состоит из нескольких участков, являющихся обычно частными ортодромиями (ЧО), а переход с одной ЧО на другую осуществляется по криволинейной траектории, можно полагать, что вторым типом программного движения является разворот на угол  $< 180^\circ$ . Кроме того, ВС на отдельных этапах полета (на взлете и при посадке) изменяет скорость. Имеет место также изменение высоты полета, в частности на этапах взлета, снижения и посадки. Так как при наблюдении за ВД мы получаем неполное представление о реальной траектории, то правильнее говорить о предполагаемом типе движения.

Выделим четыре основных типа программных движений (табл. 5.2). В литературе по методам обработки радиолокационной информации по отношению к некоторым из них применяется термин «гипотеза».

Движение в вертикальной плоскости здесь не учитывается. Для него можно предполагать  $u' = V_y = 0$  либо  $V_y = \text{const} \neq 0$ .

В традиционных АС УВД в качестве основной применялась гипотеза I. Гипотезы II и III использовались для обнаружения маневра. Что же касается гипотезы IV, то она вообще не упоминалась. В реальных условиях к классификации надо добавить варианты, отвечающие изменению высоты (естественно, при наличии соответствующего источника информации).

Для траекторий, соответствующих указанным четырем гипотезам, будем полагать, что управляющие параметры, определяющие их тип, сохраняют постоянное значение. Это относится, например, к величине крена (обычно разворот на значительный угол производится с предельно допустимым креном). То же самое имеет место при ускорении и торможении. В этом случае, наблюдая установившееся движение отметки, можно относительно просто определить эти величины. Что же касается переходных процессов, где их нельзя считать постоянными, то при использовании в качестве источника информации обзорного РЛ, имеющего период обзора 6..20 с, их можно не учитывать. Действительно, длительность переходных процессов по угловым и линейным координатам оказывается в ряде случаев меньше этих величин.

На практике изменения в характере движения могут не укладываться в указанные схемы. Траектории, которые отвечают соответствующим гипотезам,

Таблица 5.2. Основные типы программных движений

| Угол пути $\psi$ | Путевая скорость $V$ |     |
|------------------|----------------------|-----|
|                  | Const                | Var |
| Const            | I                    | III |
| Var              | II                   | IV  |

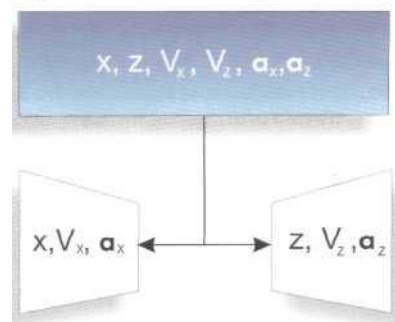


Рис. 5.5. Декомпозиция движения

в дальнейшем будем называть программными невозмущенными (при этом возмущения, естественно, полагаются тождественно равными нулю).

Невозмущенные программные траектории следует относить к «идеальным» (удобным для теоретических выкладок). Реальные траектории, отличающиеся от идеальных, будут рассмотрены в параграфе 5.5.

Выполним декомпозицию программного движения по схеме, представленной на рис. 5.5. Пространственную траекторию в плоскости OXZ представим в виде двух «проекции».

Эти движения можно рассматривать независимо друг от друга.

#### 5.4.2. Точечные оценки

Результатом оценивания координат и параметров движения служат их оценки. Они могут быть двух видов. Наиболее распространены *точечные* оценки, однако иногда используются и *интервальные* оценки.

Точечная оценка представляет собой число, соответствующее истинному значению измеряемой величины в данный момент времени, в то время как интервальная оценка задает границы области, где с определенной вероятностью находится истинное значение измеряемой величины (в таком случае часто используется термин «доверительный интервал»). Особый случай, когда указанная вероятность равна единице, будет рассмотрен в следующем подразделе.

Пусть на выходе измерительной системы имеется последовательность измерений

$$\chi[t_i] = \zeta(t_i) + \delta[t_i], \quad i = 1, 2, \dots, N,$$

где  $t_j$  — момент измерения;  $\zeta$  — измеряемая координата (это может быть любая из координат  $x$  и  $z$ , а при наличии соответствующего измерителя и координата  $y$ , имеющая смысл высоты полета);  $\delta[t_j]$  представляет собой погрешность измерения, случайную величину, свойства которой оговариваются особо. Квадратные скобки подчеркивают тот факт, что измерения проводятся в дискретный момент времени  $t_j$  и образуют функцию измерений  $f_u$ , заданную, как говорят, на некоторой временной сетке (равномерной или неравномерной).

Введем понятие *описывающей функции*  $\varphi(\mathbf{c}, t)$ , которая по формуле соответствует движению определенного типа. Она содержит вектор  $\mathbf{c}$  неизвестных параметров:  $\mathbf{c} = (c_1, c_2, \dots, c_m)$ .

В математической теории приближения (аппроксимации) функций решается задача отыскания такого вектора  $\mathbf{c}$ , который обеспечивает наилучшее в определенном смысле *приближение* значений функций  $\varphi$  и  $f_u$  в узлах сетки (т. е. в момент измерений  $t_j$ ).

Описывающую функцию представляют в виде суммы произведений:

$$\bar{\varphi}(\mathbf{c}, t) = \sum_{j=1}^m c_j \varphi_j(t),$$

где компоненты  $\varphi_i(t)$  образуют независимую систему функций. В качестве примера приведем некоторые из них.

$$1. \{1, t, t^2, \dots, t^m\}, T = [t_0, \theta] \text{ или } T = \{t_i \in [t_1, t_N]\}, N \geq m.$$

$$2. \{1, \cos t, \sin t, \cos 2t, \dots, \cos nt, \sin nt\}, T = \{t : -\pi \leq t \leq \pi\}$$

или

$$3. \{1, \cos t, \cos 2t, \dots, \cos nt, \sin nt\}, T = \{t_i : -\pi \leq t_i \leq \pi, t_i \in [t_1, t_N], N \geq 2n\},$$

$$T = \{t : 0 \leq t \leq \pi\} \text{ или } T = \{t_i : 0 \leq t_i \leq \pi, t_i \in [t_1, t_N], n \geq N\}.$$

Здесь  $T$  — интервал задания функции. Выбор описывающей функции зависит от характера ожидаемых реальных траекторий.

Для рассматриваемых траекторий описывающие функции  $\varphi(\mathbf{c}, t)$  имеют вид полиномов первой или второй степени ( $m=1$  или  $2$ ):

$$\varphi(\mathbf{c}, t) = P_m = \sum_{j=1}^{m+1} c_j t^{j-1}.$$

В настоящее время наибольшее распространение получили точечные оценки. Рассмотрим две из них. Они отличаются друг от друга заданием критерия качества оценивания.



Наилучшее среднеквадратичное приближение приведено в приложение 12. Пусть имеется  $N$  замеров. Составим разность

$$E = \sum_{i=1}^N (P_m - \chi_i)^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \sum_{j=1}^{m+1} c_j t^{j-1} - \chi_i \right)^2, \quad m = 1, 2.$$

Если найден такой вектор  $c^0 = (c_1, c_2)$  при  $m = 1$  и  $c^0 = (c_1, c_2, c_3)$  при  $m = 2$ , при котором  $E_m = \min E$ , то значения полинома  $P_t$ , вычисленные при  $t_i = t_1, t_2, \dots, t_n$ , будут представлять собой оптимальные точечные оценки координаты в соответствующие моменты времени. Компонента  $c^0$  оптимального вектора  $c^0$  есть не что иное, как наилучшая в среднеквадратическом смысле оценка скорости  $V(-)$ , а компонента  $c^0$  (при  $m = 2$ ) — наилучшая оценка половинного ускорения  $a_{-}/2$ .

Вектор  $c^0$  отыскивается с помощью *метода наименьших квадратов*. Если предположить, что случайные погрешности измерения подчиняются нормальному (гауссовскому) закону распределения, то можно использовать также и *метод максимального правдоподобия* (см. приложение 12). Результат, как говорит теория, будет тот же.

*Наилучшее равномерное приближение* отличается от рассмотренной выше задачи нахождения точечной оценки тем, что за критерий качества приближения принимается максимальное по модулю отклонение на заданной сетке (см. приложение 12).

### 5.4.3. Интервальные оценки на основе информационных множеств

В отличие от вероятностных методов оценивания с помощью доверительных интервалов, этот способ интервального оценивания координат и параметров движения подвижных объектов не предполагает априорных знаний вероятностных характеристик погрешностей измерений. Для его применения требуется знать лишь *ограничения* на величины ошибок измерений. Полезно также иметь сведения о диапазоне изменения параметров движения. Если все эти условия в процессе наблюдения не нарушаются, то метод позволяет получить *гарантированные* интервальные оценки координат и параметров движения, иными словами, результат обеспечивается со стопроцентной гарантией, или с вероятностью, равной единице.

Суть метода, который для сокращения записи будем называть *методом {-оценивания}* (см. приложение 13), состоит в следующем.

Пусть погрешности измерений  $S(t_j)$  подчинены ограничениям:

$$\mu_1 \leq \delta_i \leq \mu_2, \quad i = \overline{1, N}, \quad \mu_1 \leq \mu_2.$$

В частности (а на практике достаточно часто), можно положить  $\mu_1 = \mu_2 = \mu$ . Все дальнейшие построения будут делаться в предположении, что это соотношение соблюдается, т. е. ограничения симметричны. Результаты, впрочем, могут быть распространены и на более общий случай несимметричных ограничений.

Каждому замеру сопоставим его множество неопределенности (МН)  $H_i$ :

$$H_i = [s_{iH}, s_{iB}], \quad (5.6)$$

представляющее собой отрезок с верхней границей  $s_{iB} = \chi_i + \mu$  нижней границей  $s_{iH} = \chi_i - \mu$

Значение вектора параметров  $c$  называется *допустимым* или *совместным* с данной выборкой замеров, если при подстановке его в описывающую функцию выполняется система неравенств:

$$s_{iH} \leq \varphi(c, t_i) \leq s_{iB}, \quad i = \overline{1, N}. \quad (5.7)$$

Из систем неравенств следует, что кривая (траектория), изображающая описывающую функцию, проходит через все без исключения «ворота», соответствующие множествам (отрезкам) неопределенности  $H_i$ . Кривую, обладающую указанным свойством, также будем считать допустимой. При этом выполняется включение  $\varphi(c, t_i) \in H_i, i = \overline{1, N}$ .

Определение. *Информационным множеством* параметров  $l(c)$  называется множество тех и только тех значений вектора  $c$ , которые являются допустимыми.



Чтобы подчеркнуть, что множество  $I(c)$  строится на наборе  $\{t_j, j = 1, N\}$ , будем применять также обозначение  $I_N(c)$ . Соответственно информационное множество, построенное на выборке  $\{t_j, j = 1, k, 1 < k < N\}$ , обозначается как

$I_k(c)$ .

Информационному множеству отвечает множество (ансамбль) траекторий, или *информационная трубка*. По мере получения новых замеров информационное множество будет, вообще говоря, меняться, т. е. корректироваться и уточняться. Следовательно, будет изменяться и информационная трубка.

Пусть получено  $k$  последовательных замеров и по ним построено информационное множество  $I_k(c)$ . Обозначим множество функций  $\varphi(c, t)$ , отвечающих информационному множеству  $I_k(c)$ , через  $\Phi_k$ :

Назовем *сечением* информационной трубки  $\Phi_k$  в момент времени  $1 < i < k$  множество значений всех функций  $\varphi(c, t)$ :

Заметим, что при поступлении каждого очередного замера все предыдущие сечения, вообще говоря, изменяются. Сечение в очередной поступивший замер обозначим как  $\Phi_k$ .

Для того чтобы предложенный подход можно было использовать в целях оценки параметров и сглаживания траекторий, необходимо дать ответы на ряд вопросов, в том числе:

\* указать свойства информационного множества;

\* разработать метод его построения;

\* указать способ оценки размеров информационной трубки.

Условие Хаара гарантирует единственность полинома наилучшего приближения.

## 5.5. Последовательное наблюдение и построение траекторий

### 5.5.1. Предварительные замечания

Реальные движения, даже в стандартных условиях, в той или иной степени отличаются от программных. Описание последних в виде функций простого вида представляет собой идеализацию. К этому надо добавить важный вопрос о принятии решения об отнесении траектории к тому или иному типу движений. Одна из задач такого рода получила известность как задача об обнаружении маневра цели. В широком смысле в таких случаях мы имеем дело с классификацией и *идентификацией* движений.

Предполагая, что на данном участке движение осуществляется по траектории *определенного* (т. е. известного) вида, мы используем структурные ограничения, что и приводит к уменьшению неопределенности результатов наблюдений. Здесь, однако, сразу возникает ряд вопросов.

\*Какова степень соответствия реального движения предполагаемому, а именно, насколько реальные значения координат отвечают описывающей функции?

\*Каков механизм обнаружения такого несоответствия и перехода при необходимости, к описывающей функции другого вида?

В первых поколениях АС УВД ответы на эти вопросы даются с вероятностных позиций в предположении гауссовости помех и ошибок измерений. Применяются самые простые (и экономные с точки зрения вычислительных затрат) процедуры, основанные на использовании  $\alpha$ — $\beta$  фильтра.

При этом обеспечиваются сглаживание координат и скорости и управление положением пространственных стробов по экстраполированным координатам.

Чрезвычайно широкое распространение алгоритмов этого типа следует объяснить их простотой и компактностью. Однако попытки перехода к более совершенным алгоритмам, реализующим статистические процедуры последовательного анализа, предпринимались и описаны в специальной литературе.

### 5.5.2. Идентификация траекторий методом информационных множеств

Ниже рассматривается модельная задача, иллюстрирующая возможности идентификации траекторий на основе информационных множеств. Модельный характер ей придают предположения, что погрешности измерений строго подчиняются заданным ограничениям, а истинные движения в точности соответствуют описывающим функциям заранее известного типа. Конкретно рассматривается движение, состоящее из нескольких (не менее двух) чередующихся участков неизвестной протяженности, на которых описывающая функция имеет вид алгебраического полинома первой или второй степени (именно такие функции и анализировались в параграфе 5.4).

Ширина информационной трубки, рассматриваемая как мера неопределенности и задаваемая размерами и структурой ИМ, существенно зависит от объема и качества априорной информации. Чем меньше «разнообразие возможностей», тем точнее интервальные оценки. Отсюда вытекает необходимость соответствия («согласование») описывающей функции как математической модели с характером и свойствами реального движения. При отсутствии такого согласования результаты ухудшаются. Так, например, если использовать фильтр второго порядка, в то время как движение прямолинейное (описывается полиномом первой степени), то трубка получается шире (а точечная оценка — хуже), нежели в согласованном случае, т. е. при использовании фильтра первого порядка. Избыточность здесь вредит, и отсюда следует вывод о необходимости использования по возможности минимального (т. е. максимально простого) описания.

При условии, что вероятность выхода погрешности измерений за допустимые пределы равна нулю, проблема согласования решается с помощью ИМ.

Пусть цель движется прямолинейно, с постоянными курсом и скоростью. По условию, помеха не выходит за допустимые пределы, и все замеры совместны. Тогда ИМ существует, и может быть построена информационная трубка. Допустим, что в некоторый момент цель изменила характер своего движения, и в результате появилось ускорение  $a$ , которое для простоты будем полагать

постоянным. Тогда не позже чем через промежуток времени  $\tau < (2/\mu)^{1/2}$  очередной замер станет несовместным, что приведет к вырождению ИМ и «захлопыванию» трубки.

Несовместность замера является признаком несогласованности и требует перехода к описывающей функции в виде полинома второй степени. При переходе соответственно увеличивается (на единицу) размерность пространства параметров движения. Сам переход целесообразно осуществлять следующим образом. Для обеспечения «плавного» перехода необходимо строить новые ИМ, учитывая один (или даже два) предыдущих замера, а также интервальные оценки скорости в качестве «начальных условий».

Обратный переход (с модели второго порядка на первый) выполнить сложнее. Здесь возможны два пути. Первый состоит в анализе структуры ИМ. Если оно становится «плоским», теряя объемность, то, следовательно, модель избыточна. Другой, «прямой» путь состоит в параллельной обработке замеров на фильтре первого порядка. Если на его выходе будет получаться непустое ИМ, то это является признаком того, что цель снова движется в соответствии с описывающей функцией первого порядка.

Приведенные соображения не претендуют на полноту: они лишь намечают общие контуры подхода к решению задачи. В самом деле, невозможно абсолютно точно следовать по заданной (программной) траектории. Этому есть целый ряд причин. К тому же исходя из практических соображений следует предусмотреть возможность появления аномальных выбросов, т.е. таких замеров, для которых погрешность измерений выходит за априорные ограничения, что приводит к их «размыванию».

### 5.5.3. Анализ с позиций теории оптимальных правил остановки

В условиях помех, ошибок измерений и отсутствия достоверной информации о факторах, возмущающих траекторное движение, установление изменений в его характере содержит элемент случайности. В теории вероятностей и математической статистике такой ситуации соответствует хорошо известная *задача о разладке*. Двумя основными способами решения этой задачи являются корреляционно-спектральный и статический последовательный (потраекторный). Наиболее полное развитие последний способ получил в разделе математической теории, под названием

статистического последовательного анализа, где изучаются *оптимальные правила остановки наблюдений* (см. приложение 14). Именно в этих работах на основе байесовского подхода и вальдовского последовательного анализа они обрели математическую корректность. Для этого направления характерны два отличительных свойства.

В отличие от классического метода различения двух простых гипотез, а именно метода Неймана—Пирсона (получившего широкое распространение в радиолокации и АС УВД), в котором число замеров (наблюдений) заранее фиксировано, в последовательных процедурах момент прекращения наблюдений (момент остановки, совпадающий с принятием решения) является случайным и определяется в процессе наблюдения.

Доказано, что последовательный анализ при проверке двух простых гипотез дает наибольший выигрыш в среднем числе наблюдений по сравнению с любым другим способом различения при тех же вероятностях ошибочных решений (необнаружения и ложной тревоги).

К этому надо добавить, что метод унаследовал полезное качество байесовского подхода, когда апостериорная вероятность (статистика) формируется в процессе наблюдений.

Достоинства метода сделали его крайне заманчивым для использования при обработке информации в системах навигации, наблюдения, измерения, радиолокации, связи и прочем для решения задач обнаружения, оценивания, классификации и т. д.

В методе используется следующее свойство оптимальных правил остановки. Наблюдения следует продолжать до тех пор, пока вычисленный выигрыш не сравняется со средним из наибольших выигрышей (наименьших проигрышей), который может быть получен от продолжения наблюдений:

$$k_{\text{opt}} = \min[k : B_k(\chi_1^k) = B_N(\chi_1^N)].$$

Для того чтобы реализовать байесовское правило остановки, необходимо решить следующие задачи:

\* задать функции потерь (выигрыша);

\* найти статистики, на которых заданы решающие правила как апостериорные вероятности, вычисляемые на основе наблюдений (измерений) и априорной информации о распределениях момента изменения характера движения; построить границы, разделяющие области принятия решений.

В соответствии с теорией оптимальных правил остановки принятое решение следует считать окончательным, что формально может означать прекращение наблюдений. В рассматриваемых нами задачах принятие решения означает переход на другой алгоритм обработки измерений (построение ИМ в пространстве другой, отличной от прежней размерности, за исключением, конечно, полного прекращения наблюдений за объектом, например, в связи с его выходом из зоны ответственности). В связи с этим учет стоимости измерений не имеет смысла. После принятия решения процесс обработки вновь поступающей информации может начинаться «с нуля». Однако целесообразно предусмотреть некоторое «перекрытие». Это полезно также и для обнаружения ложных тревог и их (хотя бы частичной) нейтрализации.

# Глава 6. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И ОТОБРАЖЕНИЕ «СЫРОГО ВИДЕО» ОБЗОРНОГО РАДИОЛОКАТОРА

## 6.1. Радиолокационные комплексы АС УВД

### 6.1.1. Общие сведения

Радиолокационные станции (РЛС) и комплексы (РЛК) до недавнего времени являлись основным средством наблюдения за движением как в воздушном пространстве, так и на земле. Несмотря на появление новых, прежде всего спутниковых, технологий, радиолокационные средства будут играть и в дальнейшем важную роль в глобальной системе CNS/ATM. Объяснение лежит в достоинствах, которыми обладает радиолокатор. Это прежде всего его автономность, которая позволяет отнести его к средствам *независимого наблюдения*, осуществляющим дистанционное зондирование окружающего пространства. Хорошо известны также и присущие радиолокаторам недостатки (ограниченная дальность действия, слабая помехозащищенность, ограничения на высоту места установки, влияние на экологию и др.).

Все сказанное в полной мере относится к *первичным радиолокаторам* (ПРЛ), обладающим высокой универсальностью. Радиолокаторы этого типа по своему назначению подразделяются на следующие: <sup>51</sup> трассовые обзорные (ТРЛС);

- \* аэродромные обзорные (АРЛС);
- \* посадочные радиолокаторы (РП);
- \* метеорологические (МРЛС),

а также другие виды (обзора летного поля и пр.).

*Вторичные радиолокаторы*, работающие по принципу «запрос—ответ», не столь универсальны, так как для их функционирования необходимо бортовое оборудование (самолетный ответчик — СО).

Как средство наблюдения радиолокатор должен иметь определенные информационные (или тактические) характеристики. К ним относятся нижеследующие.

\* Зона действия. Она характеризуется объемом контролируемого пространства и прежде всего дальностью действия (максимальной дальностью  $D_m$ ).

\* Характеристики обнаружения. К ним относятся вероятность правильного обнаружения  $P_{п о}$  и вероятность ложных тревог  $P_{л т}$ .

\* Периодичность (темп) получения информации (измерений). Для обзорных РЛС — это период обзора  $T_o$ , равный интервалу времени, за который антенна совершает полный оборот.

\* Точность измерения координат (обычно задаются среднеквадратичные погрешности измерения:  $\sigma_D$  — дальности  $D$ ,  $\sigma_A$  — азимута  $A$ ,  $\sigma_\phi$  — угла места  $\phi$ ).

\* Разрешающая способность  $\Delta_D$  — по дальности и  $\Delta_A$  — по азимуту, т. е. те минимальные отклонения координат двух объектов наблюдения, свыше которых эти объекты наблюдаются раздельно.

Радиолокационный комплекс АС УВД обычно включает первичный (ПРЛ) и вторичный (ВРЛ) радиолокатор, аппаратуру первичной обработки радиолокационной информации (АПОИ) и средства передачи данных о воздушной обстановке.

Комплексы подразделяются на трассовые и аэродромные. В их состав могут также входить автоматические пеленгаторы и посадочные радиолокаторы.

РЛ К должен удовлетворять требованиям по показателям готовности, целостности и непрерывности, обеспечивающим высокий уровень надежности и достоверности информации о наблюдаемых объектах.

## 6.1.2. Особенности и характеристики радиолокаторов, применяемых в АС УВД

Рассмотрим основные типы радиолокаторов, используемых как источники информации о местоположении объекта наблюдения (ВС).

Дальность действия *первичного обзорного радиолокатора (ПОРЛ)*, как известно, зависит от следующих параметров: средней мощности в импульсе, его длительности  $t$ , периода следования  $T$  зондирующих импульсов, эффективных площадей антенны и поверхности отражения цели, а также от потерь различного рода и других факторов.

Существенную роль играет уровень помех, а также способ обработки отраженных сигналов при условии обеспечения заданных характеристик достоверности.

*Диаграмма направленности антенны* — весьма важная характеристика РЛС, поэтому рассмотрим ее подробнее. Сделаем следующие построения. Полагая, что антенна имеет плоскость симметрии, в которой расположен центр антенны — точка  $OА$ , проведем из нее полупрямую, совпадающую с направлением прихода отраженного сигнала максимальной мощностью  $P_m$  (по сравнению со всеми другими направлениями). По этой полупрямой отложим единичный вектор  $\vec{E}_T$  (модуль которого  $|\vec{E}_T| = 1$ ). Затем в точке  $OА$  как центре во всевозможных направлениях построим векторы  $\vec{E}_{a,\phi}$ , модули которых  $E_{a,\phi} = P_{\theta,\phi}/P_m$ , где  $\theta$  и  $\phi$  — углы отклонения от оси антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно, а  $P_{\theta,\phi}$  — мощность отраженного сигнала, принятого с этого направления. Точки, являющиеся концами указанных векторов (отличных от нулевых), образуют поверхность пространственного тела — оболочки диаграммы направленности антенны (ДНА). Если пересечь это тело вертикальной плоскостью, совпадающей с плоскостью симметрии антенны, то получим *диаграмму направленности в вертикальной плоскости*. При пересечении построенного тела ортогональной плоскостью, содержащей ось антенны, получаем *диаграмму направленности в горизонтальной плоскости*. (Строго говоря, если ось антенны не горизонтальна, а наклонна, то под ДНА в горизонтальной плоскости следует подразумевать соответствующее сечение наклонной плоскости.)

Ширина диаграммы направленности в горизонтальной плоскости  $\theta_{0,5}$  определяется как угол между векторами, по которым приходят отраженные сигналы половинной мощности, т. е.  $0,5 P_m$  (иными словами, «на уровне 0,5»).

Первичный радиолокатор представляет собой РЛС импульсного типа с вращающейся антенной, которая имеет диаграмму направленности в виде «лепестка».

Принцип действия РЛС известен: антенной периодически излучаются зондирующие импульсы малой длительности. В паузе между ними антенна переходит в режим приема и принимает отраженные сигналы от объектов, находящихся в пределах диаграммы направленности и на удалении уверенного приема. Антенна вращается вокруг вертикальной оси с периодом  $T_0$ . »  $T$ , где  $T$  — период следования зондирующих посылок.

По длительности времени задержек принятого импульса по отношению к излученному (зондирующему) определяют дальность до наблюдаемого объекта, а по углу разворота антенны — его азимут  $A$ .

Отметим особенности РЛС кругового обзора:

\*имеется «мертвая зона» видимости от горизонта до угла  $\phi_{\min}$  представляющая собой тело вращения с вертикальной осью;

\*существует вторая «мертвая зона» в виде конуса, образованного вращением линии под углом  $\phi_{\max}$  (так называемая «воронка»).

Так как угол места не измеряется, то получить проекцию  $x$  дальности  $D$  до объекта  $M$  невозможно. В связи с этим на плоском экране индикатора воздушной обстановки (ИВО) кругового типа отметки от объектов, имеющих одинаковые азимут и дальность, но различные высоты (углы места), совпадают (см. объекты  $M_1$  и  $M_2$  на рис. 6.1, где  $D_1 = D_2$ , но  $x_1 \neq x_2$ ).

Отсюда следует, что на индикаторе кругового обзора отображается не проекция воздушной обстановки, а картинка (рис 6.1), которая получилась бы, если все радиус-векторы  $OD_j$  развернуть таким образом, чтобы они совпали с горизонтальной плоскостью.

Итак, РЛС этого типа позволяет измерить два параметра:  $D$  и  $A$ .

*Автоматический радиопеленгатор (АРП)* используется для пеленгования бортовых радиостанций во время сеансов связи «борт—земля». С его помощью определяется азимут  $A$  цели относительно точки установки антенны пеленгатора. АРП может использоваться для контроля местоположения ВС, поиска и опознавания ВС.

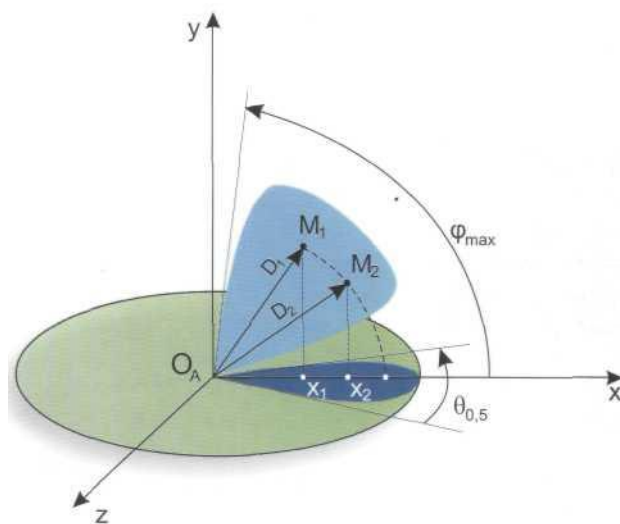


Рис. 6.1. Диаграмма направленности ПРЛ

*Радиолокаторы посадочные (РП)* предназначены для контроля и, возможно, управления ВС при заходе на посадку. РП представляет собой две коммутируемые секторные РЛС, антенные системы которых «качаются» во взаимно перпендикулярных плоскостях, а приемопередающий тракт имеют общий. В один из полупериодов измеряется угловое отклонение от линии посадочного курса (т. е. от вертикальной плоскости, в которой расположена ось ВПП) —  $\epsilon_k$ . Во второй полупериод определяется величина  $\epsilon_r$  — угловое отклонение от плоскости глиссады  $\Gamma$  (рис. 6.2). Кроме того, обычным образом измеряется наклонная дальность  $D$  до ВС. Величины  $\epsilon_r$  и  $\epsilon_k$  имеют смысл угловых отклонений, но через дальность  $D$  они могут быть пересчитаны в соответствующие линейные отклонения. Антенная система устанавливается в стороне от ВПП на расстоянии, соответствующем положению расчетной точки касания.

*Вторичный радиолокатор* излучает кодовую посылку запроса. На борту ВС установлен *самолетный ответчик (СО)*, который при получении импульса запроса передает ответный кодированный сигнал, содержащий кроме своего бортового номера и дополнительную информацию, в том числе барометрическую высоту полета (эшелон). Таким образом от вторичного радиолокатора получают три координаты ВС (цели):  $D$ ,  $A$  и  $h\delta$  — барометрическую высоту.

Локация с активным ответом (вторичная локация), основанная на переизлучении первичного излучения своими объектами (самолетами), повышает надежность и объем получаемой о них информации. Использование первичного излучения по-прежнему определяет активный характер этого вида радиолокации. Устройство, содержащее источник первичного излучения, называют в данном случае *запросчиком*, а излучаемые им колебания — сигналами запроса. Особенностью рассматриваемого вида локации является активный характер ответа на запросный сигнал. Ответ вырабатывается установленным на объекте приемопередатчиком, называемым *ответчиком*. Ответный сигнал принимается приемником-ВРЛ. Несущие частоты, законы модуляции (коды) запросных и ответных сигналов могут изменяться в широких пределах. Это позволяет получать данные о наличии объектов, режимах их полета, запасе горючего, опознавать государственную принадлежность объектов, проводить их индивидуальное опознавание и т. д.

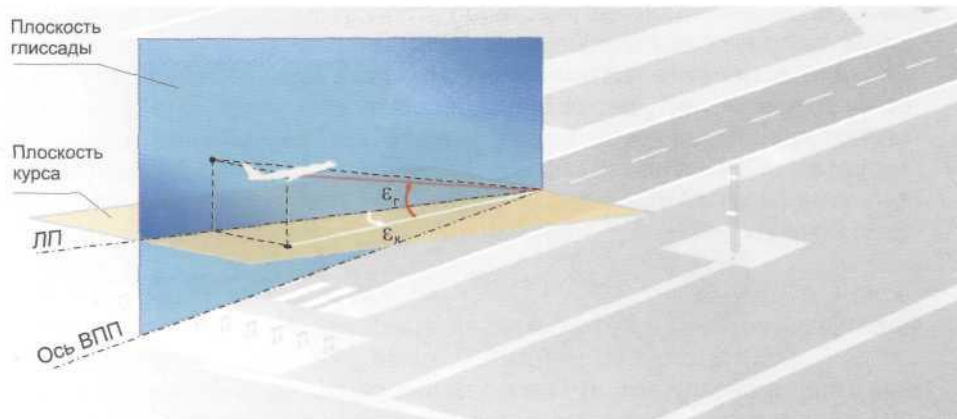


Рис. 6.2. Определение отклонений от линии посадки

Вторичные радиолокаторы в автоматизированной системе управления воздушным движением предназначены для получения дополнительной полетной информации, поставляемой с борта воздушного судна, оборудованного самолетным радиолокационным ответчиком. Вторичный радиолокатор совместно с самолетным ответчиком способен посредством стандартных кодов передавать на диспетчерский пункт АС УВД следующую информацию: опознавательный номер ВС (или номер рейса), барометрическую высоту полета, остаток топлива, состояние функциональных бортовых систем, а также аварийные сообщения— «Бедствие», «Потеря радиосвязи», «Нападение на экипаж».

Долгое время самым распространенным вторичным радиолокатором в России является автономный радиолокатор «Корень-АС». Вторичные радиолокаторы «Корень» выпускаются в двух модификациях: встроенный ВРЛ «Корень-С» и автономный «Корень-АС».

Радиолокаторы этого типа используются в АС УВД как в аэродромных зонах, так и на трассах. ВРЛ обеспечивает зону обзора, ограниченную максимальным углом места  $\varphi_{\min}=45^\circ$ , минимальным ( $r_{\min}=4,5^\circ$ , максимальной высотой 20 000 м, минимальной дальностью 400 км с вероятностью обнаружения не менее  $P_{\text{по}}=0,9$  при уровне ложных тревог не выше  $10^{-6}$  (по собственным шумам приемника).

При сопряжении ВРЛ с ПРЛ различного типа и работе без деления частоты запуска максимальная дальность действия ВРЛ не более  $D_{\max}=10^6/6,67F-D_k$ , где  $F$  — частота запуска ПРЛ, Гц;  $D_k=37$  км при измерении координат и 87 км по приему дополнительной информации.

Совмещение координат ВРЛ и ПРЛ производится с погрешностью: по азимуту не более  $1^\circ$ , по дальности не более 0,5 км. Разрешающая способность АПОИ ВРЛ «Корень» по азимуту не хуже  $4^\circ$ , по дальности не хуже 1 км.

«Корень-АС» является достаточно надежным локатором, отвечающим требованиям нормативно-технических документов к локаторам подобного типа (см. приложение 15). Однако сегодня большинство изделий работает на пределе технического ресурса, назначенного изготовителем.

Одним из основных недостатков использования вторичной радиолокации является низкая по сравнению с пассивной локацией точность определения координат цели. Существуют различные методы улучшения точностных характеристик, наиболее эффективный метод — применение моноимпульсной радиолокации.

Моноимпульсная радиолокация — метод измерения радиолокационной станцией угловых координат объекта, основанный на определении угловой ошибки положения ее антенны, направленной на объект, по принятому одиночному (отраженному или переизлученному объектом) импульсному сигналу. Основное преимущество этого метода перед другими радиолокационными методами, основанными на обработке непрерывных или нескольких последовательно принимаемых импульсных сигналов, заключается в более высокой точности измерений (ошибки снижаются до десятых долей угловой минуты). Это является следствием нечувствительности моноимпульсных РЛС к флуктуациям амплитуды принятых сигналов. Однако реализация моноимпульсной радиолокации связана с дополнительным усложнением приемного тракта РЛС — с необходимостью использования нескольких приемных каналов (в связи с чем этот метод получил также название многоканального).

Различают два основных вида моноимпульсных РЛС — с амплитудным и фазовым сравнением сигналов. Работа их основана соответственно на использовании зависимости амплитуды или фазы сигналов, одновременно принятых по нескольким каналам, от направления прихода волн. При определении одной угловой координаты методом сравнения амплитуд для приема сигналов используются два идентичных приемных канала и антенна с двумя облучателями, смещенными от ее фокуса, вследствие чего направления максимумов их диаграмм направленности образуют некоторый угол. С приемников детектированные в них сигналы подаются на устройство сравнения амплитуд. По отношению амплитуд на его выходе определяются значение и знак смещения направления на объект относительно равносигнального направления (сигнала ошибки). Для определения одной угловой координаты объекта методом сравнения фаз используется система из двух антенн, разнесенных на расстояние  $l$  (база). Сигнал от объекта приходит к антеннам со сдвигом фазы:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} l \sin \Theta,$$

где  $l$  — расстояние между двумя антеннами;  $\lambda$  — длина волны;  $\Theta$  — угол между направлением на объект и нормалью к базе.

Принятые сигналы после усиления поступают в фазометр, по которому определяется разность фаз, характеризующая направление на объект в одной плоскости. Для определения двух угловых координат объекта (в ортогональных плоскостях) в моноимпульсных РЛС с амплитудным либо фазовым сравнением сигналов должны использоваться, по крайней мере, три (обычно четыре) диаграммы направленности и соответствующее число приемных каналов.

Для обеспечения углового сопровождения объекта посредством определения угловых координат в двух ортогональных плоскостях с помощью только двух диаграмм направленности совместно используется фазовое и амплитудное сравнение сигналов. Информация об угловом положении объекта в одной плоскости, например в азимутальной, получается методом сравнения фаз с помощью двух отдельных антенн, расположенных рядом по горизонтали, а в другой плоскости (угломестной) — методом сравнения амплитуд путем отклонения диаграммы направленности одной антенны вверх, а другой вниз. Такой метод получил название смешанного амплитудно-фазового метода сравнения сигналов.

Моноимпульсные РЛС со сравнением фаз принятых сигналов на практике применяются реже, чем моноимпульсные РЛС со сравнением амплитуд сигналов (ВРЛ «Крона» и МВРЛ СВК). Это вызвано отрицательным влиянием на качество их работы боковых лепестков диаграммы направленности, свойственных реальным антеннам, и менее эффективным использованием общего раскрытия антенны.

Для радиолокаторов, как и для большинства иных датчиков информации, существуют две формы представления результатов измерений: аналоговая и цифровая. В первом случае измеряемая величина (к примеру, дальность, азимут, угол места или высота) преобразуется в некоторый физический *аналог*. Чаще всего это электрическое напряжение, угловое или линейное перемещение. Затем отсчет производится визуально по шкале с нанесенными на ней делениями. (Подобным образом измеряется положение радиолокационной отметки на индикаторе кругового обзора — ИКО.)

Во втором случае мы имеем дело с цифровым отображением результата, когда измеренная величина представляется в виде цифрового кода («внутри» используются двоичные коды, а при визуализации — более привычные десятичные числа).

Процесс перехода от первой, аналоговой формы ко второй, цифровой, часто называют оцифровкой, и поэтому аналоговый видеосигнал с выхода приемника радиолокатора, преобразованный во вторую форму, получил название *оцифрованного видео*.



## 6.2. Оцифровка «сырого видео»

### 6.2.1. Способы обработки видеосигнала

Термин «сырое видео», где «сырое» означает «необработанное», носит, как мы увидим в дальнейшем, весьма условный характер и используется для обозначения исходной аналоговой радиолокационной информации (видеосигнала). Первые поколения систем отображения, как известно, были ориентированы на представление радиолокационных данных на индикаторах кругового обзора (ИКО) только в «сыром» виде. Однако с появлением цифровой обработки информации и тем более с переходом на цифровые средства отображения на базе растровых мониторов исходный видеосигнал неизбежно проходит аналого-цифровое преобразование, необходимое для ввода в ЭВМ.

Наиболее глубокую обработку радиолокационного сигнала осуществляет аппаратура первичной обработки (АПОИ). При дальнейшей обработке (межобзорной, мультирадарной) имеют дело с цифровыми кодами координат, а отображается только «синтетическая» координатная картинка. В современных системах УВД такое представление данных является основным, а в перспективных системах, очевидно, будет единственным.

Вместе с тем вопрос о необходимости отображения «сырого видео» на диспетчерских индикаторах в настоящее время носит дискуссионный характер. Дело в том, что большинство эксплуатируемых ныне радиолокаторов проектировалось без учета цифровой обработки сигнала.

В связи с необходимостью передачи и использования информации в АС УВД потребовалось дооснастить радиолокаторы простейшей аппаратурой сопряжения, на выходе которой сигнал мог иметь лишь два значения (0 и 1). Однако выяснилось, что качество выделения из видеосигнала целей зачастую стало хуже, чем при визуальном наблюдении.

При массовом внедрении современных автоматизированных средств отображения разработчики вынуждены ориентироваться на использование РЛС, в которых аппаратура первичной обработки отсутствует или работает неэффективно. Использование таких РЛС возможно только при обеспечении совмещенного отображения оцифрованных аналоговых, т. е. прошедших аналого-цифровое преобразование, сигналов (см. приложение 16). Причем оказалось, что отображение оцифрованного «сырого видео» на растровых мониторах существенно повышает качество и информативность изображения.

Это объясняется двумя причинами. Во-первых, глаз человека представляет собой уникальный «фильтр» и в ряде случаев может выделить полезный сигнал

лучше, чем АПОИ (особенно при сложной помеховой картине, при наличии ложных меткоподобных сигналов). Во-вторых, при современных методах обработки и отображения качество представления видеосигнала также повышается, что способствует лучшей визуальной фильтрации. Очевидно, что при появлении более совершенных РЛС с современной аппаратурой обработки весомость этих аргументов будет падать, однако для этого должно смениться поколение радиолокационных средств.

Рассмотрим подробнее процесс обработки и отображения радиолокационной информации (РЛИ), поступающей от обзорного радиолокатора. Сформулируем критерии для выбора способа оцифровки:

- \*снижение потерь полезной информации;

- \*минимизация затрат процессорного времени;

- \*удобство последующей обработки оцифрованной информации (возможность передачи по ЛВС, запись информации, передача по каналам связи). Возможны варианты серверной (или групповой) оцифровки и распределенной оцифровки.

*Распределенная оцифровка* предполагает заведение аналогового сигнала на каждый компьютер, занимающийся отображением обзорной информации. Распределенная обработка позволяет с помощью пользовательского интерфейса управлять режимами оцифровки (например, изменять разрешающую способность оцифровки при выборе масштаба на данном рабочем месте). Кроме того, распределение обработки позволяет организовать «шунтирование» серверов на случай их отказа, что повышает живучесть системы. Однако в этом случае возникают следующие проблемы:

\*необходимость установки специальной аппаратуры сопряжения на каждый компьютер (удорожание сопряжения);

\*происходит «удлинение» аналогового канала (необходимо завести аналоговый сигнал к каждому компьютеру); увеличивается нагрузка (входное сопротивление аппаратуры сопряжения), следовательно, уменьшается уровень сигнала, поэтому требуются кабельные усилители; сигнал искажается за счет наводок;

\*ограничения на дальность передачи аналогового сигнала приводят к ограничению максимального расстояния от радиолокационной позиции до рабочих мест, а для трансляции аналогового сигнала требуется специализированное оборудование;

\*вариация настроек аппаратуры сопряжения приводит к различному виду получаемого после оцифровки сигнала;

\*вследствие подключения аналогового сигнала по схеме «шина» обрыв кабеля приводит к прекращению трансляции РЛИ на всех комплектах отображения, находящихся ниже места обрыва, и к ухудшению качества РЛИ на остальных комплектах в результате получившейся рассогласованности линии;

при изменении входного сигнала требуется подстройка аппаратуры сопряжения на каждом из комплектов сопряжения.

*Серверная оцифровка* аналогового сигнала предполагает ввод сигнала в систему через сервер и дальнейшую передачу оцифрованного сигнала по ЛВС или по каналам связи до конечного потребителя. Особенности такого подключения:

\*после оцифровки сигнал передается без искажений на любые расстояния по стандартным цифровым каналам;

\*удобство настройки: регулировка сопряжения влияет одновременно на отображаемую информацию для всех конечных потребителей;

\*необходимость оцифровки с максимальной разрешающей способностью (масштабирование изображения конечным пользователем не должно влиять на качество отображаемой информации);

\*отказ, сбой, неправильные настройки серверного оборудования в равной степени влияют на всех конечных потребителей.

Перечисленные особенности не позволяют сделать однозначный выбор в пользу серверной или распределенной обработки. Вариант подключения необходимо выбирать, ориентируясь на конфигурацию конкретной системы и исходя из компромиссных соображений.

### 6.2.2. Квантование по времени и уровню

Процесс получения информации от обзорной РЛС для дальнейшего отображения представим следующим образом. Видеосигналу приемника на интервале времени, равном периоду повторения зондирующих импульсов, соответствует непрерывный «луч». Для оцифровки разобьем каждый из лучей на дискретные элементы, как схематически показано на рис. 6.3.

Соответствующая дискрета времени, с которой производится оцифровка, должна соответствовать разрешающей способности РЛС по дальности. В случае оцифровки пассивного канала выбирается также дискрета по амплитуде сигнала, которая определяется требованиями к качеству отображаемой информации и задается разрядностью АЦП специального устройства — сканконвертера. Процесс оцифровки аналогового сигнала описан в приложении 16.

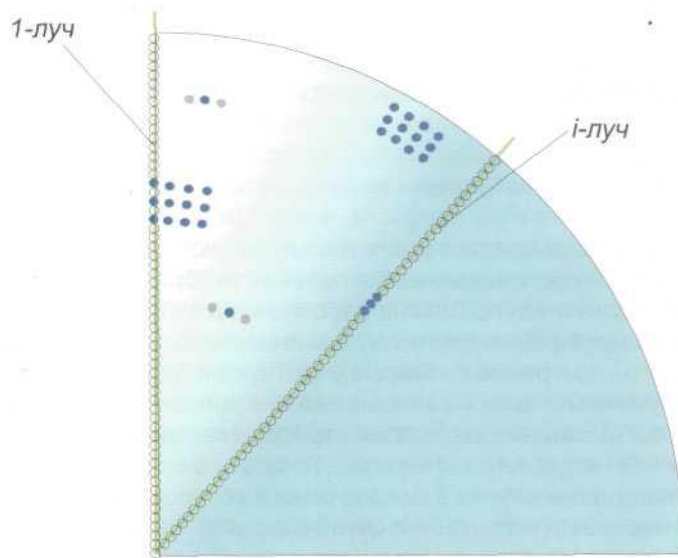


Рис. 6.3. Принцип оцифровки лучей

ПО отображения получает «луч» в следующем виде:

| Азимут           | «Луч», оцифрованные значения амплитуды сигнала |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Значение азимута | № 1  | № 2 | № 3 | ... | ... | ... | ... | ... | № M |

Азимут однозначно соответствует углу поворота антенны локатора.

Количество полей амплитудной информации в «луче» определяется дискретой по времени и дальностью действия РЛС.

Для случая оцифровки активного канала, канала НРЗ или пассивного канала в режиме СДЦ на каждую дискрету времени отводится один бит, поскольку эти каналы сообщают о наличии информации в данном разрешающем объеме (площади) ВП по бинарному принципу «есть» или «нет».

Количество бит информации «Видеопассив» определяет качество отображаемой информации по данному каналу.

Передача оцифрованного «сырого видео» по ЛВС может вызывать определенные трудности. Так, для аэродромного радиолокатора с дальностью 200 км, дискретой по дальности 200 м, частотой зондирования 4096 за обзор, периодом обзора без 8-битовой амплитудной оцифровкой аналогового сигнала получим информационный поток  $(200\ 000 / 200 \text{ байт} \times 4096) / 6 \text{ с} = 667 \text{ Кбайт/с}$ .

Следует также учесть, что к системе УВД подаются сигналы от нескольких радиолокаторов, так что поток данных может многократно возрасти.

Для передачи такого потока по ЛВС и по каналам связи используются алгоритмы сжатия. В этом случае передача «сырого видео» по скоростным сетям (от 10 Мбит/с) не вызывает дополнительных трудностей. Для передачи «видео» по низкоскоростным сетям переходят к более грубой шкале оцифровки (как по дальности, так и по уровню, вплоть до бинарного квантования). При этом неизбежно снижаются качество сигнала и ценность этого источника информации. По этой причине передача «видео» на большие расстояния, как правило, не используется.

## 6.3. Отображение «сырого видео»

### 6.3.1. Обработка потоков «лучей»

Поступающий от сканконвертера поток «лучей» обрабатывается по алгоритмам, составляющим программное обеспечение отображения локального комплекта, и распространяется по ЛВС на рабочие места. Затем программное обеспечение рабочих мест формирует на экране видеоизображение. На рис. 6.4 представлены объекты программы, которые участвуют в формировании видеоизображения. Полученный «луч» записывается в циклический

буфер, который обеспечивает согласование входного и отрисовываемого потоков. Для обеспечения вывода РЛИ от одного источника в несколько окон требуется выполнить рисование пришедшего «луча» в каждое окно, в которое включен данный источник, с учетом настроек (масштаба и центра экрана), выбранных в данном окне (см. рис. 6.4).

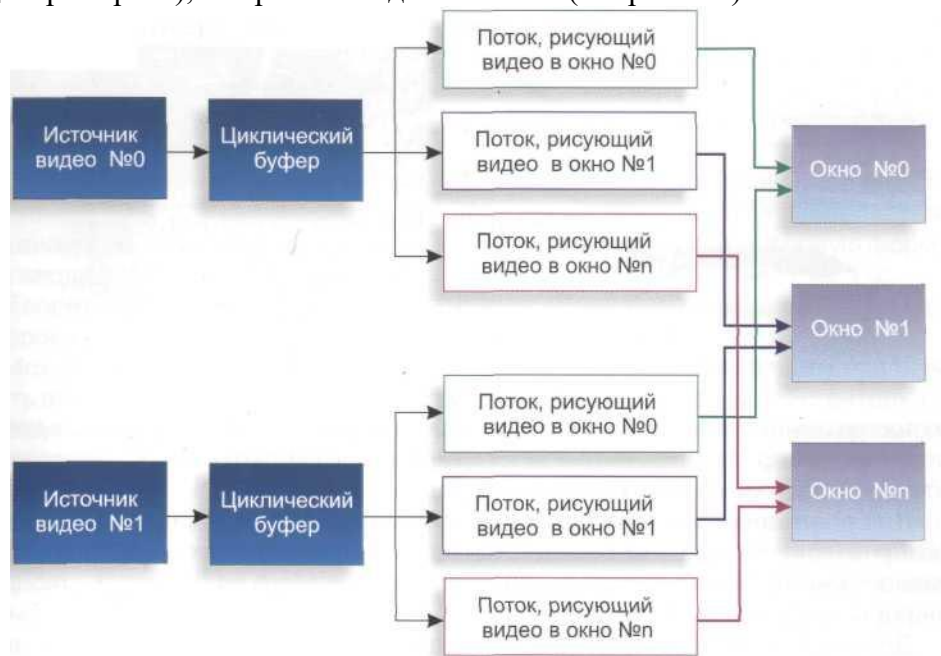


Рис. 6.4. Структура взаимодействия объектов отображения

### 6.3.2. Алгоритмы отрисовки

Интерес представляет процесс вывода луча рисующим потоком. После выбора из циклического буфера вновь поступившего луча программа определяет, попадает ли данный луч в отображаемую на экране область. В случае попадания включается алгоритм отрисовки. В соответствии с выбранным масштабом и азимутом луча производится отрисовка с отображением точек луча цветами, яркость которых зависит от амплитуды оцифрованного сигнала в данной точке. (Учитывается точка установки лоатора, приведенная к экранным координатам.) При отрисовке используется алгоритм Брезенхейма.

Если выбран крупный масштаб, каждая точка луча может быть «размазана» на несколько точек (пикселей) экрана. В случае выбора мелкого масштаба на одну точку экрана может приходиться несколько точек луча.

Для получения контрастного изображения яркость отображаемой точки задается в экспоненциальной зависимости от оцифрованного значения видеосигнала. При этом сигнал большей амплитуды (отметки ВС) визуальнo выделяется на фоне сигнала меньшей амплитуды (облака, помехи).

Отрисовываемый луч должен совмещаться с формулярами и картографической и другой информацией, отображаемой на экране. Совместное отображение информации достигается за счет рисования отдельных отображаемых элементов в различных «слоях». На рис. 6.5 приводится пример отрисовки с использованием послойного *способа* формирования изображения.

Послойный способ формирования видеоизображения может быть реализован также аппаратно посредством специализированного видеоадаптера, одна-

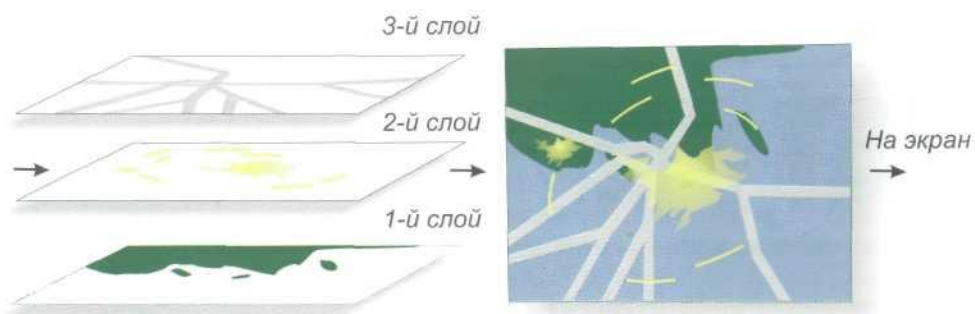


Рис. 6.5. Послойный способ формирования видеоизображения

ко программное формирование изображения предоставляет больше возможностей (например, отображение «сырого видео» в нескольких окнах) и не зависит от производителя специализированных адаптеров.

Для реализации режима послесвечения видеоинформация с предыдущих обзоров (количество обзоров задается пользователем) запоминается в оперативной памяти. Вновь поступивший луч накладывается на радиолокационную информацию с предыдущих обзоров.

Для выделения или исключения неподвижных объектов или объектов, движущихся с малой скоростью (облака), применяется карта помех. В результате сбора статистической информации определяются малоподвижные объекты. При выборе точек луча оценивается их попадание в область малоподвижных объектов. В случае попадания в такую область точка выделяется цветом.

### 6.3.3. Запись и воспроизведение

Запись видеоинформации обеспечивает ее последующее воспроизведение вместе с синтетической и голосовой информацией. Поток данных от сканконвертера записывается на носитель информации в виде файлов. Для воспроизведения в реальном времени и возможности поиска кадров воздушной обстановки в требуемые моменты в записываемый поток «лучей» включаются метки времени. По меткам времени можно восстановить радиолокационную информацию, получаемую отданного радиолокатора.

Для воспроизведения записанного потока «лучей» указывается момент времени, с которого необходимо воспроизвести РЛИ отданного источника видео. В записанных файлах производится поиск метки времени, приходящейся на требуемый момент времени. Затем записанный поток «лучей» синхронизируется по времени и передается на ПО отображения. Синхронизация по времени задает передачу «лучей» на отображение с той же скоростью, с которой эти «лучи» были записаны. Темп вывода обеспечивается внесением задержек при выдаче «лучей» на отображение.

## 6.4. Сканконвертеры

### 6.4.1. Назначение

*Сканконвертер* — это интерфейсное устройство, предназначенное для сопряжения АС УВД с радиолокаторами. Его основная функция — преобразование аналоговых информационных сигналов радиолокатора в цифровую форму для ввода в ЭВМ, используемые в АС УВД.

Теоретические сведения о дискретизации аналоговых сигналов и аналого-цифровых преобразованиях приведены в приложении 16.

Исходя из этого сканконвертер можно было бы рассматривать как входную часть аппаратуры первичной обработки РЛ-сигналов. Однако в действительности круг функций сканконвертера значительно шире. Как будет ясно из дальнейшего изложения, он обрабатывает множество сигналов, поступающих от различных источников, и, в свою очередь, обеспечивает не только первичную обработку радиолокационной информации, но и отображение «сырого видео», сжатие информации, мониторинг и т. д. Это является основанием для того, чтобы рассматривать сканконвертер как интерфейсное устройство, имеющее важное значение.

## 6.4.2. Входные сигналы

От первичного обзорного радиолокатора кругового действия на вход сканконвертера поступают сигналы об азимутальном положении антенны радиолокатора, синхроимпульсы начала зондирования, сигнал с приемника первичного канала, в случае наличия в составе комплекса вторичного радиолокатора, сигнал от системы распознавания и дополнительная информация с дешифратора вторичного канала.

Сигналы об азимутальном положении антенны радиолокатора могут быть трех видов: импульсные сигналы, такие как *малые азимутальные импульсы* (МАИ) и СЕВЕР, аналоговые сигналы двух компонент вектора азимутального направления антенны РЛС (вертикальной и горизонтальной составляющих), аналоговые сигналы *сложной синхропоследовательности* (ССП).

Импульсные сигналы МАИ представляют собой последовательность счетных импульсов определенной амплитуды и длительности. Количество импульсов МАИ может быть от 512 до 32 768 за один оборот антенны радиолокатора в зависимости от типа радиолокатора. Период следования импульсов зависит от скорости вращения антенны и от их количества за один оборот антенны. Например, если антенна совершает оборот за 6 секунд, а количество импульсов МАИ, равно 4096 за один оборот, период следования импульсов составит примерно 1,5 мс. Длительность импульсов МАИ в зависимости от типа радиолокатора колеблется в пределах от 30 до 700 мкс. Импульс СЕВЕР вырабатывается один раз за оборот антенны. Трансляция сигналов МАИ и СЕВЕР возможна как по отдельным сигнальным линиям, так и по одной линии. В случае трансляции по одной сигнальной линии производится замешивание сигналов МАИ и СЕВЕР. Замешивание может производиться как по длительности импульсов, так и по амплитуде. Например, при трансляции сигналов МАИ и СЕВЕР в РЛС РЛ-139/2 производится замешивание сигналов по длительности, причем длительность импульса МАИ составляет 150 мкс, а импульса СЕВЕР — 600-800 мкс.

Так называемые вертикальная и горизонтальная (правильнее — продольная и поперечная) составляющие представляют собой аналоговые сигналы, медленно изменяющиеся по законам синуса и косинуса в соответствии со скоростью вращения антенны радиолокатора. Период их изменения равен времени оборота  $T_0$  антенны, амплитуда сигналов до 30-50 В, фаза привязана к импульсу СЕВЕР.

*Сложная синхропоследовательность* представляет собой модулированные частотой 50 Гц сдвинутые по фазе на 120 градусов относительно друг друга аналоговые сигналы амплитудой до 100 В. Огибающая изменяется в зависимости от азимутального положения антенны радиолокатора (подобно токам и напряжениям в сельсинной дистанционной системе передачи данных).

Синхроимпульсы начала зондирования (импульсы ЗАПУСК) представляют собой импульсную последовательность с частотой  $F = 1/T$  от 300 до 2000 Гц в зависимости от типа радиолокатора. Длительность импульса лежит в пределах от 0,5 до 2,5 мкс, амплитуда импульса ЗАПУСК меняется от 2 до 70 В в зависимости от типа радиолокатора. Возможно поступление на вход сканконвертера вобулированных импульсов ЗАПУСК.

Сигнал с приемника первичного канала ВИДЕО ПЕРВИЧНОЕ представляет собой аналоговый сигнал с изменяющейся во времени амплитудой. Диапазон изменения амплитуды — от 0 до 10 В. Возможно поступление на вход сканконвертера сигналов ЗАПУСК и ВИДЕО ПЕРВИЧНОЕ, замешанных по амплитуде; например, при трансляции этих сигналов в РЛС ДРЛ-7СМ используется один высокочастотный кабель, при этом соотношение амплитуд сигналов в смеси составляет 3:1 соответственно.

Сигналы от системы госопознавания и от дешифратора вторичного канала представляют собой импульсные сигналы длительностью от 1 до 2 мкс, амплитудой до 10 В.

Трансляция вышеперечисленных сигналов производится по кабельным линиям связи, а также по радиорелейным линиям. При трансляции по линиям связи сигналы подвергаются воздействию помех промышленной частоты, импульсным, радиопомехам, что ведет к ухудшению качества сигналов.



### 6.4.3. Структура сканконвертера

В структуре сканконвертера следует выделить три блока: блок приема входных сигналов, блок обработки информации и управления, блок интерфейса с системой отображения (рис. 6.6).

Блок приема входных сигналов служит для приема синхронизационных (ЗАПУСК, МАИ, СЕВЕР и т. д.) и информационных (ВИДЕО ПЕРВИЧНОЕ, ВИДЕО ВТОРИЧНОЕ и т. д.) сигналов, решая при этом следующие задачи:

- \*согласование с кабельными линиями трансляции вышеперечисленных сигналов;
- \*обеспечение защиты входных цепей от перенапряжений и импульсных наводок большой амплитуды;
- \*необходимое масштабирование и инвертирование входных сигналов для приведения к базису, используемому в блоке обработки информации;



Рис. 6.6. Структура сканконвертера

\*фильтрация наводок промышленной частоты и коротких импульсных помех, которые могут присутствовать на линиях трансляции сигналов;

\*обеспечение приема зашумленных сигналов синхронизации;

\*аналого-цифровое преобразование информационных сигналов.

Исходя из вышесказанного очевидно, что структура тракта приема синхронизационного сигнала должна включать следующие схемы:

\*схему для защиты электрических цепей от выхода из строя при наводке на линию трансляции больших импульсных помех (грозоразрядник);

\*схему согласования с кабелем, как правило, представляющую собой набор терминирующих резисторов с сопротивлением 75 или 50 Ом либо высокоомным сопротивлением;

\*режекторный фильтр либо фильтр верхних частот для ослабления промышленных помех частотой 50 Гц, режекторный фильтр для ослабления помех частотой 400 Гц;

\*входной усилитель с изменяемым коэффициентом усиления и возможностью инверсии входного сигнала;

\*компаратор с изменяемым порогом срабатывания для приема зашумленных сигналов при соотношении сигнал/шум не хуже 3 дБ;

\*схему селекции импульсов по длительности для избавления от коротких импульсных помех.

Структурная схема приема информационного аналогового сигнала включает схему защиты от перенапряжений, схему согласования с кабелем, управляемый усилитель, фильтр низкой частоты (ФНЧ) для ограничения спектра входного сигнала, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) со схемой управления. Разрешающая способность и частота (период) дискретизации АЦП, применяемого в сканконвертере, определяются требованиями, обусловленными дальнейшим использованием преобразуемой информации. Если информация фактически только визуализируется, а не используется для целевыделения и оконтуривания метеобразований, то достаточно иметь 16-32 уровня квантования при частоте дискретизации 6-12 МГц (обеспечивая разрешающую способность 25-12,5 метров по дальности). В остальных случаях разрядность АЦП должна быть

8-12 разрядов, обеспечивающих  $256^{4096}$  уровней квантования, частота дискретизации  $16^{40}$  МГц, что дает разрешающую способность до 3,75 м. Частота среза фильтра низких частот в зависимости от применения лежит в пределах от 3 до 20 МГц.

Структурная схема приема сигналов горизонтальной и вертикальной составляющих азимутальной развертки радиолокатора и сигналов ССП включает цепи защиты входов от перенапряжения, цепи согласования импеданса, регулируемый масштабирующий усилитель с функцией компенсации постоянной составляющей, синхронный детектор, преобразователь угол—код.

*Блок обработки информации и управления* решает задачи управления ресурсами устройства, коммутации информационных потоков, буферизации данных, выполняет вычислительные процедуры цифровой фильтрации сигналов, целевыделения и оконтуривания метеобразований, формирование цифровых «лучей» для последующего отображения, осуществляет сжатие информации для последующей трансляции через низкоскоростные интерфейсы, мониторинг периодичности поступающей азимутальной информации и ее восстановление при работе в условиях больших импульсных помех на линиях трансляции сигналов. Решение подобных задач, как правило, производится с использованием цифровых процессоров обработки сигналов, архитектура которых позволяет детерминировать процесс обработки сигнала во временной области и оптимальна для цифровой фильтрации, поскольку включает аппаратный умножитель и эффективный механизм управления памятью данных и памятью программ. Например, при решении задачи целевыделения требуется из широкополосного сигнала ВИДЕО ПЕРВИЧНОЕ выделить сигналы, спектр которых лежит в верхней части общего спектра, иными словами, требуется пропустить входной сигнал через фильтр верхних частот. При решении такой задачи можно использовать как нерекурсивный, так и рекурсивный алгоритм цифровой фильтрации (см. приложение 16).

*Блок интерфейса* обеспечивает взаимодействие сканконвертера с системой отображения и системой постобработки информации. В зависимости от конкретной реализации устройства могут быть использованы различные типы интерфейсов. Так, если при конструировании устройства преследуется цель сократить нагрузку по трансляции видеoinформации для отображения на другие вычислительные узлы системы, то в составе блока интерфейсов предусматривается мезонинная шина, позволяющая транслировать видеoinформацию в видеоадаптер в обход основной системной шины. Этот подход реализован, например, в сканконвертерах производства фирм FOLCOM и BARCO. Следует отметить, что при таком подходе неизбежно размещение сканконвертеров на каждом рабочем месте (АРМ АС УВД), что ведет к удорожанию системы в целом. В современных системах, базирующихся на использовании микропроцессорных модулей, применяются различные системные интерфейсные шины. Наиболее широко используются такие шины, как PC-104, PCI, VME. Конструктивно сканконвертер может иметь различное исполнение: в виде отдельного прибора (модуля) или платы стандартной конструкции. В случае реализации сканконвертера в виде отдельного прибора, находят применение такие интерфейсы, как SCSI, USB, 1394, Ethernet.



# Глава 7. ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

## 7.1. Методы и алгоритмы первичной обработки

### 7.1.1. 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 (ВО).

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.

### 7.1.2. 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. в привязке измерений к определенным дискретным интервалам времени.

При первичной обработке задают дискрет (квант дальности), величина которого  $h_D$  прямо связана с разрешающей способностью по дальности  $D_0$ . Так как последняя зависит от длительности фронта импульсного сигнала на выходе приемного тракта, можно положить

$$h_D = Ct/2, \quad (7.1)$$

где  $C$  — скорость света, равная  $3 \cdot 10^8$  м/с, а  $t$  — 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

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

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

Тогда количество интервалов дискретности азимута  $N_A$ , очевидно, равно

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

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

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

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

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

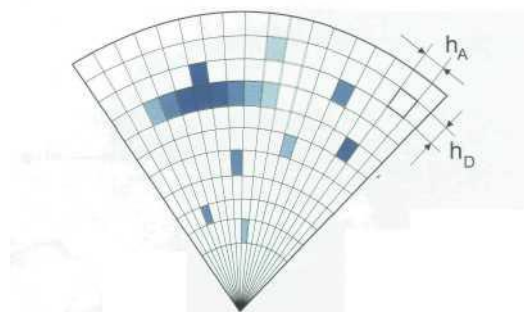


Рис. 7.1. Дискретное пространство обзора

оценена как среднестатистическое отношение среднего количества ложных тревог (обнаружение несуществующих целей) к общему числу разрешающих секторов (или объемов)  $N_{\Delta}$ .

### 7.1.3. 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  $t = iT$ .

Количество импульсов в пакете оценивается по формуле

$$N = \left[ \frac{\theta_{0,5} F}{6n} \right],$$

где  $\theta_{0,5}$  — ширина ДНА в горизонтальной плоскости, °;  $F$  — частота зондирующих импульсов, Гц;  $n$  — скорость вращения антенны, об/мин. Знак  $[\ ]$  (обратные скобки) означает, что берется целая часть.

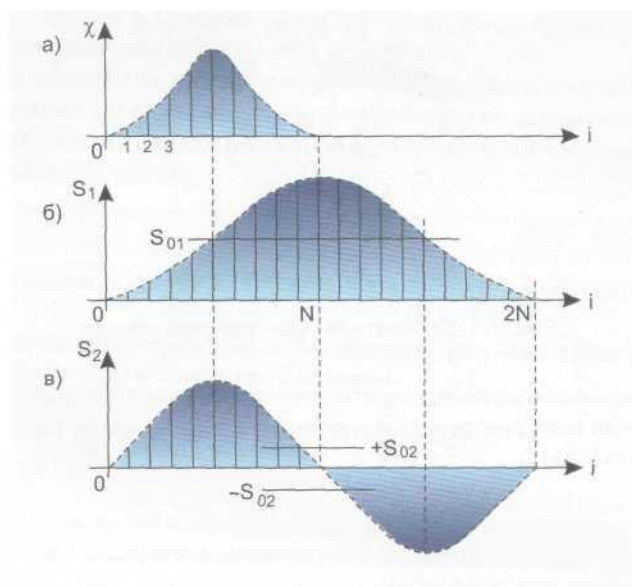


Рис. 7.2. Обработка пакета РЛ-импульсов: а — пакет импульсов; б и в — графики изменения сумм  $S_1$  и  $S_2$

Прежде чем перейти непосредственно к описанию алгоритмов обнаружения пакета радиолокационных импульсов, рассмотрим задачу обнаружения одиночного импульса (полезного сигнала) амплитудой в смеси с помехой, в качестве которой выступают собственные шумы антенны и приемника, а также внешние «шумопо-добные» 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 Раиса). 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  $x$  — амплитуда смеси сигнала с помехой, а  $\sigma^2$  — дисперсия помехи.

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

Пусть задана допустимая вероятность ложной тревоги  $P^{\circ}_{т}$ . В соответствии с критерием Неймана—Пирсона в нашем случае необходимо определить такой (оптимальный) порог

обнаружения одиночного импульса, для которого при заданном отношении сигнал/шум  $\alpha^0$  вероятность ложной тревоги  $P_{л т}$  не превышала заданного значения, а вероятность правильного обнаружения  $P_{п 0}$  была бы максимальной. 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, ограничен-

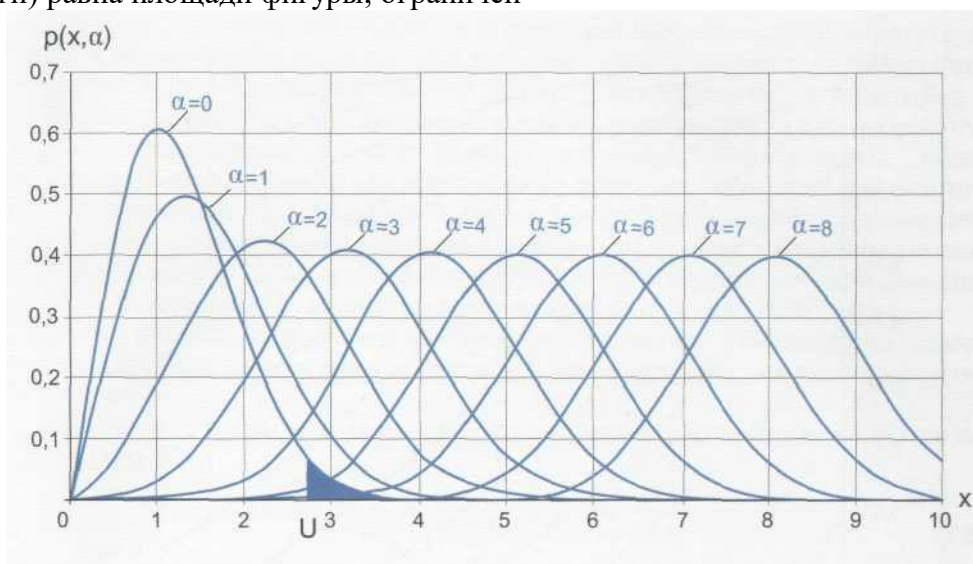


Рис. 7.3. Распределение Райса

ной 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  $\alpha_0$ , можно определить вероятность правильного обнаружения  $P_{п 0}$ . Очевидно, что чем выше порог  $U_0$ , тем меньше  $P_{л т}$ , но одновременно уменьшается и  $P_{п 0}$ , и наоборот.

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

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.



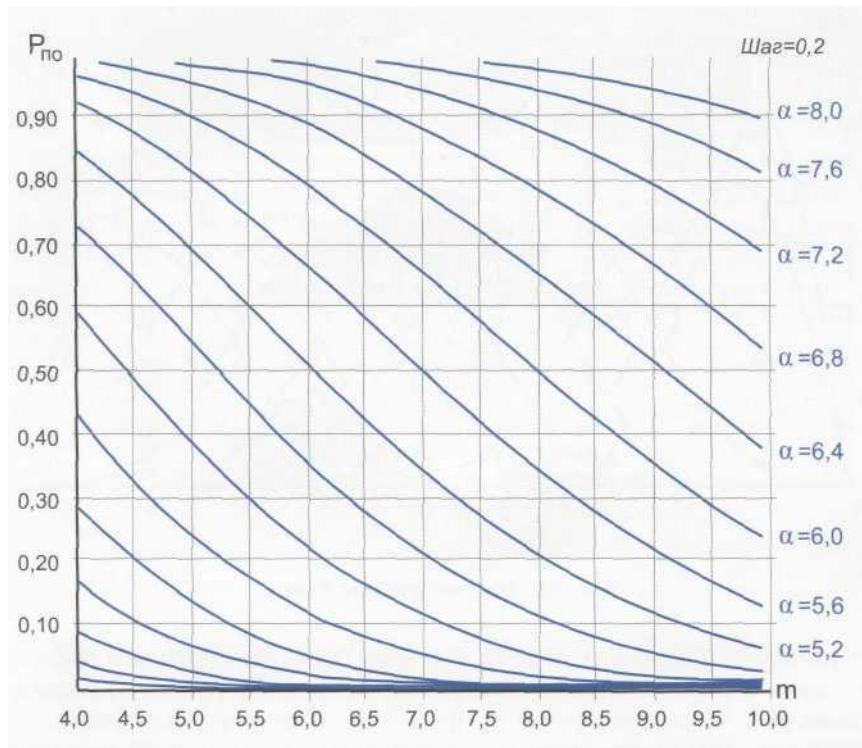


Рис. 7.4. Характеристики обнаружения одиночного импульса

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  $t$  — текущий момент дискретного времени;  $\chi$  — сигнал в цифровой форме на выходе аналого-цифрового преобразователя;  $a_j$  — весовые коэффициенты,  $0 < a_j < 1$ .

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  $a_i$   $i = 1, N$  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 строк  $N_D$  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  $\chi_i$ . 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  $S_j$  сравнивается с заранее рассчитанным пороговым значением  $S_{01}$ . При превышении последнего, т. е. если  $S_1 > S_{01}$  воспринимается 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

$$|S_2[\bar{t}]| \leq S_{02}, \quad (7.10)$$

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  $\alpha_c = -0,5Nh_A$ , 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 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.

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.

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

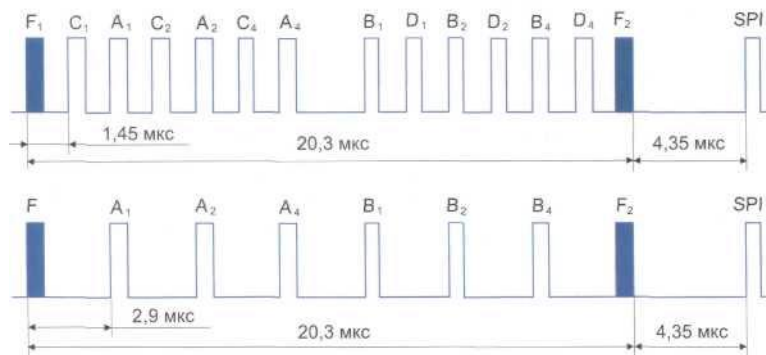


Рис. 7.5. Режим RBS

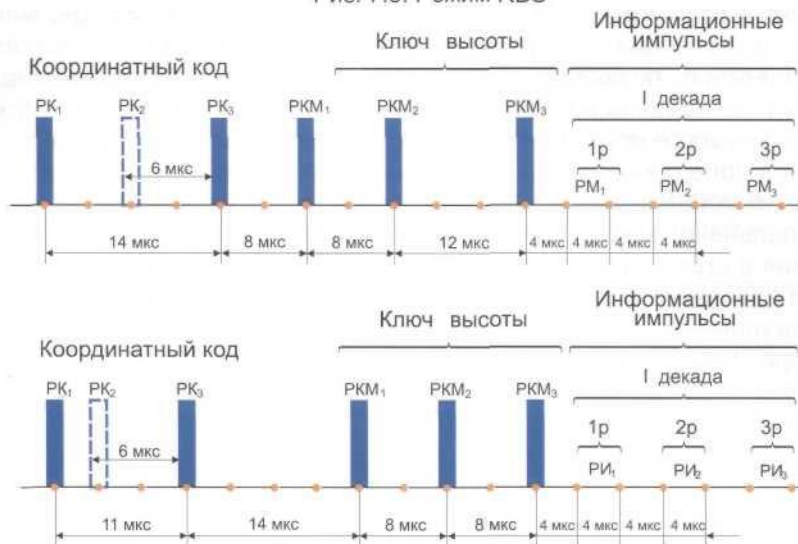


Рис. 7.6. Режим УВД

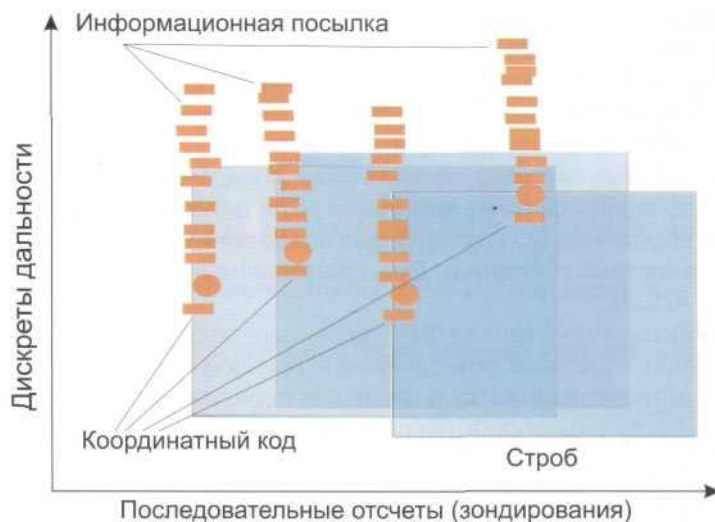


Рис. 7.7. Обработка сигналов в режиме УВД

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.

## 7.2. Аппаратура первичной обработки информации

### 7.2.1. Назначение и функции

*Аппаратура первичной обработки информации (АПОИ), или экстрактор, предназначена для обнаружения сигналов, несущих информацию о местоположении объектов наблюдения и измерении координат. Решение этой главной задачи затрудняет, как уже было показано выше, наличие разного рода помех (собственных шумов антенны и приемников радиотехнических источников информации), радиопомех различного происхождения, переотражений от метеообразований, местных предметов и объектов и пр.*

Наряду с целеобнаружением и измерениями координат местоположения АПОИ решает ряд важных задач, отражающих специфические особенности того или иного типа источника информации.

Радиолокационные системы, пеленгаторы, посадочные локаторы производят замеры в полярной системе координат. Для целей вторичной, третичной обработки и отображения ВО на растровых видеомониторах предпочтительнее прямоугольная система координат. Преобразование из одной СК в другую входит в функции АПОИ.

При наличии вторичного канала (ВРЛ) возникают задачи декодирования сообщений самолетного ответчика, объединения вторичной и первичной информации в единое стандартизированное сообщение для передачи его потребителям.

Аппаратура первичной обработки радиолокационной информации выполняет следующие функции:

- \*обнаружение импульсных сигналов ПРЛ (пакетов РЛ-импульсов);
- \*обнаружение и декодирование сигналов ВРЛ;
- \*оценивание координат обнаруженных целей;
- \*объединение координатной и дополнительной информации, полученной по вторичному каналу, от самолетного ответчика;
- \*сопоставление и объединение координатной информации, полученной от ПРЛ и ВРЛ;
- \* формирование стандартного сообщения для передачи его в узкополосную линию передачи данных (ЛПД).

Перечисленные функции являются основными. К дополнительным относятся:

- \* межобзорная обработка координатной информации, полученной от ПРЛ и ВРЛ;
- \*пространственная и временная (частотная) селекция сигналов, в частности бланкирование информации в заданных зонах;
- \*обработка и кодирование метеоинформации, преобразование ее к виду, удобному для передачи по ЛПД;
- \* обработка, преобразование и выдача в ЛПД информации от АРП;
- \* формирование сообщений о состоянии и режимах РЛК;
- \*прием команд изменения режима работы РЛК, поступающих по ЛПД;
- \*управление запросными кодами ВРЛ,



\*фильтрация и формирование видеосигнала, поступающего с выхода приемника ПРЛ («сырого видео»), для его отображения на растровом мониторе (дисплее)

## 7.2.2. Структура и характеристика АПОИ

Первые образцы АПОИ, появившиеся в 60-х годах двадцатого столетия, представляли собой так называемые специализированные цифровые вычислительные машины, работающие по жесткой программе и по простейшим алгоритмам. Современные АПОИ используют микропроцессорную базу и имеют модульную структуру. Они различаются большим разнообразием, так как адаптированы к источникам информации различного типа.

При обработке радиолокационной информации основными входными сигналами, необходимыми для решения главной задачи, а именно обнаружения и обработки пакета РЛ-импульсов ПРЛ и посылок, принятых вторичными радиолокаторами, являются следующие:

\*информационные сигналы ПРЛ и ВРЛ: ВИДЕО ПЕРВИЧНОЕ и ВИДЕО ВТОРИЧНОЕ;

\* импульсы:

\* зондирующий (ЗАПУСК);

\*импульс МАИ, формируемый в момент прохождения антенны направления на МАИ;

\*малые азимутальные импульсы (МАИ), генерируемые при вращении антенны РЛС.

(Более подробный состав и характеристики входных сигналов были приведены в параграфе 6.4.)

Структурная схема АПОИ приведена на рис. 7.8. Функционально аппаратура разделяется на первичный и вторичный каналы обработки информации, на общее оборудование и интерфейсные блоки.

*Первичный канал* АПОИ содержит устройства согласования и фильтрации видеосигналов, поступающих с выхода приемника ПРЛ. После прохождения этих целей аналоговый видеосигнал поступает на аналого-цифровой преобразова-



Рис. 7.8. Структурная схема АПОИ

тель (АЦП), а в случае бинарного квантования — на вход компаратора (порогового устройства). Таким образом, осуществляется квантование по времени и уровню, необходимое для цифровой обработки по алгоритмам обнаружения и измерения азимута и дальности (описанным выше).

*Вторичный канал* отличается тем, что имеет на входе дешифратор, который декодирует сигнал ВИДЕО ВТОРИЧНОЕ. Здесь также производится проверка достоверности (подтверждение дополнительной информации). Дополнительная информация объединяется с координатной и подвергается обработке с помощью алгоритмов корреляционного типа, подробно рассмотренных ранее. Этот процесс принято называть *вализацией* дополнительной информации, так как он повышает ее достоверность. Предусмотрен также и совместный анализ информации, полученной в результате обработки ВИДЕО ПЕРВИЧНОГО и ВИДЕО ВТОРИЧНОГО.

Представление об основных характеристиках АПОИ дает табл. 7.1. В ней приведены нормы СЭВ, близкие к общепринятым международным стандартам, и численные значения параметров АПОИ «Приор», получившей ныне наибольшее распространение.

Для нормативов точности определения (с.к.п.) и разрешающей способности применяются специальные единицы. Для азимута это угол поворота антенны за период следования малых

азимутальных импульсов (МАИ), а для дальности — расстояние, соответствующее длительности зондирующего импульса (ЗИ).

Эти величины вычисляются по формулам  $360/N_M$  и  $0,5X_C$  и измеряются в угловых градусах и метрах соответственно. В формулах  $N_M$  — количество МАИ на один оборот антенны радиолокатора,  $t$  — длительность ЗИ в микросекундах, а  $C$  — скорость света, км/с.

В целях снижения уровня ложных тревог и повышения вероятности правильного обнаружения производится межобзорная обработка.

Координаты наблюдаемых объектов, как правило, преобразуются из естественной для радиолокатора полярной системы координат в прямоугольную (декартову). Это преобразование может осуществляться как аппаратными, так и программными средствами. В первом случае используется аналого-цифровой функциональный преобразователь «угол—код», на выходе которого в цифровом виде получается не сам угол поворота антенны, а его синус и косинус, которые далее умножаются на дальность. Во втором случае эти операции производятся с помощью специальных входных сигналов, изменяющихся во времени по законам синуса и косинуса, сформированных вне АПОИ. После этого координатная и дополнительная информация записывается в буферное запоминающее устройство (БЗУ), входящее в состав интерфейса АПОИ.

*Выходное сообщение* АПОИ содержит координатную, дополнительную и служебную информацию. Информационный стык стандартизирован (в прошлом это стыкС2).

Приведем стандартный состав сообщения. В него входят следующие данные:

- \*об истинном МАИ и режиме работы РЛК;
  - \*о координатах одного ВС и дополнительная информация; \* о координатах двух ВС (при наличии только ПРЛ);
  - \*о районах с метеообразованиями;
  - \*о пеленге,
- а также контрольная и служебная информация.

Аппаратура первичной обработки информации, как правило, является непременной частью современного РЛК (хотя есть и исключения). Целесообразность такого совмещения вытекает из того, что при этом отпадает необходимость в прокладке широкополостной линии связи между радиолокационной позицией и потребителем (центром УВД), установке линейных усилителей, согласующих устройств, а также в борьбе с помехами и искажениями сигналов.

Однако уровень развития аппаратных и программных вычислительных средств позволяет не только разнообразить типы АПОИ, но и применять нетрадиционные решения. Примеры именно таких решений рассматриваются ниже.

Таблица 7.1. Основные характеристики АПОИ радиолокационных комплексов УВД

| № п/п | Параметр   | Стандарт СЭВ 3-201-81   | АПОИ «Приор»  |
|-------|--|---|---|
| 1     | Вероятность обнаружения при $P_{л,т} = 10^{-6}$  | 0,9   | 0,9   |
| 2     | Вероятность дробления пакетов  | 0,04  | 0,005   |
| 3     | Средняя квадратическая погрешность определения координат цели:<br>ПРЛ по азимуту<br>ПРЛ по дальности<br>ВРЛ по азимуту<br>ВРЛ по дальности | Суммарная 1,2 МАИ (инстр. 0,5 МАИ)<br>0,5 ЗИ — суммарная (0,25 ЗИ инстр.)<br>2 МАИ<br>250 м | 1,2 угловых дискрет<br>0,5 длит. ЗИ<br>0,25°<br>250 м |
| 4     | Разрешающая способность:<br>ПРЛ по азимуту<br>ПРЛ по дальности<br>ВРЛ по азимуту<br>ВРЛ по дальности                                       | 6 МАИ<br>1,5 ЗИ<br>8 МАИ<br>1000 м  | 6 МАИ<br>600 м<br>диагр. напр. +0,5<br>1000 м         |
| 5     | Вероятность потерь правильной ДИ   | 0,03  | 0,02  |
| 6     | Вероятность искажений ДИ   | $10^{-3}$   | $10^{-6}$   |
| 7     | Вероятность объединения координатной и полетной информации   | 0,95  | 0,98  |
| 8     | Вероятность объединения информации ПРЛ и ВРЛ   | 0,9   | 0,95  |
| 9     | Максимальное число целей на одном азимуте  | 30/100 (аэродромный РЛК/трассовый РЛК)  |   |

Условные обозначения:  $P_{л,т}$  — вероятность ложной тревоги; ДИ — дополнительная информация; ЗИ — зондирующий импульс; МАИ — малый азимутальный импульс.  
Примечание. В правой колонке для сравнения приведены характеристики АПОИ «Приор» — наиболее распространенного оборудования данного типа.

## Глава 8. ВТОРИЧНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

### 8.1. 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.

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

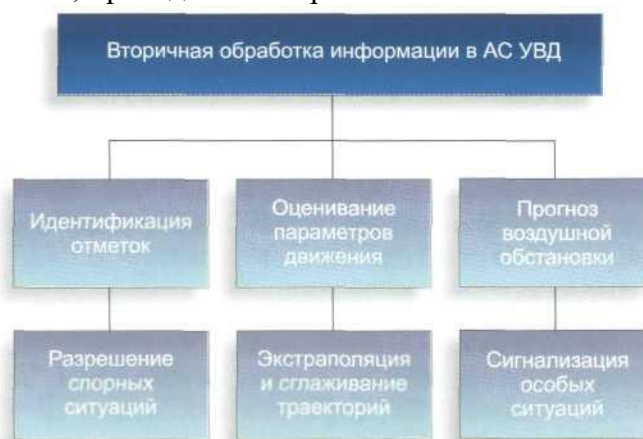


Рис. 8.1. Основные задачи вторичной обработки

### 8.2. Сглаживание и экстраполяция

#### 8.2.1. 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  $g$ ).

В этом случае при получении очередного, нового замера информация о наиболее «старом» обзоре должна стираться. Таким образом, в обработке всегда участвуют  $g$  замеров, которые отбираются с помощью скользящего окна. При этом глубина памяти составляет  $g$  замеров (очевидно, здесь рассматривается установившийся процесс наблюдения при  $N > g$ , 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  $g$  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  $\alpha$ - $\beta$ -фильтром, получившим свое название по двум параметрам сглаживания. Для коэффициентов сглаживания будем в дальнейшем применять буквы  $\alpha$ - $\beta$ -фильтром (конкретный смысл этих коэффициентов рассматривается ниже).

Появление  $\alpha$ - $\beta$ -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  $\alpha$ - $\beta$ -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  $\zeta$  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  $\zeta_{n-1}$  и  $V_{\zeta-1}$ . Тогда при сделанных выше предположениях и известном периоде вращения антенны радиолокатора  $T_0$  можно вычислить экстраполированные координаты

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

Очередной  $n$ -замер  $S_n$ , как правило, не совпадает с предвычисленной (экстраполированной) величиной  $\zeta_{en}$  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 М, лежащая на отрезке прямой, соединяющей экстраполированное и измеренное положение цели.

Математически это означает, что оценка вычисляется как линейная комбинация экстраполированного и измеренного значений координат, а именно:

$$\bar{\zeta}_n = \alpha \zeta_n + (1 - \alpha) \zeta_{en},$$

где  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ ) — коэффициент сглаживания координат, которому соответствует отношение длин отрезков РМ и ЕР (см. рис. 8.2), где Е — экстраполированное положение, Р — измеренное, а М соответствует сглаженным координатам. Последнее выражение удобно представить в виде

$$\bar{\zeta}_n = \zeta_{en} + \alpha(\zeta_n - \zeta_{en}). \quad (8.2)$$

По аналогии запишем для скорости

$$\bar{V}_{\zeta_n} = \bar{V}_{\zeta_{n-1}} + \beta(\zeta_n - \zeta_{en}) / T_0, \quad (8.3)$$

где  $0 < \beta < 1$  — коэффициент сглаживания скорости.

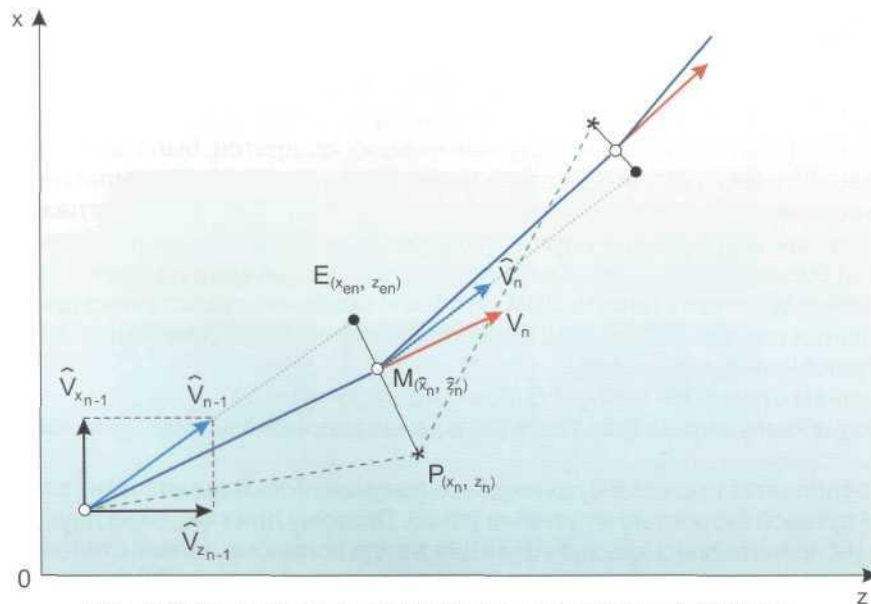


Рис. 8.2. Скользящее сглаживание по алгоритму  $\alpha$ - $\beta$ -фильтра

Как было указано, под координатой  $\zeta$  можно понимать координату либо  $x$ , либо  $z$ . Поэтому в развернутом виде выражения для вычисления сглаженных и экстраполированных координат и составляющих линейной скорости записываются так:

$$\begin{aligned} \bar{x}_n &= x_{en} + \alpha(x_n - x_{en}), \quad \bar{z}_n = z_{en} + \alpha(z_n - z_{en}); \\ x_{en} &= \bar{x}_{n-1} + \bar{V}_{x_{n-1}} T_0, \quad z_{en} = \bar{z}_{n-1} + \bar{V}_{z_{n-1}} T_0; \\ \bar{V}_{x_n} &= \bar{V}_{x_{n-1}} + \beta(x_n - x_{en}), \quad \bar{V}_{z_n} = \bar{V}_{z_{n-1}} + \beta(z_n - z_{en})/T_0. \end{aligned}$$

где  $x_n$  и  $z_n$  — измеренные координаты (замеры) на  $n$ -м обзоре;  $\bar{x}_n$  и  $\bar{z}_n$  — сглаженные координаты (оценки);  $\bar{V}_x$ ,  $\bar{V}_y$  и  $V_x$ ,  $V_y$  — 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  $u_e$  и сглаженной  $u$  высоты, а также вертикальную скорость  $V_y$ .

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  $\alpha$  и  $\beta$  от числа измерений, опираясь на метод наименьших квадратов. Из формул (8.1) и (8.2) следует:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{\bar{\zeta}_n - \bar{\zeta}_{n-1} - \bar{V}_{\zeta_{n-1}} T_0}{\zeta_n - \bar{\zeta}_{n-1} - \bar{V}_{\zeta_{n-1}} T_0}, \\ \alpha &= \frac{2(2n-1)}{n(n+1)}. \end{aligned} \quad (8.4)$$

Формула для коэффициента  $\beta$  может быть найдена аналогичным образом и имеет вид:

$$\beta = \frac{6}{n(n+1)}. \quad (8.5)$$

Подставив в это выражение соотношения для оптимальных оценок  $\zeta_n$ ,  $\zeta_{n-1}$  и  $V_\zeta = c_1$ , (см. приложение 12) и опуская громоздкие преобразования, получим следующую формулу:

Рассмотрим динамику процесса сглаживания. Пусть замеры координаты  $Q$ ,  $i = 1, 2, \dots, n, \dots, N$  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  $\alpha$  и  $\beta$  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

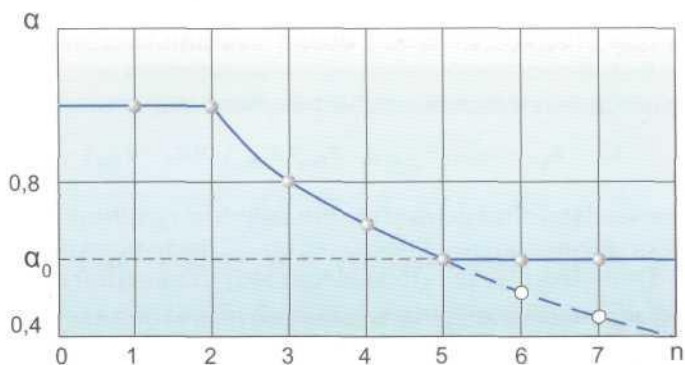


Рис. 8.3. Зависимость коэффициента сглаживания координат от числа наблюдений

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  $\alpha = 0,3 + + 0,5$ ,  $\beta = 0,1 - 0,3$  (рис. 8.3, 8.4).

$$q_T = \begin{cases} q_T + 1, & \text{если замер нормальный;} \\ q_T - 2, & \text{если замер аномальный.} \end{cases}$$

В АС УВД первых поколений  $\alpha$ —(i-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:

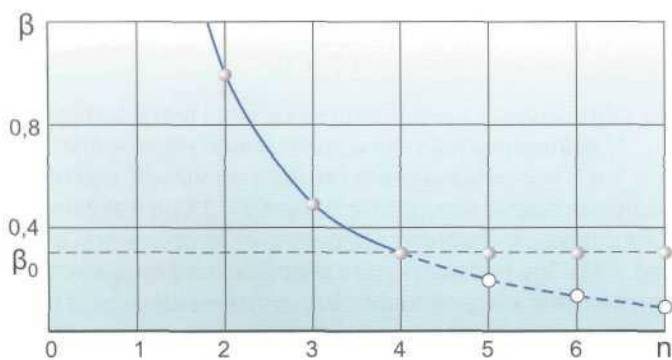


Рис. 8.4. Зависимость коэффициента сглаживания скорости от числа наблюдений

Снизу величина  $q_t$  ограничивалась значением 2, а сверху — некоторой величиной  $q_0$  (тем самым отпадала необходимость в ограничениях на  $\alpha_0, \beta_0$ ). 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.

## 8.2.2. 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  $c_1 = Z$ , (оценки текущего значения координаты) и  $c_2 = V^\wedge$  (оценки скорости ее изменения; в дальнейшем индекс  $L$ , у скорости  $V^\wedge$  опускается).

Пусть на предыдущем ( $k - 1$ )-м замере в момент времени  $t_{k-1}$  информационное множество  $I_{k-1}(c)$  представляет собой прямоугольник:

$$I_{k-1}(c) = K_{k-1} L_{k-1},$$

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  $V^\wedge$  и координаты  $z$  в момент времени  $t_{k-1}$ .

При поступлении в момент  $t_k$  замера  $\zeta_k$  производится промежуточная оценка скорости  $V_k$ , а именно вычисление границ отрезка  $K_k$ :

\* В разработке и исследовании описанного здесь варианта фильтра принимал участие С. А. Изьюров.

$$K' = [V_{\min}, V_{\max}], \quad \text{где } V_{\min} = \max_{k-r \leq i < k} ((\zeta_k - \zeta_i - 2\mu)/(t_k - t_i)),$$

$$V_{\max} = \min_{k-r \leq i < k} ((\zeta_k - \zeta_i + 2\mu)/(t_k - t_i)).$$

Здесь  $r$  — глубина памяти фильтра, а  $\mu$  — ограничение на погрешность измерения  $\delta_k$ .

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  $V^\wedge$ .

Затем находится интервал прогноза оценки координаты  $z$  на момент времени  $t_k$ :

$$L = [\sigma_k^- + (t_k - t_{k-1})V_k^-, \sigma_k^+ + (t_k - t_{k-1})V_k^+].$$

Интервал оценивания координаты на момент времени  $t_k$  отыскивается как пересечение множества  $L$  с множеством (интервалом) неопределенности  $H(t_k)$ :

$$L_k = L \cap H(t_k) = K \cap [\chi_k - \mu, \chi_k + \mu].$$

Следует подчеркнуть, что найденный в результате интервал  $L_k = [o_k, o_k]$  представляет, как нетрудно убедиться, сечение информационной трубки (рис. 8.5).

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.

Алгоритм при незначительных изменениях работает и в прямом времени (без ограничения памяти), что иллюстрируется рис. 8.7.

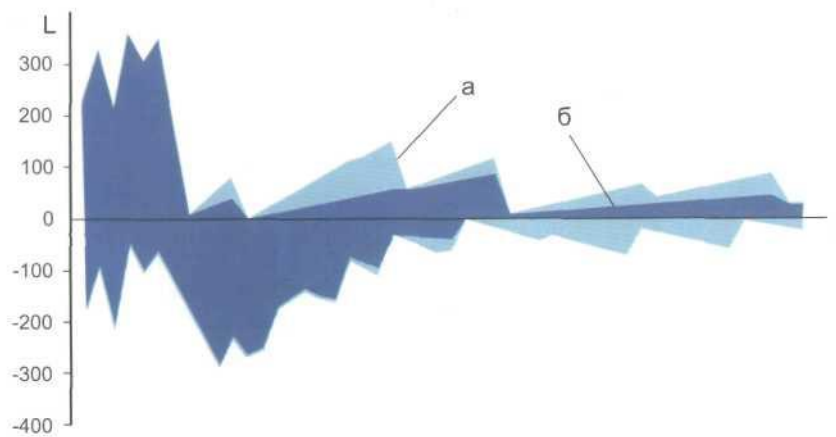


Рис. 8.5. Результат построения трубки двумя способами:  
а — приближенное I-оценивание; б — точное

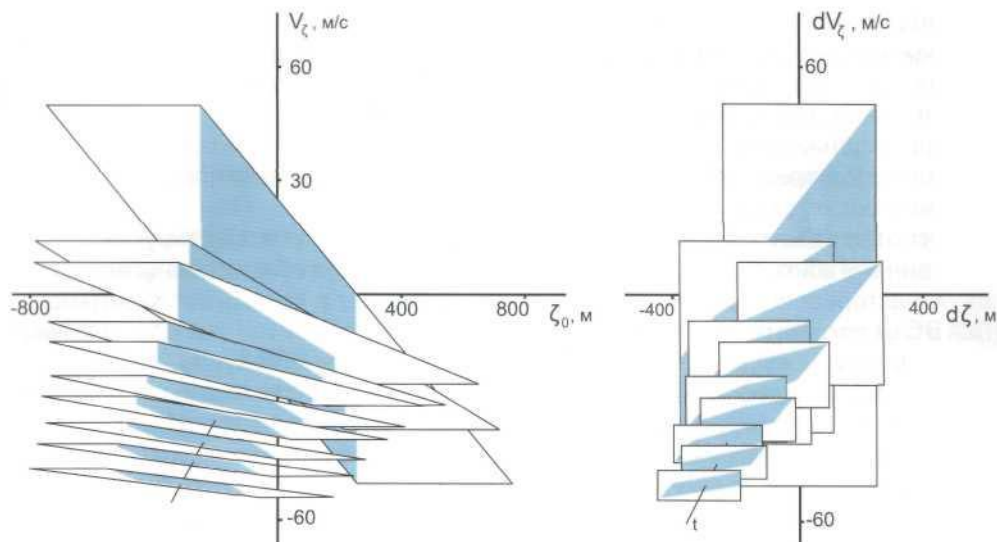


Рис. 8.6. Построение информационных множеств в пространстве  $(\zeta, V_\zeta)$  «координата — скорость ее изменений»

Рис. 8.7. Построение информационных множеств в прямом времени  $(dV_\zeta, d\zeta)$

Для удобства на рис. 8.7 откладывают по горизонтальной оси величины  $dC, = C, - V_0t$ , по вертикальной оси на обоих рисунках  $dV = V - V_0$ , где  $V_0t = C, QV \setminus V_0$  — 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.

## 8.3. Пространственно-временное стробирование

### 8.3.1 Назначение стробов

При любой схеме 8.3 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 Е (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 сред-неквадратическим отклонениям, которые предполагаются заданными.

В приведенном на рис. 8.8 примере строба сопровождения учитываются только погрешности измерения РЛС по азимуту и дальности. Области, ограниченные эллипсами ЕК 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  $a$ — $p$ -фильтра, учитывающих степень влияния нового замера на оценки координаты и скорости ее изменения, зависят от  $q_T$ .

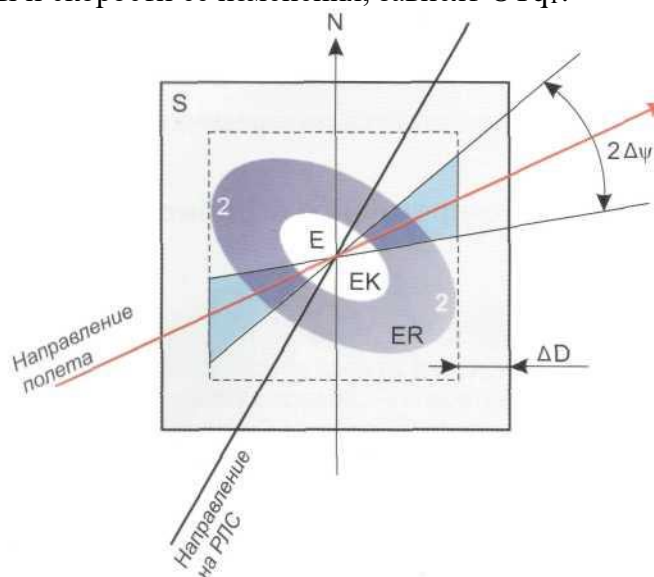


Рис. 8.8. Вид строба сопровождения, построенного из вероятностных представлений

По соображениям простоты вокруг эллипсов описывают прямоугольник. Добавив еще дополнительные «запасы» на ускорение  $D_{уск}$  и маневрирование  $D_{ман}$  или  $AD = \max(D_{уск}, D_{ман})$ , получают строб сопровождения S.

сует заметить, что коэффициент прочности траектории может использо-ii.il|. ( и и для управления размерами строба сопровождения, центр которого задается экстраполированными координатами.

### 8.3.2. 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 (BC), входят в число фазовых координат основной системы (1.4), однако наряду с ними фазовыми координатами являются также путевая скорость  $V$  и угол пути  $\gamma$ . Таким образом, для исчерпывающего описания положения наблюдаемого объекта как динамической системы  $(x, z, \gamma, V)$  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  $t_i < T$  состояние системы принадлежало информационному множеству  $I(t_i)$ . В свою очередь ИМ  $I(t_x)$  получается в результате пересечения множества прогноза  $G(t_i)$  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  $G^{\#}(f)$  МП  $G(f)$  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).

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).

Пусть произведен первый замер (точка  $P$ ) и множество неопределенностей  $H(t^*)$  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.

## 8.4. Автоматическое сопровождение

### 8.4.1 Каналы автосопровождения

Процесс последовательного наблюдения за движением отдельного объекта (цели) получил название автосопровождения.

В процессе сопровождения вся информация о сопровождаемой цели записывается в определенную область памяти, называемую каналом автосопровождения (КАС). Иногда номер КАС указывается в формуляре сопровождения. В канале автосопровождения содержатся: <sup>1</sup> номер формуляра,

\*оценки координат (точечные, интервальные); оценки параметров движения (скорости, путевого угла и др.);

\*координаты центра строба (экстраполированные координаты) и параметры, определяющие его размер и форму;

параметры сглаживания (коэффициенты сглаживания, коэффициент прочности траектории);

\*количество пропусков;

\*бортовой номер (код ответчика или позывной — при наличии вторичного канала), высота (эшелона), запас топлива и другая дополнительная информация, содержащаяся в формуляре сопровождения (при наличии вторичного канала).

При использовании 1-фильтров количество сохраняемой информации увеличивается.

В КАС может помещаться и другая доступная и полезная информация о данном рейсе (в том числе и плановая).

Данные, записанные в КАС, обновляются на каждом очередном обзоре. Однако, прежде чем выполнять вычисления, связанные с оцениванием новых данных, необходимо произвести идентификацию вновь поступивших данных, под которой понимают их отождествление с определенной целью, уже находящейся в процессе сопровождения. Количество КАС в современных АС УВД достигает нескольких сотен.

## 8.4.2. Идентификация отметок и разрешение спорных ситуаций

Поскольку информация, поступающая на аппаратуру вторичной обработки, обновляется дискретно (с периодом вращения антенны), то и обработка ее тоже носит дискретный характер, иными словами, обработка начинается только при поступлении одного или нескольких новых замеров. В начале каждого цикла обработки (независимо от алгоритмов, применяемых при этом) производится попытка идентифицировать (отождествить) новую отметку с уже имеющимися в канале сопровождения траекториями. При наличии информации о бортовом номере или номере ответчика (SQUAWK) идентификация не представляет большого труда: в этом случае ведутся перебор всех имеющихся каналов сопровождения и проверка на соответствие бортового номера или номера ответчика новой отметке и данным, записанным в КАС В случае их совпадения отметка считается отождествленной. При этом процессу идентификации может значительно помочь информация о режиме работы ответчика (УВД или RBS), так как одновременная работа современных бортовых ответчиков в обоих режимах невозможна. Гораздо сложнее решается вопрос идентификации в случае, когда новая отметка не содержит сведений о бортовом номере. Эта ситуация возможна, если отсутствует (неработоспособен) бортовой ответчик или вторичный канал радиолокатора. Тогда идентификация возможна только по приблизительному совпадению координат новой отметки и экстраполированных координат траектории (экстраполяция производится по рассчитанным ранее параметрам траектории). Поскольку определенно не известен характер движения цели (цель может маневрировать), а также измерение координат может иметь погрешности, точное совпадение координат возможно лишь как исключение. Однако разница координат не может быть очень большой (если принять во внимание ограничения на помехи и маневренность ВС).

Поэтому идентификация производится по факту попадания отметки в строб сопровождения. Точное построение стробов как проекций множеств прогноза затруднительно ввиду математических трудностей, да и вряд ли необходимо, так как предположения о характере движения наблюдаемого объекта в ряде случаев весьма приблизительны. Возможны различные аппроксимации множеств прогноза.

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).

$$|x - x_e| \leq d_x, |z - z_e| \leq d_z,$$

В этом случае для определения попадания отметки в строб требуется проверить простое неравенство: где  $x, z$  — координаты новой отметки;  $x_e, z_e$  — экстраполированные координаты траектории (центра строба);  $d_x, d_z$  — половины сторон строба.

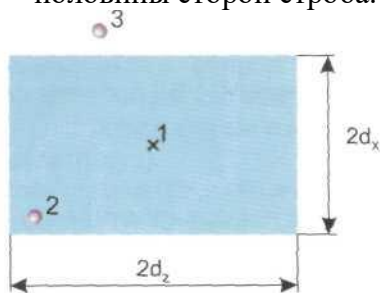


Рис. 8.10. Прямоугольный строб:

1 — экстраполированные координаты (центр строба); 2 — попавшая в строб отметка;  
3 — отметка, не попавшая в строб

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.

Такая форма строба позволяет наиболее полно учесть как погрешности измерения, так и маневренные характеристики цели. Чтобы удостовериться в попадании новой отметки в такой строб, требуется проверить следующие неравенства:

$$\alpha \leq \alpha_{\max};$$

$$D_{\min} \leq D_0 \leq D_{\max},$$

где  $\alpha$  — 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 строб:

$$|H_0 - H_3| \leq d_h,$$

где  $d_h$  — размер строба по высоте.

Во время идентификации отметок часто возникают спорные ситуации, когда в один строб попадает более одной новой отметки (спорная ситуация первого рода) или когда одна новая отметка принадлежит нескольким стробам (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 цепи, 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.

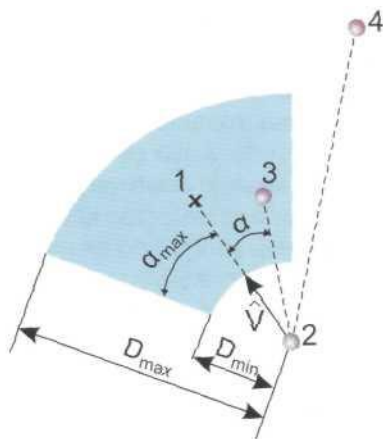


Рис. 8.11. Рациональная форма строба сопровождения:

1 — центр строба (экстраполированное положение цели); 2 — сглаженная отметка на предыдущем обзоре; 3 — отметка, попавшая в строб; 4 — отметка, не попавшая в строб;  $V$  — сглаженное значение скорости на предыдущем обзоре

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.

### 8.4.3. Ввод в сопровождение и автозахват

В основном алгоритмы работы каналов автозахвата (КАЗ) не отличаются от функционирования каналов сопровождения. Принципиальным различием является время жизни траектории в канале автозахвата. При новой отметке обнаружения вокруг нее строится стартовый строб (см. рис. 8.9). По большому счету при завязывании траектории не обязательно проходить стадию автозахвата, достаточно было бы строить ее по двум последовательным отсчетам, помещенным в новый КАС. Однако при таком подходе наверняка появится чрезвычайно большое количество ложных траекторий, обработка которых потребует значительного увеличения вычислительных ресурсов комплекса вторичной обработки, а также создаст нежелательную помеховую картину на индикаторе диспетчера. По этой причине некоторое количество каналов отводится для работы в режиме автозахвата. Как уже указывалось, основной их особенностью является непродолжительное время существования траектории в канале. Траектория считается определенной при наличии  $n$  наблюдений за  $m$  обзоров, например 4 из 5, и в этом случае переводится из канала автозахвата в канал сопровождения. Автоматический сброс траектории происходит при небольшом числе пропусков (например, двух). Если же ни одно из этих условий не выполняется, то траектория остается в канале автозахвата до тех пор, пока не реализуется одно из вышеописанных условий. Рациональный подбор параметров канала автозахвата оказывает большое влияние на работу всего комплекса вторичной обработки информации. Так, например, задание щадящего решающего правила « $n$  из  $m$ » приводит к появлению большого числа ложных меток на индикаторе диспетчера, задание же строгого параметра (например, 6 из 7) способно надолго задержать появление новой цели на индикаторе.

Помимо учета числа пропусков, в целях уменьшения числа ложных траекторий полезно проводить проверку на путевую скорость цели. Для этого необходимо задать два пороговых значения скорости. Однако интерпретировать их можно по-разному, один из возможных вариантов — проверять скорость цели на неравенство:

$$V_{\min} \leq V \leq V_{\max}.$$

Другой способ подразумевает задание двух значений скорости  $V_1$  и  $V_2$  и следующую последовательность действий: при  $V < V_1$  канал автозахвата освобождается; при  $V > V_2$  траектория переводится в канал сопровождения; при  $V_1 < V < V_2$  траектория остается в канале автозахвата.

Подобные проверки позволяют уменьшить влияние погрешностей оценки скорости при небольшом числе отсчетов. Подобная логика применима и при интервальных оценках.

Для уменьшения количества каналов автозахвата вводят зоны автозахвата. Зона автозахвата представляет собой некоторую область (обычно прямоугольной формы), которая покрывает входной коридор, или область воздушного пространства от торца ВПП по курсу взлета, т. е. участки зон УВД, где вероятность появления новой цели максимальна. На обработку в каналы автозахвата должны поступать только те отметки, которые попадают в зоны автозахвата. Это помогает значительно снизить затраты на обработку каналов автозахвата. Однако такой подход возможен только в системах гражданского применения, когда воздушные суда следуют строго установленными маршрутами, и совершенно неприемлем в системах двойного назначения ЕС ОрВД.

Все описанные выше алгоритмы используются для автозахвата и ввода в сопровождение отметок первичного канала или отметок, у которых в дополнительной информации отсутствует бортовой номер (номер ответчика). Алгоритмы автозахвата для активных отметок значительно упрощаются. Для ввода в сопровождение таких целей, как правило, достаточно одного отсчета.

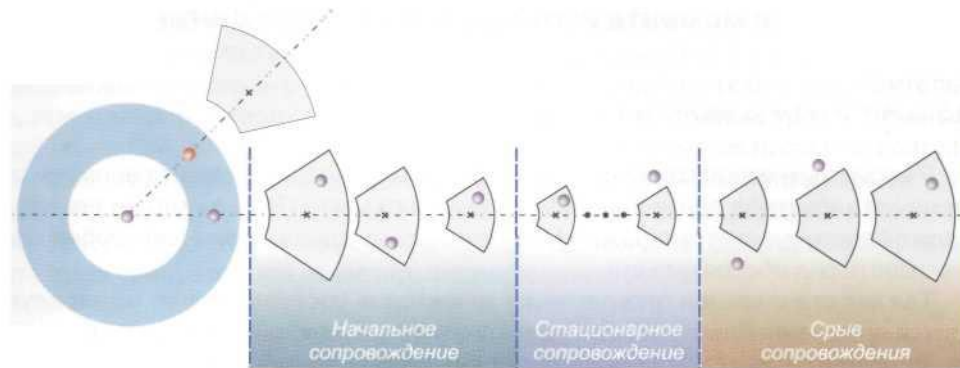


Рис. 8.12. Пример автозахвата и сопровождения цели

Рассмотрим теперь ситуацию, когда по каким-либо причинам на очередном обзоре ни одна из отметок не попала в строб данной траектории. Это возможно в двух случаях: ропуск отметки радиолокационной станцией; параметры траектории определены с большими погрешностями; размер строга выбран неудачно (как правило, слишком мал).

Поскольку реальная причина априори неизвестна, следует найти способ идентификации отметки на следующем обзоре при возникновении любой из вышеперечисленных ошибок (или их сочетаний). Одним из таких способов может быть динамическое изменение коэффициентов сглаживания и размера (а в некоторых случаях и формы) стробов. Другими словами, при пропуске отметки на текущем обзоре необходимо увеличить значения коэффициентов сглаживания ( $\alpha$ ,  $P$ ), а также размер строга.

Увеличение значений коэффициентов сглаживания приведет к большему учету измеренных значений координат и скорости. Увеличение размера строга должно парировать накопление ошибок экстраполяции в случае пропуска одной или нескольких отметок подряд. Совершенно очевидно, что чем больше отметок пропущено, тем больше будут эти погрешности и тем больше должен быть размер области ожидаемого появления новой отметки (множества прогноза). Однако бесконтрольное увеличение строга неизбежно приведет к увеличению спорных ситуаций, что нежелательно. Поэтому размер строга ограничивают сверху неким предельным значением.

Таким образом, текущие значения коэффициентов сглаживания и текущий размер строга определяются в общем случае количеством наблюдений цели с момента завязки траектории и количеством последовательных пропусков отметок, которые учитываются коэффициентом прочности траектории  $q_j$  [см. соотношения (8.6)]. На рис. 8.12 показан пример автозахвата и сопровождения цели.

## 8.5. Фиксация момента изменения характера движения

### 8.5.1. Алгоритмы, использующие стробы

Рассмотрим относительно простые методы фиксации момента времени изменения характера движения наблюдаемого объекта (BC), 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).

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.

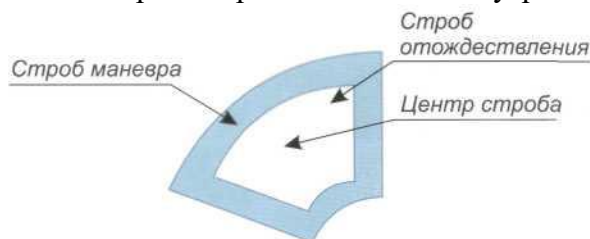


Рис. 8.13. Строб маневра

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.

### 8.5.2. 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  $H$ .

Если очередное  $k$ -е измерение оказалось также совместимым с предыдущей историей (ИМ не выродилось), то наблюдения продолжают.

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.

Несовместимый  $k$ -й замер, для которого  $G_k \neq 0$ , обозначим через  $\%k$ -Практически для выявления замера  $\%w$  удобно поступать следующим образом: до замера вычислять не множество прогноза, а прогнозируемые границы информационной трубки, и после прихода замера проверять справедливость неравенства:

$$\chi_k > \sigma_e^+ + \mu, \quad \chi_k < \sigma_e^- - \mu. \quad (8.7)$$

Если одно из неравенств (8.7) нарушено, тогда полагаем  $\chi_k = X_k$  ( $\tau$ - $\epsilon$ - замер аномальный), и далее при построении ИМ можно считать:

$$\chi_k = \begin{cases} \sigma^+ + (\mu - \epsilon_0), & \text{если нарушено первое неравенство (8.7);} \\ \sigma^- - (\mu + \epsilon_0), & \text{если нарушено второе неравенство (8.7),} \end{cases}$$

Где  $\epsilon_0$  — 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  $\%_{п1}$  и  $\%_{п2}$ , 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  $\epsilon > v_m$ , 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  $\phi_n$ ; 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

$$\phi_n = \exp\left[-(\chi_n^* - m)^2 / (2\sigma^2)\right], \quad (8.8)$$

где  $m = 0,5(\sigma^+ - \sigma^-)$  — координаты центра трубки, а  $\sigma$  — среднеквадратическая погрешность измерений.

Возможно использование и более «мягкой» (и в то же время более простой) зависимости вида

$$\phi_n = 1 + (\chi_n^* - m)^2 / (2\sigma^2).$$

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  $P(n) = P(9 = n)$  и после него  $P(8 > n)$ , где  $\epsilon$  — момент изменения характера движения, который, как предполагается, совпадает с очередным замером.

Чем меньше мера неопределенности, тем меньше среднее запаздывание в обнаружении момента 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  $90^\circ$  число  $N$  можно оценить по формуле  $N = 0,5лЛ/v_{\max}/(\text{ду}T_0)$ , где  $v_{\max}$  — путевая скорость на вираже,  $\gamma$  — угол крена.

Рассмотрим два крайних случая задания функции распределения вероятностей момента  $\theta$ .

Случай 1. Какие-либо сведения о моменте возможного изменения характера движения отсутствуют.

Этому случаю максимальной неопределенности соответствует равномерное распределение:  $P(n) = P(n = \theta) = 1/N$ ,  $P(\theta > n) = 1 - n/N$ .

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  $\theta$  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  $\theta = \theta_a$ . Тогда для вероятностей  $P(\theta)$  и  $P(\theta > n)$  имеем:

$$P(n) = \begin{cases} 0, & \text{если } n \leq \theta_a - M, \\ (n + M - \theta_a)/M^2, & \text{если } \theta_a - M < n \leq \theta_a, \\ (\theta_a + M - n)/M^2, & \text{если } \theta_a < n < \theta_a + M, \\ 0, & \text{если } n \geq \theta_a + M; \end{cases} \quad (8.9)$$

$$P(\theta < n) = \begin{cases} 1, & \text{если } n \leq \theta_a - M, \\ 1 - 0,5(n + M - \theta_a)(n + M - \theta_a + 1)/M^2, & \text{если } \theta_a - M < n \leq \theta_a, \\ 0,5 \left[ 1 - 1/M - (\theta_a + M - n)(\theta_a + M - n + 1)/M^2 \right], & \text{если } \theta_a < n < \theta_a + M, \\ 0, & \text{если } n \geq \theta_a + M, \end{cases}$$

$$P(n = \theta_a) = 1/M.$$

Возможны, конечно, аппроксимации функций распределения иного вида, однако приведенные выше соотношения представляются наиболее удобными для расчета статистик.

### 8.5.3. 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.

<sup>8</sup> Реализуется вариант байесовского N-усеченного процесса принятия решений, когда длительность интервала наблюдений ограничена (сверху).

<sup>8</sup> 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;  $\theta$  — 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, сравняется 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  $\theta$  — неизвестная величина. Рекуррентные формулы для статистик приведены в приложении 20. Поэтому введем решающую функцию в виде статистики:

$$\pi_n^* = \pi_n^0 - \pi_n^+ + 1 = \pi_n + \pi_n^0.$$

$$\pi_n^0 = P(\theta = n | \chi_1^{*n}), \quad \pi_n^+ = P(\theta > n | \chi_1^{*n}), \quad \pi_n^- = P(\theta \leq n | \chi_1^{*n})$$

Где условные вероятности соответствующих событий (достаточные статистики — см. приложение 20).

Статистика  $\pi^{\wedge}$  — возрастающая, и при достижении значения, равного единице, выполняется равенство статистик. Отсюда следует оптимальное правило: решение о начале интервала изменения ускорения следует принимать, когда статистика  $\pi^{\wedge}$  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, кроме того, 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 соответствен но 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 не совместимым 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  $\sigma^-$  и  $\sigma^+$ .

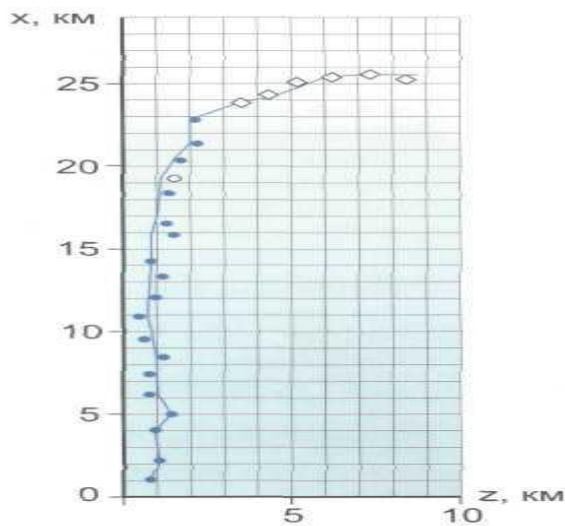


Рис. 8.14. Траектория с участком разворота, крен  $30^\circ$ :

• — замеры, обрабатываемые фильтром первого порядка;  $\diamond$  — замеры, обрабатываемые фильтром второго порядка;  $\circ$  — начало маневра; — — сглаженная траектория

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.

Результат работы алгоритма иллюстрируется рис. 8.14.

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 вызовет увеличение 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 а становится меньше некоторого заданного значения. Для этого следует задать отрезок  $[c_2, c_2]$  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.

## Глава 9. МУЛЬТИСЕНСОРНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

### 9.1. Общая характеристика и состояние проблемы

Задача обработки информации от нескольких (однородных или неоднородных) источников всегда остается актуальной, так как позволяет снизить погрешности отдельных замеров и повысить устойчивость и достоверность наблюдений. Ниже рассматриваются некоторые аспекты этой проблемы, получившей название мультисенсорного наблюдения.

Различным аспектам совместной обработки информации от нескольких источников при решении задач навигации и наблюдения, объединяемым обычно общим термином «комплексирование», посвящено большое число работ. В них рассмотрен широкий круг разнообразных проблем, учитывающих специфику источников информации и различные стороны их применения. Здесь будут рассмотрены задачи частного характера, относящиеся к обработке информации от нескольких РЛС (вообще говоря, разного типа), которую будем обозначать термином третичная или мультирадарная обработка, а также более общий случай совместного использования РЛ-источников информации и АЗН. Важность последнего определяется стратегией системы CNS/ATM, предусматривающей возможность и целесообразность их совместного использования.

В общей проблеме мультисенсорного наблюдения следует выделить ряд задач, которые требуют разработки соответствующих методов и алгоритмов их решения:

- \*оценивание параметров состояния (координат и параметров движения);
- \*сравнительная оценка достоверности информации, получаемой от различных сенсоров;
- \*построение интегрированных траекторий и обеспечение их непрерывности («стыковки»).

Кроме решения этих основных задач требуется выполнять целый ряд дополнительных процедур, вытекающих из разнородности сенсоров (как функциональной, так и топологической), к которым относятся:

- \*пересчет измерений в единую систему координат;
- \*приведение измерений к единому времени.

Для этой цели предложены алгоритмы, основанные на корреляционных методах. Здесь легко усмотреть некоторое сходство с математическими конструкциями, основанными на построении информационных множеств. Это дает основание надеяться на возможность построения на их базе

эффективных алгоритмов мультисенсорной обработки, обеспечивающих устойчивость наблюдения в условиях неопределенности (в смысле получения условно-гарантированных результатов).

## 9.2. Мультирадарная обработка

### 9.2.1. Содержание мультирадарной обработки

Мультирадарная обработка должна обеспечить стабильное сопровождение воздушных целей и формирование картины воздушной обстановки путем анализа информации, поступающей от нескольких источников (радаров). Как правило, радары обладают разными характеристиками, так что в конкретных условиях может быть более эффективен тот или иной радар. При прочих равных условиях на больших расстояниях будет эффективен радар, обладающий большей мощностью. В областях большой плотности движения и повышенной маневренности целей необходим радар с небольшим периодом обзора. Кроме того, эффективность радара зависит от его расположения относительно окружающих препятствий. Здания, природный рельеф и другие элементы окружающей местности могут экранировать, отражать или переотражать излучение, в результате чего в определенных областях появляются многочисленные ложные отметки (или пропадают истинные). Поэтому для получения наиболее информативной картины желательно использовать информацию от нескольких радаров, причем учитывать особенности этих радаров и их возможности применительно к конкретным участкам зоны действия системы УВД. Результатом мультирадарной обработки являются мультирадарные траектории, рассчитанные из реальных по специальным алгоритмам. В зависимости от обстоятельств при формировании мультирадарной траектории может использоваться траектория только от одного радара или сразу от нескольких радаров, измерения которых осредняются с различными весовыми коэффициентами. Наиболее простым и хорошо известным способом мультирадарной (третичной) обработки является так называемый «мозаичный», практический вариант которого состоит в разведении зоны ответственности на отдельные непересекающиеся области (домены), где используются замеры, полученные от одного определенного радара, а остальные игнорируются.

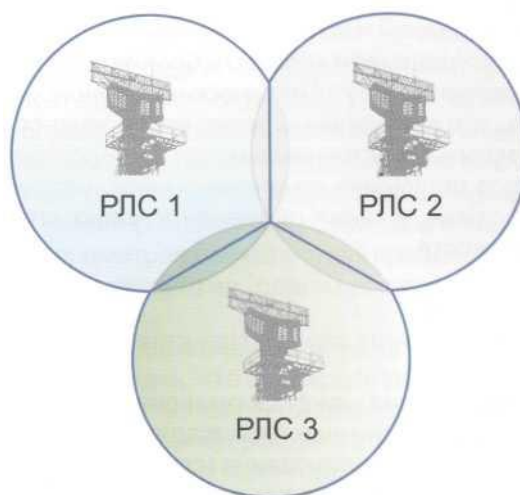


Рис. 9.1. Мозаичная обработка информации

В каждом домене предпочтение отдается радиолокатору с лучшими характеристиками обнаружения (рис. 9.1). Очевидным недостатком «мозаичного» метода является отказ от совместной обработки координат в зонах перекрытия, так что этот резерв улучшения характеристик сопровождения остается незадействованным. Заметим также, что проблема идентификации («сшивки») траекторий при переходе ВС из одного домена в другой остается довольно сложной из-за различия точностных характеристик радиолокаторов.

### 9.2.2 Виртуальный радар

Описываемые ниже методы мультирадарной обработки основаны на введении некоторого фиктивного наблюдателя, которого будем называть виртуальным радаром. Метод виртуального радара, являясь достаточно универсальным, может быть применен как в случае однородных

измерителей (например, обзорных радиолокаторов), так и при наличии разнородных источников информации (что имеет место при совместном использовании систем автоматического зависящего наблюдения и радиолокационного контроля, а также радиопеленгаторов).

Будем полагать, что необходимые преобразования измерений, связанные с переходом к единому времени и единой системе координат, выполнены для всех датчиков-измерителей (сенсоров).

Суть метода состоит в сочетании независимой обработки информации от каждого отдельного источника и совместной обработки, результаты которой интерпретируются как появление нового, дополнительного наблюдателя, а именно виртуального радара. При этом обработка информации (оценивание состояния, параметров движения и построение траектории) может производиться как на основе информационных множеств, так и с применением традиционных алгоритмов вторичной обработки.

Потенциальный выигрыш, получаемый с помощью виртуального радара, объясняется следующими обстоятельствами:

- \*большим объемом обрабатываемой информации; увеличением средней \*частоты замеров;

- \*возможным устранением (или ослаблением влияния) случайных как переменных, так и постоянных систематических погрешностей измерений.

Следует отметить, что виртуальный радар как продукт совместной обработки информации от нескольких источников может быть построен с использованием известных методов получения точечных оценок, например с помощью их суммирования с «весами», а также применен в новых алгоритмах на основе информационных множеств.

### 9 2.3 Формирование мультирадарной траектории

Мультирадарная траектория может формироваться различными способами как совокупность нескольких обычных (монорадарных) траекторий, отнесенными к одному и тому же объекту наблюдения (самолету).

В традиционных системах эти задачи сводятся к отождествлению (идентификации) замеров (отметок) с помощью стробирования и группировки.

При формировании мультирадарной траектории производится привязка существующих траекторий. Для этого определяются траектории, у которых параметры движения цели близки. Они и привязываются к одной мультирадарной траектории. В дальнейшем именно на основе этих траекторий будет строиться мультирадарная обработка данной цели. Если используются вторичные радары и коды ответчиков для двух траекторий совпадают, то критерий привязки становится менее жестким. Две мультирадарные траектории, имеющие близкие параметры, также могут быть «склеены» и объединены в одну.

Мультирадарная траектория в общем случае несет в себе большую информацию о параметрах движения цели, чем траектории, сформированные отдельными радарными. Простейшим способом формирования такой информации является использование только одной из траекторий (например, по методу наилучшего равномерного приближения) и игнорирование остальных. Такой прием может применяться на участках, где один из радаров имеет значительное преимущество перед остальными в отношении точности или других характеристик и обеспечивает устойчивое сопровождение, а использование дополнительной информации может только ухудшить дело. Например, если радары имеют разные радиусы действия, то существует достаточно отдаленная область, где сопровождать цели может только радар с самым большим радиусом действия. Какой радар использовать в данном случае — определяется настройками мультирадарной обработки. Могут быть заданы несколько областей, в которых будут определены абсолютные приоритеты радаров, и радар с меньшим приоритетом не будет учитываться.

Более сложный алгоритм предусматривает использование информации от всех радаров. При этом результирующая траектория представляет собой комбинацию траекторий от разных радаров, взятых с различными весами. Иными словами, параметры движения получаются путем усреднения по траекториям от нескольких радаров, но при этом отдельные радары могут влиять сильнее, чем другие, если есть основание считать, что их показания более точны. Веса траекторий рассчитываются на основе статистического анализа. Статические веса задаются в качестве

параметров мультитраекторной обработки на основе априорной информации о радарх (анализа записей сигналов за прошлый период).

На разных участках могут задаваться разные веса. Статический вес траектории должен зависеть от погрешности данного радара, количества ложных отметок, вероятности пропуска отметки, наличия лепестков и переотражений. Итоговый вес локатора определяется из его статического веса с использованием информации о «качестве» траектории в предыдущие интервалы времени. При наличии пропусков вес траектории снижается, так как очевидно, что в этом случае погрешность оценок параметров движения, как правило, возрастает.

Перейдем к описанию алгоритма, реализующего практически изложенные принципы.

Траектории от каждого радара вначале обрабатываются и сглаживаются независимо. Будем теперь считать, что от каждого реального радара подается на вход мультирадарного алгоритма какое-то количество простых траекторий. Каждая простая траектория несет информацию о текущих параметрах движения цели. Эта информация содержит сглаженные координаты и скорость в какой-то момент времени, что позволяет рассчитывать координаты цели в любой последующий момент времени. Каждая траектория имеет свое качество. Качество траектории характеризует точность и достоверность оценок координат. Качество ухудшается при наличии пропусков (количественной характеристикой является коэффициент прочности траектории).

Алгоритм мультирадарной обработки предполагает хранение набора мультитраекторных траекторий. Каждая мультирадарная траектория содержит в себе список номеров простых траекторий от разных радаров, в соответствии с которым она формируется, и собственные рассчитанные параметры движения цели. В результате мультирадарной обработки создается виртуальный радар, информация от которого выдается потребителям с определенной периодичностью.

Для тех траекторий реальных радаров, которые не были отнесены ни к одной мультитраектории, заводятся новые мультитраектории. Для каждой новой мультитраектории заводится счетчик, который фиксирует время ее существования. Пока время существования траектории не превысило критического, возможно «склеивание» двух траекторий, имеющих близкие параметры движения.

## 9 2.4 Схема алгоритма

Алгоритм мультирадарной обработки можно представить в виде приведенной на рис. 9.2 схемы.

1. Ищем простые траектории (от реальных радаров), которые не привязаны ни к какой мультирадарной траектории. Назовем их свободными и для каждой из них заводим мультирадарную траекторию (МРТ).

2. Перебираем мультирадарные траектории, время жизни которых не превысило заданное число (10-15) отсчетов. Ищем среди них близкие (расхождение в курсе, местоположении и высоте для которых не превышает заданных ограничений). Если находятся такие траектории, то «склеиваем» их в одну.



Рис. 9.2. Алгоритм мультирадарной обработки



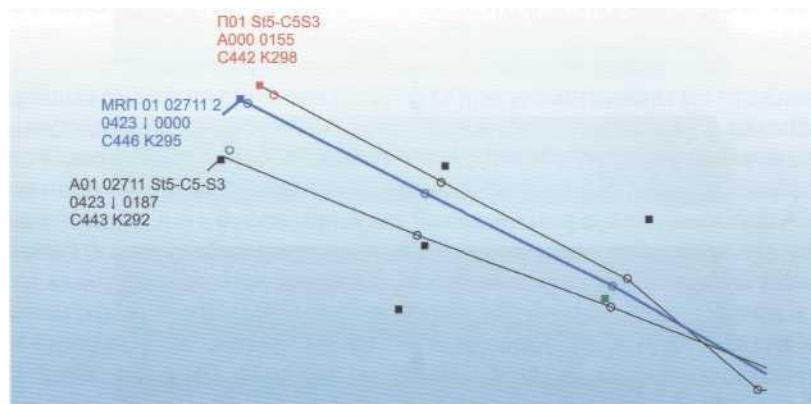


Рис. 9.3. Построение МРТ

3. Для каждой мультирадарной траектории рассчитываем веса входящих в нее траекторий. За основу берем статические (ранее назначенные) веса. Для траекторий с плохим качеством (наличие пропусков) веса уменьшаются в соответствии с заранее назначенным коэффициентом.

4. Рассчитываем координаты, скорость и курс цели для мультирадарной траектории как линейную комбинацию параметров входящих в нее реальных траекторий с соответствующими весами.

5. Выдаем рассчитанные параметры целей потребителям в качестве отсчетов виртуального радара (ВР) для построения траекторий, прогноза и пр.

Работу алгоритма иллюстрирует рис. 9.3.

### 9.3. Алгоритм мультисенсорной обработки на основе информационных множеств

Опишем эту процедуру в наиболее простом случае использования однородных источников информации — сенсоров (что имеет место при радиолокационном перекрытии). Случай разнородных источников, таких как, например, РЛС и АЗН, более сложен и требует несколько иного подхода.

Итак, пусть мы располагаем однородными источниками информации (например, радарам) общим числом  $n$ ,  $n > 2$ . Замеры координат поступают от каждого измерителя периодически; источники имеют в общем случае различные периоды (могут использоваться и аэродромные, и трассовые радиолокаторы), причем вращение антенн не синхронизировано. Поэтому можно полагать, что мы имеем дело с асинхронным потоком замеров. Схема алгоритма приведена на рис. 9.4.

За информационное множество виртуального радара в начальный момент времени  $t_0$  может быть принято информационное множество одного из реальных радаров. Для моментов времени  $t > t_0$  ИМ строятся с помощью рекуррентных процедур.

Пусть в момент  $t^k$  построено ИМ  $I(t^k)$  а в момент времени  $t > t^k$  — первый, в который пришел очередной замер от  $k$ -го измерителя ( $1 < k < n$ ).





Рис. 9.4. Алгоритм построения информационных множеств параметров движения для виртуального радара

Как было оговорено выше, для этого измерителя (причем независимо от других) строится ИМ  $I$  ( $\Gamma$ ) методами, описанными в главе 5. Для остальных измерителей, включая и виртуальный радар, строятся множества прогноза  $G^j(t^*)$ ,  $j = 0, n$ ,  $j \neq k$  как множества достижимости на момент времени  $t^*$ .

Определим информационное множество на момент  $t^*$  для виртуального радара  $I^0(t^*)$  как пересечение указанных множеств  $G^j(t^*)$  с построенным информационным множеством  $I^k(t^*)$ :

$$I^0(t^*) = \bigcap_{\substack{0 \leq j \leq n, \\ j \neq k}} G^j(t^*) \cap I^k(t^*).$$

Технически операции пересечения, входящие в это выражение, могут выполняться последовательно в любом порядке.

Далее переходим к построению информационных множеств для виртуального радара в пространстве параметров программных (стандартных) траекторий. Отметим два отличия от ситуации, рассмотренной в главе 5:

\*сетка  $T = \{t_j\}$ , составленная из упорядоченных моментов замеров, поставляемых всеми сенсорами, является, вообще говоря, неравномерной;

\*ограничения, входящие в соответствующую систему неравенств, задающую ИМ, в общем случае для всех (или некоторых) источников информации могут быть различны, что следует учитывать в алгоритме.

Учтя эти различия, можно далее использовать все методы и алгоритмы, приведенные в главе 5, для построения информационных множеств, трубок траекторий и получения интервальных и точечных оценок параметров движения.

## 9.4. Совместное использование данных РЛ-контроля и АЗН

Концепция развития системы CNS/ATM предусматривает на отдельных этапах совместное использование в целях УВД как полученных от радиолокационных источников данных, так и данных АЗН. При обсуждении связанных с этим вопросов надо в первую очередь подчеркнуть "неравноправность" сенсоров двух указанных типов. Она обусловлена как большей информативностью АЗН, так и неизмеримо более высокими ее точностными характеристиками. Из этого следует, что выигрыш от совместного использования этих сенсоров можно ожидать в ином отношении. Обсудим эти вопросы с нескольких различных сторон.

\*Построение интегральных траекторий. Речь идет о ситуациях, когда зоны перекрытия РЛ-контроля и системы АЗН чередуются с областями ВП, где информация о положении наблюдаемого объекта поступает лишь от одной из этих систем. При переходе от одной ситуации такого рода к другой возникает задача «стыковки» траекторий. Это требует разработки специальных алгоритмов, учитывающих различие в составе, формате и периодичности поступления информации от двух типов эмиттеров.

\*Юстировка радаров. В зоне перекрытия более точную информацию о положении ВС, поступающую от системы АЗН, целесообразно использовать для юстировки радаров в целях измерения ошибок как систематических, так и вызванных влиянием переотражений, боковых лепестков и пр. Для этого могут быть применены известные методы.

\*Контроль достоверности данных АЗН. Высокие характеристики АЗН, которые отмечались выше, такие как целостность, непрерывность и доступность, не дают, однако, абсолютной гарантии от сбоев. Для защиты от «грубых» ошибок следует предусматривать возможность использования РЛ-данных. Алгоритмы анализа ситуаций такого рода предпочтительно строить на основе идеологии информационных множеств.

\*Обеспечение полноты информации о воздушной обстановке на борту ВС. Цифровая линия передачи данных осуществляет в числе прочих функцию TIS-B (Traffic Information Service-broadcast), которая предусматривает передачу и отображение на дисплее CDTI (Cockpit Display of Traffic Information) в кабине оборудованного ВС информации об обстановке в окружающем ВП. Однако если в воздушном пространстве находится ВС, не оборудованное транспондером АЗН, то на первом (оборудованном) ВС информация о нем, естественно, отсутствует. TIS и является той функцией АТМ, при которой ЛПД служит для передачи РЛ-данных наблюдения с земли о координатах ВС, не имеющего оборудования АЗН. Таким образом, сообщения TIS-B дополняют сообщения АЗН и позволяют получить на экране CDTI отметку от ВС, не посылающего сообщений по ЛПД. Такая функция особенно важна в период развертывания системы АЗН, когда количество необорудованных ВС еще ощутимо велико.

# Глава 10. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАВИСИМОГО НАБЛЮДЕНИЯ

## 10.1. Типы систем

### 10.1.1. Возможные варианты построения

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 поданным 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 ширококвещательной, 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 ширококвещательного 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 ширококвещательном АЗН ВС осуществляет периодическую (до 1 сообщения в секунду) рассылку своих данных по ЛПД ширококвещательного 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 «Мага-

данаэроконтроль» оборудования FANS фирмы ARING. Однако система FANS оказалась несовместима с появившимися позднее стандартами (SARPS) ICAO контрактного АЗН на основе сети авиационной электросвязи (АТН). Настойчивые попытки компании-разработчика FANS добиться совместимости этой системы с АТН 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 ширококвещательного 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 ширококвещательный 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 аэропорту 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.

### **10.1.2. 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 ширококвещательный 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 ширококвещательные, 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 авиакомпании 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).

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

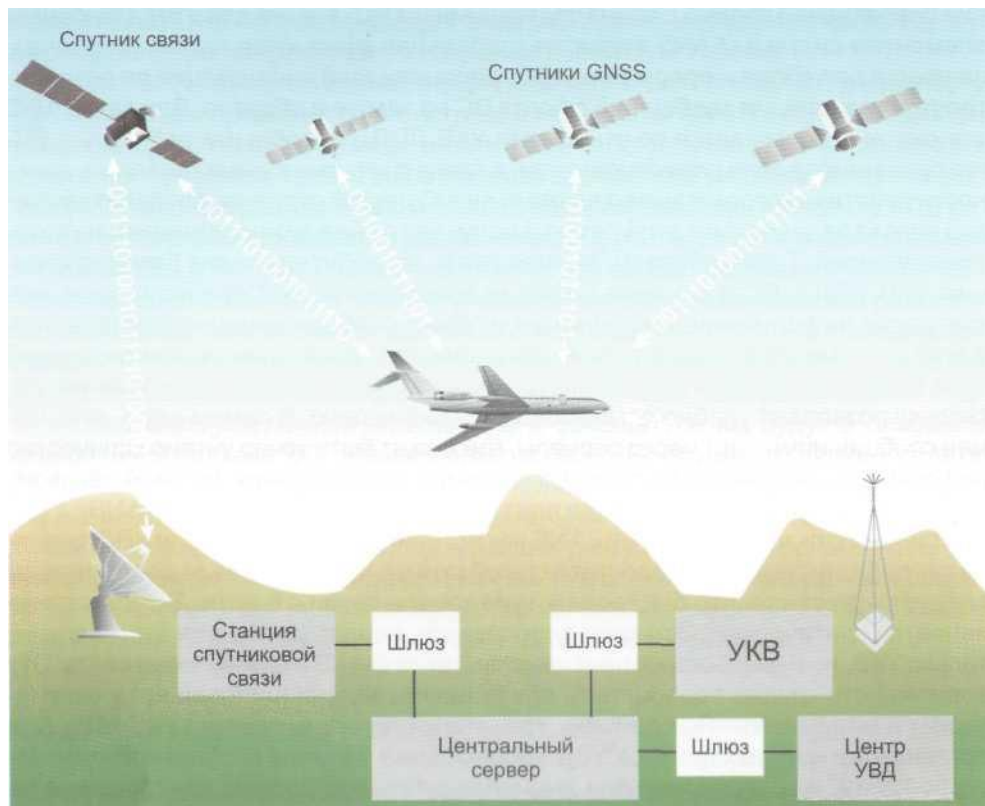


Рис. 10.1. Система FANS

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.



### 10.1.3. 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.

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. 10.2. Структурная схема транспондера АЗН-В  
Спутники GNSS

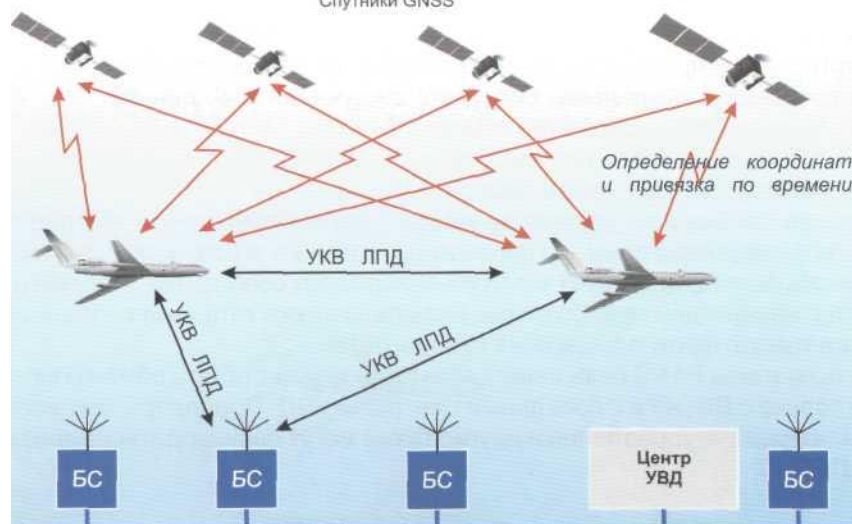


Рис. 10.3. Обмен информацией в системе АЗН-В с УКВ ЛПД режима 4

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).

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.

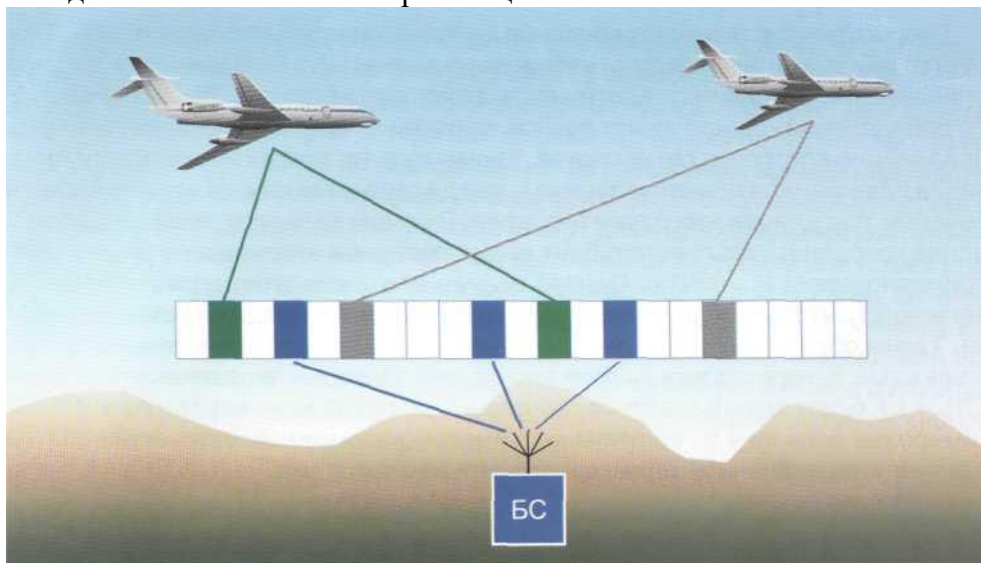


Рис 10.4. Распределение слотов в УКВ ЛПД режима 4

Для работы АЗН-В по всему миру выделяются два глобальных канала. Транс-пондеры 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).

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

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.

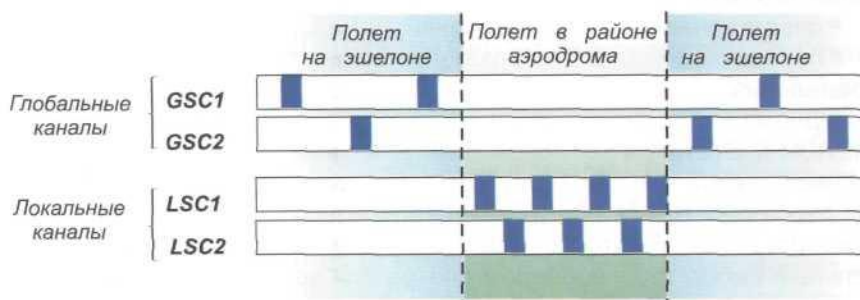


Рис. 10.5. Каналы ЛПД режима 4

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  $t_n = 8n/B$  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 ВС (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 АТN;

\*навигация ВС и снабжение пилотов информацией о воздушной обстановке;

\*служба информации о движении, а именно трансляция ВС 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 местоопределения.

Как видно из этого списка, в технологии АЗН-В предусматривается эмуляция режима АЗН-К. Это не только необходимо для совместимости с сетью АТN, 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 транс-ин тдору 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 поверхно- (п.ю В самом деле, запросить БС о доступных слотах быстрее, чем самому (обирать эту информацию. А что касается наблюдения за поверхностью, то ус-повия 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 Плизко, 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.

## 10.2. Организация АЗН-В на базе УКВ ЛПД режима 4

### 10.2.1. Суперфреймы

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 мощностей 12дБ 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 ( $t_3 = 0$ ) 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 либо будет 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.

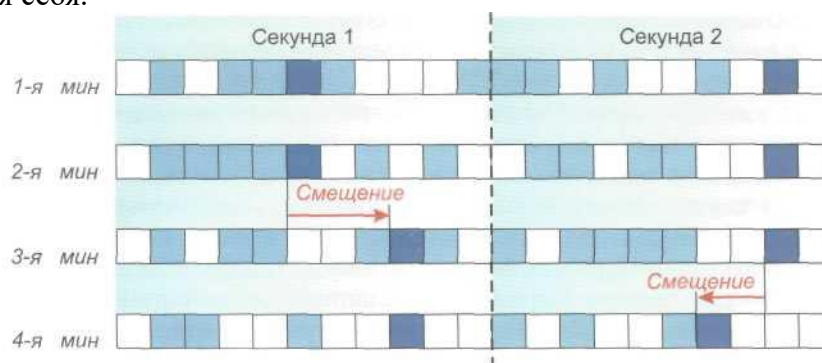


Рис. 10.6. Распределение слотов суперфреймов

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).

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.

## 10.2.2. 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

О 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 ATN 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. А 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. А 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.

### 10.2.3. 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-радиосвя-зи, 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

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

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

определяет максимальное количество ВС, при котором слотов хватает на всех. Таким образом, при  $N < N_{\max} = ST$  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. Приравнявая  $n$  из (10.2) и  $N_{\max}N$  (10.3), получаем в случае  $N > N_{\max}$  дальность действия системы  $r$ , равную

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

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.

## **10.3. Возможности автоматического зависимого наблюдения**

### **10.3.1. Использование АЗН для нужд УВД**

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.

### 10.3.2. 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. А 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 гг.):

- \*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 гг. 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 ИКАО 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

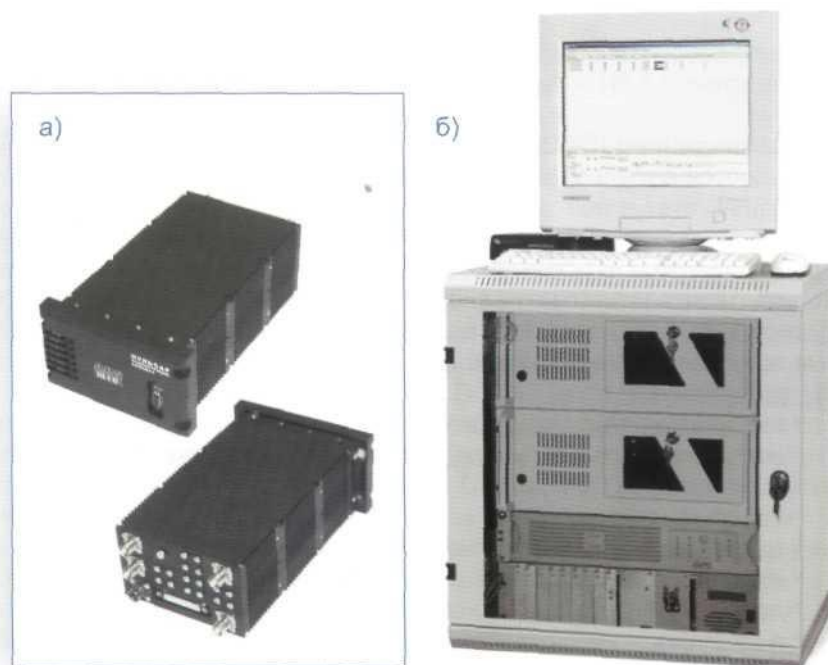


Рис. 10.7. Аппаратура АЗН: а — бортовой транспондер АЗН-В; б — базовая станция АЗН-В

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.

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.



# Глава 11. ИНТЕРФЕЙС «ДИСПЕТЧЕР—СИСТЕМА»

## 11.1. Основные положения

### 11.1.1. Требования к интерфейсу

Интерфейс, по определению, представляет собой совокупность средств и способов взаимодействия пользователя с информационной моделью, а также компонентов, обеспечивающих формирование информационной модели в процессе работы программной системы.

Под информационной моделью понимается формализованное представление проблемной области, формируемое с помощью компьютерных (визуальных и звуковых) объектов, отражающих состав и взаимодействие реальных компонентов.

Таким образом, при построении интерфейса «человек—система» нужно учитывать предметную область применения программных средств, т. е. вид решаемых задач, представление исходных данных и результатов, средства и способы ввода исходных данных, управляющих воздействий и т. д.

Некоторые теоретические сведения по проблеме графического интерфейса приведены в приложении 21.

Интерфейс АРМа диспетчера должен обладать свойствами, отвечающими технологии UCD (User—Centered Design), т. е. быть ориентированным на пользователя.

Таковыми общими свойствами являются:

- \* естественность;
- \* согласованность;
- \* дружелюбность;
- \* интерактивность;
- \* простота;
- \* гибкость;
- \* эстетическая привлекательность.

Вместе с тем очевидно, что действия оператора-диспетчера отличаются от работы обычного пользователя персонального компьютера. Интерфейс и видеомониторинг в АС УВД имеют специфические особенности.

Основные требования к интерфейсу «диспетчер — система» заключаются в предоставлении информации, необходимой для решения текущей задачи. Перечислим виды информации, которая должна отображаться на рабочем месте диспетчера управления воздушным движением. Картографическая информация. Она может включать:

- \* хемы движения воздушных судов;
- \* масштабные сетки (азимутальную, дальномерную, географическую)
- \*; географические объекты (векторные или растровые карты различной насыщенности и подробности);
- \* навигационные карты.

Информация о воздушной обстановке.

Возможно отображение двух типов исходных данных:

- \* оцифрованная аналоговая информация радиолокационных средств («сырое видео»);
- \* координатная информация о воздушных судах, прошедшая первичную, вторичную или третичную обработку от различных источников (РЛС, АЗН);
- \* Пеленгационная информация. Плановая информация.

Формы представления этой информации (сводные таблицы, списки ожидания и т. п.) могут быть различны и зависят от особенностей конкретного рабочего места диспетчера.

Информация об ограничениях в использовании воздушного пространства. К ней относятся запреты, ограничения, особые условия полетов, которые могут определяться для зоны ответственности в целом или для отдельных ее элементов.

Информация о метеорологической обстановке. Представление этой информации возможно в трех видах:

- \* графическое представление с наложением на текущую воздушную обстановку в основном или дополнительных окнах (контуры опасных метеоявлений, траектории полета радиозондов и т. п.);

\*текстовое или табличное представление в дополнительных (возможно, прозрачных или полупрозрачных) окнах (фактическая, прогнозируемая погода и т. д.);

\*графическое представление в дополнительных окнах (факсимильные карты, имитация ветровых приборов и т. п.).

Полученные от метеослужбы, метеорологических локаторов (МРЛ) и автоматизированных метеорологических комплексов (АМРК) данные отображаются следующим образом:

Данные о текущей погоде в аэропорту заносятся в таблицу, которая постоянно присутствует на экране дисплея.

\* Данные о погоде в других аэропортах, полученные в виде текстов с кодами METAR, TAF, SIGMET и SPECI, содержащие следующую информацию:

METAR о фактической погоде по аэродромам ГА и по ведомственным аэродромам;

TAF о прогнозируемой погоде по аэродромам ГА и по ведомственным аэродромам, а также о штормовых явлениях от служб аэродромов ведомственной авиации;

SIGMET — штормовое предупреждение;

SPECI — выборочное специальное сообщение о погоде на аэродроме. Эту информацию можно просмотреть в отдельном окне, где она сгруппирована по аэропортам.

\*Данные о зонах таких опасных явлений, как ливень, гроза, град, шквальный ветер, смерч, пыльный вихрь, оледенение, болтанка, и других отображаются на дисплее авиадиспетчера в виде закрашенных областей, наложенных на карту местности.

Технологическая информация.

К ней относится информация, которая предназначена для выполнения технологических операций конкретного диспетчерского пункта УВД.

Перечислим некоторые из них:

\*информация для согласования различных условий взаимодействия между смежными диспетчерскими пунктами;

\*предупреждения системы о возникновении конфликтных или особых ситуаций различного рода (сигнализация КС/ПКС, конфликт-риск дисплея и т. п.);

\*рекомендации для действий диспетчера (например, при разрешении конфликтной ситуации, обход грозы, очередность захода на посадку и т. п.).

### 11.1.2 Особенности интерфейса систем отображения

Видеомониторы современных АС УВД являются основным и универсальным средством отображения информации о воздушной обстановке. Они существенно отличаются от средств отображения динамической, плановой, метео и других видов информации, применявшихся ранее, таких как индикаторы кругового обзора, совмещенные индикаторы воздушной обстановки, таблично-знаковые индикаторы, световые и диапозитивные табло и пр.

Для использования широких возможностей, предоставляемых современными дисплеями, необходимо решить ряд принципиальных проблем. Рассматривая взаимодействие оператора с системой, следует сосредоточить внимание на конкретных особенностях интерфейса, требованиях к системам отображения ВО и управления ими, т. е. в той практической области, где получен ряд полезных и оригинальных решений, соответствующих требованиям международных стандартов.

Отметим главные, существенные особенности интерфейса АС УВД нового поколения.

Многооконный интерфейс.

Отметим такие важные и перспективные варианты многооконного интерфейса, как полупрозрачные окна. Это иллюстрируется рис. 11.1 и 11.2.

Совмещенное отображение, построенное на новой идеологии поливариантного погружения в синтезируемую управляемую картину ВО с выделением значимых фрагментов.

Отображение плановой информации, как символьное, так и графическое, и управление им.

Окна планов полетов, а также окна метеоинформации (с учетом изменений плана полета, в том числе и связанных, например, с уходом на запасной аэропорт).

Большая насыщенность экрана, связанная с возможностью отображения множества элементов и деталей изображений, высокой разрешающей способностью, и используемых палитр.

Мощная картография, использующая базы данных (Jeppesen и др.), средства проецирования и привязки.

Использование нелинейных шкал и масштабов, обеспечивающих удобство и повышающее точность отсчета. В качестве примера на рис. 11.3 приведен вид экрана видеомонитора посадочного

локатора. Картинка аналогична той, что изображалась на традиционных прямоугольных индикаторах с разверткой угол-дальность.



Рис. 11.1. Многооконный интерфейс

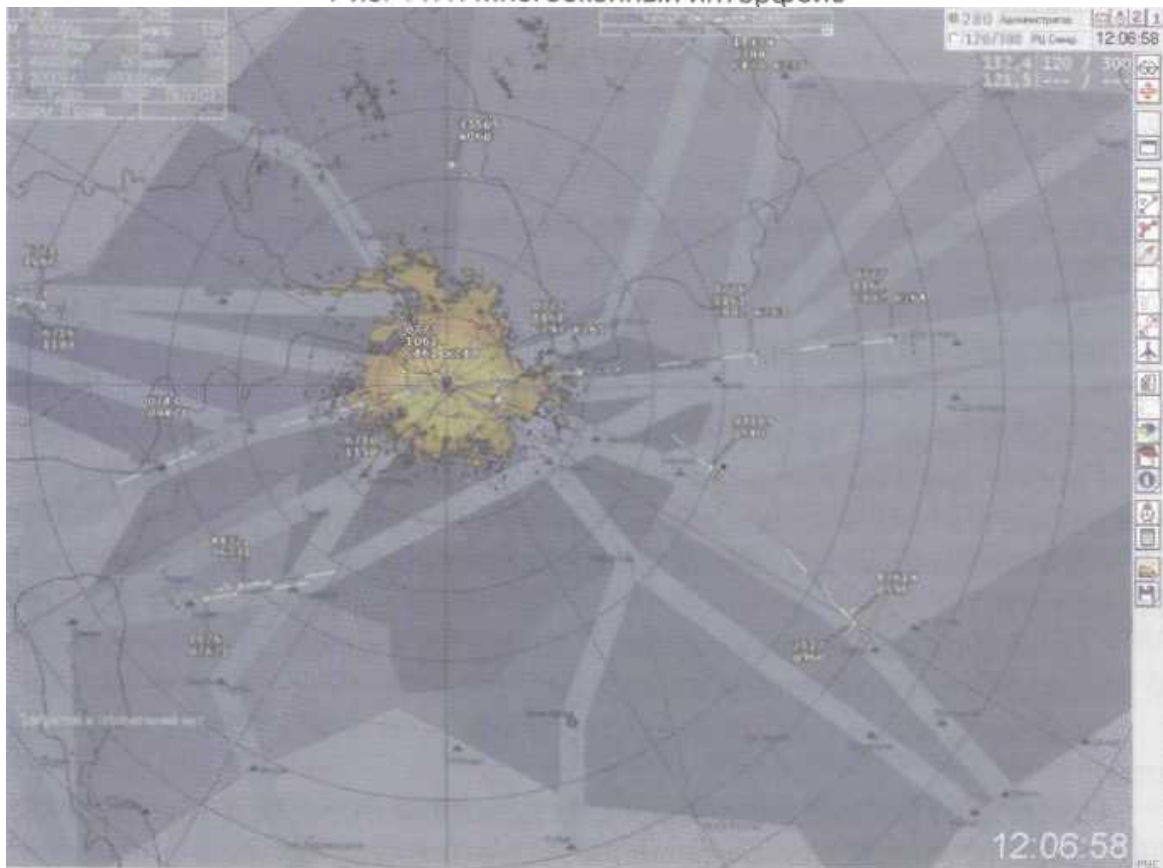


Рис. 11.2. Применение полупрозрачных окон

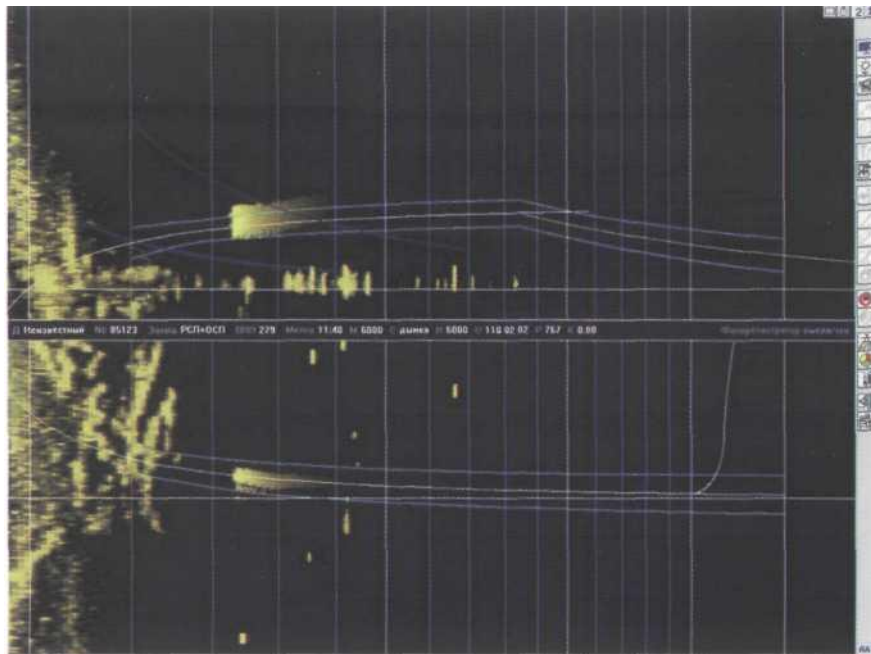


Рис. 11.3. Вид экрана посадочного радиолокатора

Удаление (дальность) отображается в логарифмическом или экспоненциальном масштабе. Качество изображения при этом значительно повышается.

Перспективным направлением развития систем отображения считается представление информации о ДВО в 3Д режиме.

## 11.2. Отображение графической информации

### 11.2.1. Принципы построения изображений

Основные принципы сводятся к следующему:

- \* построение на интуитивно понятных элементах; для выбора элементов используются графические символы (пиктограммы);

- \* применение насыщенных цветов, выбираемых из наиболее «благоприятных» палитр; каскадное размещение информации и функций (вложение одних в другие) и упорядочение по степени важности;

- \* индивидуальная настройка интерфейса под конкретного оператора (диспетчера);

- \* защита от несанкционированных действий с соответствующей индикацией (например,

- \* тонированием символов и знаков недоступной для редактирования информации);

- \* встроенная помощь по функциям системы (HELP);

- \* сохранение (фиксация) пользовательских установок (подложки, окон и т. д.).

Специфика интерфейса «диспетчер — система» применительно к задаче управления воздушным движением заключается в обеспечении диспетчера в данный момент времени минимальным составом информации, достаточным для решения текущей задачи УВД.

Для удовлетворения этим требованиям интерфейс «диспетчер — система» должен обладать следующими свойствами:

- отображать минимальное количество информации, необходимой диспетчеру для текущего УВД (устранять избыточность);

- \* обращение к дополнительной/расширенной информации должно осуществляться по требованию диспетчера просто и быстро;

- \* автоматическое удаление информации, которая больше не представляет интереса для диспетчера;

- \* использование контрастных цветов для выделения «горячей» информации;

- возможность совмещенного вывода информации разного типа и вида на одном дисплее;

- \* использование многооконного режима работы.

## 11.2.2. Конструкция изображений

Конструирование интерфейса «диспетчер — система» основано на нижеследующей технологии.

Послойное построение отображаемой информации.

Вся информация, предназначенная для вывода на экран, группируется по общим признакам. Каждой информационной группе присваивается приоритет, определяющий очередность вывода на экран исходя из важности этой группы для диспетчера. В результате конечная картинка на экране представляет собой «слоеный пирог», в котором наиболее важные элементы находятся на переднем плане. В зависимости от категории решаемой задачи в данный момент времени построение конечной картинки осуществляется только теми информационными слоями, которые необходимы для решения этой задачи (представление о виде экрана дает рис. 11.4).

Одна из важных функций при построении конечной картинки состоит в возможности оперативной регулировки контрастности каждого из информационных слоев. Контрастность может регулироваться как вручную (настройка диспетчера), так и автоматически, например: функция подсветки «соприкасающихся» воздушных судов (ВС), при реализации которой контрастно обозначаются анализируемое ВС и все ВС, находящиеся на ближайших эшелонах по пути следования, в то время как остальные информационные слои при этом имеют минимальную контрастность.

Определение контрастности цвета для информационного слоя.

При формировании информационного слоя цвет объектов выбирается в зависимости от характера данных, которые он представляет. Чем важнее данные, тем более контрастным должен быть цвет. Например, для отображения схем движения ВС (картографии и т.п.) нужно выбирать цвета, контрастность которых минимальна, так как эта информация статическая и имеет уведомительный характер.

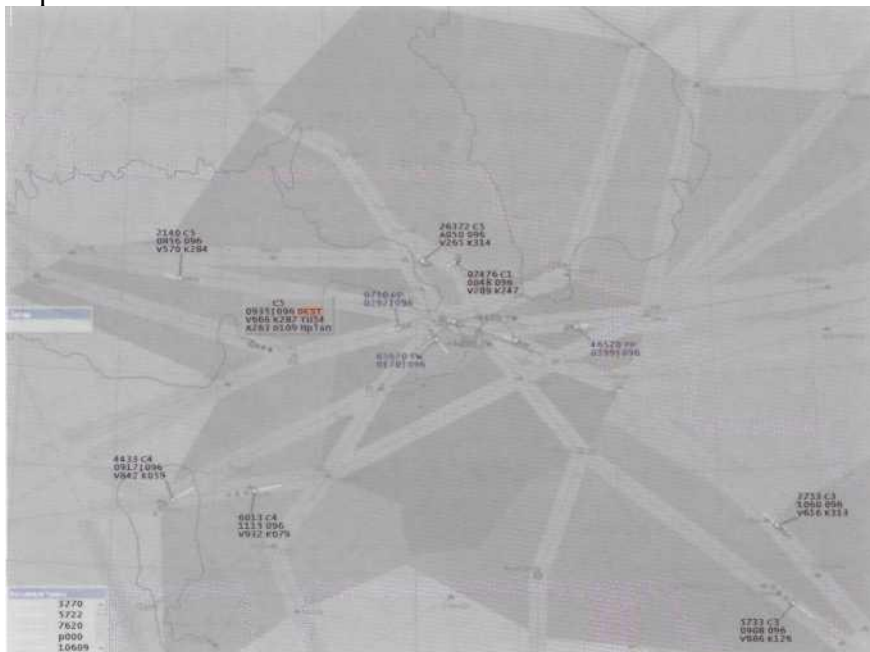


Рис. 11.4. Пример комбинированного отображения информации

Применение технологии прозрачных/полупрозрачных окон.

Приоритетной и важной на экране является информация о текущей воздушной обстановке. Чем больше пространства для ее отображения, тем больше удобств для ее восприятия. Но кроме информации о текущей воздушной обстановке необходимо располагать на одном экране дополнительную (вспомогательную) информацию (например, плановую).

Для вывода дополнительной информации рекомендуется технология прозрачных или полупрозрачных окон, которые позволяют использовать «драгоценное» экранное место для совмещенного отображения.

Принцип «легального перекрытия».

Для некоторых функций системы, таких как настройка параметров отображения, вывод дополнительной (справочной) информации и т. п., разрешается использование перекрывающих (непрозрачных) окон. При этом важно соблюдать некоторые правила:

\* появление (открытие) окон должно осуществляться только по требованию диспетчера («легальное перекрытие»);

\* возможность изменения положения окна на экране; запоминание последнего положения; быстрая процедура закрытия окна.

## 11.3. Управление системой отображения

### 11.3.1. Функции управления

Следующие основные функции управления изображением являются необходимым инструментарием оператора:

\* регулировка степени насыщенности экрана;

\* плавная регулировка яркости (ее уровней) изображений элементов; <sup>s</sup> плавное изменение масштаба, смещение «центра» изображения;

\* масштабирование текстовых фрагментов;

\* оперативное нанесение графических элементов.

Все оперативные действия выполняются с помощью «мыши» (или «трекбола») и визуализируются непосредственно на экране. Используются также «горячие» клавиши и средства сигнализации.

Рассмотрим реализацию функций управления, которые позволяют работать диспетчеру в интерактивном режиме.

### 11.3.2. Устройства ввода

Для ввода информации и управления системой используются устройства ввода. Выбор определенных устройств, обладающих рядом спецфункций, позволяет оптимизировать действия диспетчера. Перечислим некоторые из них.

Манипулятор типа «мышь», или «трекбол».

Это устройство является основным средством для управления современными системами. Рекомендуется использовать трехкнопочные устройства. За каждой кнопкой должна быть закреплена определенная функциональность. Перечислим функциональность кнопок, предложенную Евроконтролем:

\* левая кнопка — выбор или активизация;

\* правая кнопка — свойства объекта, информация;

\* средняя кнопка — управление окном (перемещение).

Если применить устройство, в котором вместо средней кнопки установлен ролик, функциональность средней кнопки можно расширить, добавив ряд операций (масштабирование, прокрутка).

При конфигурации рабочего места диспетчера несколькими мониторами в целях дублирования или распараллеливания информации управление всеми мониторами осуществляется единым комплексом устройств по принципу передачи «фокуса» активной подсистеме.

Стандартная клавиатура.

Роль стандартной клавиатуры в современных системах минимальна. Вся текстовая информация подготавливается и вводится в систему предварительно. Тем не менее на рабочем месте клавиатура присутствует. Используется она для ввода текстовых или числовых данных, организация шаблонов и списков для которых затруднительна, а также для быстрого вызова некоторых функций («горячие» клавиши).

Специальные устройства.

Функциональный ряд системы можно разделить на три категории: оперативные, периодические (часто повторяющиеся) и неоперативные функции.

Для реализации оперативных и периодических функций (задание эшелона, передача управления, изменение вида формуляров, подсветка плановой траектории и т. д.) используются спецустройства, которые позволяют организовать прямой вызов этих функций или обеспечить быстрый ввод данных. К таким устройствам относятся нижеследующие.

Спецклавиатуры. Устройства с клавишами, сгруппированными по типам реализуемых функций. Порядок использования этих устройств может отличаться от реализации соответствующих

функций через альтернативные устройства. Количество функций, реализуемых ими, ограничено размерами рабочей площади АРМа диспетчера.

Многорезимные устройства на базе мониторов с сенсорным покрытием (Touchscreen). Возможности этих устройств позволяют расширить применение прямых вызовов функций, не увеличивая размеры занимаемой площади, а также предоставить некоторую информацию в расширенном виде.

Устройства распознавания речи. В настоящее время ведутся плановые работы по использованию устройств распознавания речи в АС УВД. Их применение пока затруднено из-за высокого процента ошибок и необходимости настройки под конкретного оператора.



**РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ**  
**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**  
**ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ**

## Глава 12. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЦЕНТРОВ УВД

### 12.1. Комплексная автоматизация и развитие центров УВД

#### 12.1.1. Место и роль центров в системе обеспечения воздушного движения

Сложившаяся к настоящему времени структура системы обеспечения воздушного движения (ОВД), включающая органы ЕС ОрВД, решает задачи организации и обслуживания воздушного движения в воздушном пространстве Российской Федерации. Система имеет иерархическую структуру.

На верхнем, государственном уровне находится Департамент государственного регулирования организации воздушного движения Государственной службы ГА Министерства транспорта РФ (ДГР ОрВД ГС ГА Министерства транспорта России).

Непосредственно задачами организации и планирования использования ВП занимается Главный центр планирования полетов воздушного движения (ГЦ ППВД), входящий в Федеральное унитарное предприятие (ФУП) «Госкорпорация по ОВД», которая и составляет следующий уровень системы. Далее по подчиненности следуют Государственные унитарные дочерние предприятия (ГУДП) «Аэроконтроль» (по регионам), в которые входят зональные и районные центры УВД (ЗЦ и РЦ УВД) и аэродромные диспетчерские пункты (АДП), составляющие вместе с военными секторами Единую систему организации воздушного движения (ЕС ОрВД РФ).

Структура ЕС ОрВД развивается и совершенствуется. При этом учитываются как мировые тенденции развития системы CNS/ATM, так и особенности России.

В настоящее время структура районов управления центров УВД в России, как правило, ориентирована на зону действия первичных и вторичных радиолокаторов, установленных непосредственно в этих центрах. Исключения два: Московский и Ростовский центры УВД. Процесс укрупнения центров является естественным — это общемировая тенденция (Центр Евроконтроля, Австралийский центр УВД, Ирландский центр и т. п.). Идеология укрупнения состоит в том, чтобы на каждом территориальном образовании (Тюменская область, Новосибирская, Магаданская и т. д.) создать единый центр управления в верхнем воздушном пространстве. При этом в аэропортах останутся только аэродромные центры УВД, организованные по принципу «высокое КДП» с зоной управления Круг, Посадка, Старт, Руление (иногда Подход).

Достоинства такого решения состоят в нижеследующем.

Открываются возможности создания более рациональной структуры воздушного пространства (сегодня этому мешают «границы» отдельных зон управления).

Снижаются эксплуатационные расходы за счет:

- \*уменьшения количества диспетчеров (путем укрупнения секторов, сокращения общего резерва);

- \*уменьшения численности командно-руководящего состава;

- \*уменьшения финансовых структур и обслуживающих работников;

- \*сокращения затрат на профподготовку (путем поездок в центральные УТЦ);

- \*снижения общих энергетических затрат (причем в удаленных районах, где обеспечение электроэнергией наиболее проблематично).

- \*Уменьшаются затраты не только на заработную плату, но и на поддержание социальной сферы, снижается потребность в производственных помещениях.

- \*Повышается оперативность хозяйственного и организационного управления.

- \*Улучшаются условия труда и быта специалистов системы УВД, отпадает необходимость их доставки в удаленные РЦ или организации мест их постоянного или временного проживания в малопригодных для обитания местностях. Это обстоятельство особенно важно для районов Севера и Восточной Сибири, где для обеспечения современного уровня комфорта требуются значительные затраты.

Процесс создания объединенных центров имеет и свои недостатки.

Резко повышаются потребности в качественных каналах связи для передачи координатной (локационной, АЗН), пеленгационной, диагностической и управляющей информации, для удаленного управления приемопередающими центрами (УКВ, КВ). Причем требуется, как минимум, дублирование каналов на физическом уровне. В противном случае снижается надежность управления и обеспечения УВД.

- \* Возрастают затраты на организацию и содержание каналов связи.

\*В едином центре необходим более высокий уровень автоматизации, чем в отдельных центрах.

\*Сокращение количества персонала может вносить дополнительную социальную напряженность

### 12.1.2. Концепция модернизации ЕС ОрВД

Принципы модернизации системы воздушного движения Российской Федерации базируются на требованиях удовлетворения существующих в настоящее время и будущих потребностей пользователей в рамках концепции развития системы АТМ в масштабах всего мира и в Европе. Основные цели развития таковы:

\*увеличение пропускной способности системы;

\*повышение безопасности;

\*повышение производительности работы персонала при улучшении условий труда

Модернизация систем ОВД сопровождается реорганизацией географической структуры районов УВД (укрупнением центров ЕС ОрВД). Внедрение новых средств наблюдения, связи, автоматизации должно обеспечить рационализацию этой структуры. Более ста существующих в настоящее время районных центров, обеспечивающих контроль по всей территории России, будут постепенно объединяться по мере модернизации оборудования. В дальнейшем в России останется, по-видимому, не более 25 районов FIR. В каждом районе FIR будут существовать:

\* один РЦ, связанный со всеми своими средствами управления (РЛС, станции связи и т. д.), размещенными на территории района;

\* аэродромные центры, несущие ответственность за один или несколько аэродромов.

Развитие средств УВД будет опираться на модернизацию традиционных технических средств, проводимую параллельно с разработкой и вводом новой техники. Центральный регион: Европейская часть. Регион характеризуется высокой интенсивностью воздушного движения как на международных трассах, так и на внутренних. УВД в этом регионе будет обеспечиваться при использовании традиционных средств наблюдения (ВРЛ, ПРЛ, АРП, ГО), голосовой радиосвязи и цифровой (VHF).

Эти средства будут применяться следующим образом:

моноимпульсный двухстандартный ВРЛ для контроля ВС, выполняющих международные рейсы, и в зонах международных аэродромов;

одностандартный, а затем и двухстандартный ВРЛ для контроля ВС, выполняющих внутренние рейсы, и в зонах внутренних аэродромов;

ПРЛ для контроля в зоне подхода к гражданским аэродромам; <sup>s</sup> ПРЛ для контроля полетов по маршрутам;

\* позиции АРП и ГО, дополняющие РЛ;

\* радиостанция VHF (с цифровыми каналами) и UHF для передачи голосовых сообщений и цифровые каналы связи с РЦ и АДЦ международных аэродромов.

Цифровые каналы ОБЧ (VHF) на первом этапе могут служить для связи с ВС, оснащенными существующими бортовыми электронными системами типа ACARS, а в дальнейшем — системами типа AVPAC (в соответствии со стандартами сети авиационной телесвязи АТН) Переход с одной системы на другую может обеспечиваться совместными цифровыми станциями ACARS/AVPAC,

радиостанции VHF (аналоговые) для голосовой связи с ВС, выполняющими внутренние рейсы.

Указанные выше традиционные средства кооперативного независимого наблюдения (CIS) в дальнейшем будут дополняться системой АЗН (ADS). Она будет эксплуатироваться в качестве резервной вспомогательной системы в верхнем пространстве, а также как дополнительное средство наблюдения в нижнем пространстве.

Восточный регион: Юго-Восточная часть Азии. Для этого региона характерна средняя интенсивность воздушного движения, однако объем внутренних рейсов может стать значительным. Контроль УВД в регионе будет основываться на концепции комбинированного наблюдения РЛ/АЗН.

Предполагается, что международное воздушное движение будет контролироваться, как правило, посредством АЗН, что же касается внутренних полетов, то они останутся под контролем традиционных средств (РЛ).

В воздушном пространстве могут находиться три категории пользователей: ВС, контролируемые АЗН; ВС, контролируемые РЛ; неконтролируемые ВС.

Для выполнения полетов по трассам эти категории ВС будут использовать разделенные по высоте слои трассового воздушного пространства. Предполагается, что в дальнейшем все РЦ региона будут оснащены спутниковыми станциями связи AMSS. В регионе будут использоваться традиционные средства контроля.

Сибирский регион: Северная часть Азии. Этот регион характеризуется средней, но имеющей отчетливую тенденцию к росту интенсивностью международного воздушного движения и малым объемом внутреннего сообщения.

В дальнейшем трассовый контроль в этом регионе будет обеспечен за счет АЗН в сочетании со средствами голосовой и цифровой связи VHF. При необходимости могут использоваться радиолокационные средства (там, где они существуют). РЛ поле (ПРЛ/ВРЛ) будет сохранено в аэродромных зонах. Кроме того, в районе следует сохранить и пополнить поле ПРЛ, АРП и ГО.

Переход от существующей в настоящее время системы наблюдения, основывающейся главным образом на первичных РЛ, на перспективную систему АЗН может осуществляться по мере оснащения бортов.

На переходной фазе будут обслуживаться одновременно три категории пользователей.

В дальнейшем целесообразно оснащение всех центров спутниковыми станциями AMSS.

Более полное и подробное рассмотрение задач модернизации и развития центров УВД требует проведения дальнейшего анализа. Вместе с тем из вышеизложенного следует, что проблема модернизации и развития системы ОВД имеет характер комплексной, так как состоит из множества взаимосвязанных задач.

### 12.1.3. Оборудование объединенных центров управления полетами

Рост интенсивности потоков высокоскоростных ВС, с одной стороны, а с другой — протяженность территории и особенности географического положения России диктуют необходимость укрупнения центров УВД и создание, как их принято называть, объединенных центров управления полетами (ЦУП). При этом преследуются следующие цели:

достижение мирового уровня безопасности ВД в соответствии с рекомендациями ИКАО и концепцией CNS/ATM;

\* обеспечение гибкости системы ОВД, позволяющей ей развиваться и адаптироваться к изменяющимся условиям и потребностям пользователей ВП;

\* повышение технико-экономической эффективности системы ОВД за счет снижения эксплуатационных расходов при повышении уровня безопасности УВД.

Поставленные цели достигаются за счет применения высоких информационных технологий и современных технических средств связи, наблюдения и навигации. С их помощью обеспечиваются высокая надежность и достоверность больших объемов обрабатываемой и передаваемой информации. Все это в свою очередь приводит к уменьшению загрузки диспетчеров, так как снижает риск несвоевременного обнаружения КС или неправильного их разрешения.

В конечном счете открываются возможности совершенствования структуры ЕС ОрВД, сокращения количества РЦ (ВРЦ), уменьшения числа секторов управления и упрощения их конфигурации.

Из сказанного следует, что создание объединенных ЦУП требует решения целого комплекса организационно-технических проблем, наиболее важная из которых — обеспечение их новыми средствами РТОП и авиационной связи.

Сенсоры. В качестве источников информации о возможной обстановке, поступающей в ЦУП, должны использоваться высокоинформативные современные сенсоры. К ним относятся:

\* первичные обзорные трассовые радиолокаторы;

\* моноимпульсные вторичные радиолокаторы;

\* автоматические радиопеленгаторы (АРП);

\* транспондеры системы автоматического зависимого наблюдения (АЗН-В).

Количество радиолокационных позиций и их расположение обеспечивают перекрытие и мультисенсорную обработку информации. Включение в состав радиолокационных комплексов первичных ОРЛ-Т позволяет существенно повысить характеристики надежности (непрерывность,

целостность, готовность и др.) при отказах бортового оборудования ВС (самолетных ответчиков и транс-пондеров АЗН-В), а также при обслуживании необорудованных ЛА.

Авиационная фиксированная электросвязь. Фиксированная авиационная связь используется для передачи в ЦУП радиолокационной информации и данных о состоянии и режимах работы РТОП, а также для посылки команд управления на радиолокационные позиции и прямой речевой связи. Для этих целей используются арендованные каналы связи, аренда соединительных линий для подключения к магистральным каналам связи, цифровые линии передачи данных и земные станции спутниковой связи.

Авиационная подвижная связь ОВЧ-диапазона. При создании ЦУП возникает необходимость централизованного управления всеми ОВЧ-приемопередатчиками, установленными на РЛ-позициях, и объединения их работы на одной частоте для создания единого ОВЧ-поля. Для реализации этих потребностей внедряются принципиально новые технические решения. К ним следует отнести установку на РЛ-позициях совмещенных унифицированных автоматизированных приемопередающих центров со встроенными наземными комплексами передачи данных.

Примером является комплекс «Рубин», работающий в протоколе ACARS в соответствии с международными рекомендациями ARINC 618 и 622 для при-емопередачи сообщений по каналу борт-земля в интересах УВД и авиакомпаний (режимы АЗН, CPDLC и др.). Внедрение этих комплексов, как показывают расчеты, дает значительную выгоду из-за снижения эксплуатационных расходов при большом ресурсе и высоких технических характеристиках.

Состав оборудования ЦУП. Собственно оборудование ЦУП разделяется на следующие сегменты:

- \*гражданский сегмент УВД;
- \*сегмент УВД ВА;
- \*сегмент планирования полетов и ИВП.

Оборудование сегментов УВД включает серверы и АРМы диспетчеров (по числу секторов управления и, кроме того, резервные), которые объединены в локальные сети. Сюда же входят АРМ РП (районов и аэродромов), АРМ инженера и групповое оборудование, система речевой связи, средства документирования, тренировочный модуль, вспомогательное оборудование.

Интерфейс осуществляется устройствами сопряжения с ЛПД, связывающими ЦУП с РЛ-позициями и линиями связи с внешними источниками-потребителями информации.

Сбор, обработка информации, ее преобразование, реализация функций поддержки принятия решений и управление отображением выполняются подсистемами, входящими в АС УВД, которая представляет собой вычислительное ядро объединенного ЦУП.

Высокий уровень надежности и безопасности полетов обеспечивается сочетанием ряда факторов. К ним относятся высокая информативность источников информации и их рациональное сочетание, совершенство алгоритмов обработки данных, наглядное и качественное представление информации о возможной обстановке и организация помощи диспетчеру в принятии решений.

## 12.2. Типовая аэродромно-районная АС УВД

### 12.2.1. Требования к АС УВД и ее основные характеристики

В последнее десятилетие ядром оборудования центров УВД стали автоматизированные системы и КСА УВД (см. приложение 22). По сложившейся классификации они разделились на аэродромные, районные и аэроузловые. Современная автоматизированная система управления воздушным движением (АС УВД) является информационно-вычислительной системой (ИВС) сетевого типа. Одним из важнейших свойств таких систем является их открытость. Под открытостью в широком смысле здесь понимается свойство адаптируемости системы к конкретным условиям эксплуатации, возможность расширения как состава технических средств, в нее входящих, так и ее функций. В связи с этим появилась возможность принять в качестве базовой аэродромно-районную систему (АРАС УВД), которая в зависимости от конкретных условий может быть реконфигурирована как в районную, так и в аэродромную систему.

АРАС предназначена для обеспечения безопасности, повышения экономичности и регулярности полетов авиации различных ведомств в районе аэродрома, на воздушных трассах и во внетрассовом воздушном пространстве путем автоматизации процессов текущего планирования, сбора, обработки и отображения радиолокационной информации (в перспективе информации, полученной по каналам АЗН) и метеоинформации.

В соответствии со своим назначением такие системы должны решать следующие основные задачи:

- \*прием, обработка и отображение информации, в том числе радиолокационной, радиопеленгаторной, плановой, аэронавигационной, справочной и вспомогательной, а также данных о техническом состоянии и режимах работы оборудования, периферийных объектов и каналов передачи данных;

- \*передача информации внешним пользователям по каналам сети АНС ПД и ТС;

- \*обеспечение взаимодействия с периферийными объектами, со смежными АС и комплексами УВД, метеорологическими комплексами и системами, а также с объектами и системами технологического взаимодействия органов ЕС ОрВД (службы аэропортов, авиакомпании, военные секторы и КП, органы УВД района или аэроузла, органы УВД смежных зон или центров УВД и др.);

- \* обеспечение обучения и тренировки диспетчерского состава;

- \*осуществление контроля и управление за техническим состоянием оборудования системы;

- \*документирование и воспроизведение различных видов информации;

- \*информационная поддержка расчетов по сборам за аэронавигационное обслуживание (АНО).

Технико-эксплуатационными требованиями к характеристикам типовой АРАС являются следующие:

АРАС должна обеспечивать решение задач управления и обеспечения воздушного движения в зонах ответственности центра УВД; объем контролируемого воздушного пространства составляет по высоте от 0 до 20 000 м, в плане — до 2000 x 2000 км;

- \*непрерывный радиолокационный контроль за движением ВС в пределах зон видимости РЛС;

- \*автоматическое сопровождение ВС в пределах зон обзора РЛК по данным, поступающим от АПОИ ПРЛ, ВРЛ, ПРЛ+ВРЛ (режимы УВД России и ИКАО), а также экстраполяция движения ВС;

- \* максимальное количество сообщений о целях (отметках), получаемых за период обновления информации от всех РЛК, должно быть не менее 1000;

- \* максимальное количество одновременно сопровождаемых третичных треков ВС по сигналам ПРЛ, ВРЛ, ПРЛ+ВРЛ должно быть не менее 300;

- \* прием, хранение, обработка планов воздушного движения и отдельных формализованных сообщений о плановой информации по стандартам ИКАО и России;

- \* управление командной и внутрипортовой радиосвязью, средствами обеспечения речевой телефонной связью и взаимодействие с внешними сетями и системами речевой связи;

- \* взаимодействие с объектами ЦКС сети АНС ПД и ТС, ЦКС сети АСПД, смежных АС и комплексами УВД и АС ПВД ЗЦ (ПВД ГЦ);

- \* синхронизация всех систем и оборудования, а также внешних потребителей с погрешностью не более 0,01 с;

- \* передача информации и данных с радиолокационных и радиопеленгаторных позиций, от радиосвязных приемопередающих центров по каналам (линиям) связи (радиоканалы, физические линии, магистральные каналы связи и др.) в центр УВД, а также обмен данными между центрами УВД в многоканальном режиме.

Уровень надежности оборудования, входящего в состав АРАС, характеризуется следующими показателями: наработка на отказ — не хуже 6000 ч, коэффициент готовности не менее 0,9999.

В перспективных АРАС УВД должна обеспечиваться возможность их наращивания и сопряжения с системами автоматического независимого наблюдения (АЗН) и цифровыми линиями передачи данных.(ЦЛПД).

В АРАС как в открытой системе должна обеспечиваться возможность корректировки и отладки параметров подсистемы планирования, настраиваемых параметров картографической информации при ее адаптации к конкретной зоне УВД, а также в процессе эксплуатации.

### 12.2.2. Структура и состав системы

Структуру автоматизированной системы рассмотрим на примере АРАС УВД «Альфа». В ее состав входят следующие подсистемы (рис. 12.1):

- \*подсистема обработки и отображения информации — комплекс средств автоматизации УВД (КСАУВД) «Альфа»;



Рис. 12.1. Структура типовой АРАС УВД

подсистема связи и передачи данных при взаимодействии с источниками информации и смежными (периферийными) системами и центрами УВД — комплекс средств передачи радиолокационной, пеленгационной, речевой и управляющей информации «Ладога»;

\*подсистема обеспечения метеорологической информацией;

\*подсистема обработки плановой и аэронавигационной информации, или комплекс средств автоматизации ПВД (КСА ПВД) «Планета»;

\*подсистема синхронизации — система точного времени «Метроном»;

система коммутации речевой связи (СКРС) «Мегафон»;

\*подсистема отображения справочной и вспомогательной информации;

\*подсистема документирования радиолокационной, речевой информации и данных об ИВП — магнитофон «Гранит»;

\*подсистема обучения и тренировки специалистов УВД — комплексной диспетчерский тренажер «Эксперт»;

\*пультное оборудование для организации автоматизированных рабочих мест (АРМ) специалистов УВД и технического персонала универсальных пультов серии «Пульт-А».

В перспективную АРАС входит также подсистема автоматического независимого наблюдения в вещательном диапазоне (АЗН-В), включая транспондер и линию передачи данных (ЛПД) режима 4.

Конструкция системы позволяет наращивать количество других источников информации (в том числе удаленных), таких как трассовые и аэродромные РЛК, первичные ОРЛ-Т, ВОРЛ, ПРЛ и АРП.

Система имеет модульную структуру. Аппаратная часть модулей, составляющих АРАС, выполнена на основе стандартных вычислительных средств,

средств отображения, бесперебойного питания, ввода-вывода, сетевого и коммутационного оборудования массового промышленного производства.

АРАС обеспечивается аппаратурой технического управления и эффективными средствами контроля работоспособности модулей и элементов системы. В ней предусмотрено автоматическое переключение с отказавших функциональных элементов на резервные. Тестовый аппаратный контроль и диагностика охватывают все технические устройства.

В АРАС как в информационно-вычислительной системе сетевого типа постоянная информация и программное обеспечение комплексов и подсистем защищены от несанкционированного доступа. При передаче информации используются средства защиты от ошибок. Функционирование АРАС в целом, а также ее комплексов и технических средств защищено от ошибочных действий операторов.

По составу, структуре и своим характеристикам рассмотренная выше система соответствует зарубежным аналогам, некоторые характеристики которых приведены в приложениях 23 и 24.



## 12.3. Синхронизация времени в системах УВД

### 12.3.1. Единое системное время

Оперативное управление воздушным движением является задачей реального времени. Практически все процедуры УВД фиксированы во времени, и требование синхронизации действий смежных центров УВД, служб одного центра и отдельных диспетчеров приводит к необходимости привязки к единой шкале времени. Широкое распространение автоматизированных средств УВД на базе быстродействующих ЭВМ обеспечивает высокую точность этой привязки. Все автоматизированные рабочие места современной АС УВД должны быть синхронизированы как между собой, так и с системами планирования, регистрации, связи и другими комплексами аэродромного оборудования, а также с автоматизированными системами других центров УВД.

Обычно задача синхронизации системного времени с общемировым решается специально выделенным, отдельным компьютером, называемым временным сервером. По нему, в свою очередь, синхронизируются другие компьютеры аэропорта. Как правило, каналом такой синхронизации служит локальная вычислительная сеть (ЛВС), однако возможна связь и по другим интерфейсам, например через последовательный порт. Для повышения надежности временной сервер и каналы связи с ним потребителей его сигналов могут быть дублированы.

Таким образом, основной проблемой является синхронизация временного сервера с мировым временем. Для решения этой задачи в СССР были выделены специализированные радиоканалы, на которых постоянно транслировались сигналы точного времени. Для синхронизации времени по сигналам на этих каналах выпускалась специальная аппаратура, подстройка которой производилась вручную. Так, по нажатию кнопки на ленте с миллиметровыми делениями про-печатывались, с одной стороны, отметки внутреннего стандарта частоты, а с другой — моменты нарастания сигнала на выходе радиоприемника. Затем оператор по несовпадению этих отметок вычислял расхождение внутреннего и мирового времени и вручную вводил поправку в аппаратуру. В последних образцах систем подобного рода этот процесс был автоматизирован.

В начале 80-х годов в связи с вводом в действие спутниковых навигационных систем второго поколения NAVSTAR и ГЛОНАСС появился альтернативный канал синхронизации времени по радиосигналам. В самом деле, принцип действия дальномерной спутниковой навигационной системы предполагает рассылку сигналов точного времени, по задержкам которых определяются псевдодальности от потребителя до навигационных спутников. Затем внутренний процессор приемника спутниковой навигационной системы (GNSS-приемника) вычисляет по псевдодальностям координаты и, получив истинные дальности, учитывает задержку при распространении сигнала от спутника до приемника, получая таким образом привязку ко времени с очень высокой точностью ( $\sigma = 200$  нс). Этот процесс значительно упрощается, а точность повышается, если временной сервер установлен стационарно. В этом случае навигационный приемник переводится в режим «время на твердой точке», в котором его координаты считаются точно известными и неизменными. Тогда задержка сигнала вычисляется сразу же по получении сигнала от спутника и немедленно учитывается без внесения погрешности из-за неточности определения координат.

Таким образом, дополнительной функцией является предоставление потребителям непрерывной и высокоточной привязки к единой шкале времени в любой точке пространства. В связи с этим использование GNSS-приемника в настоящее время является самым употребительным способом синхронизации. Примером такого использования служит система «Метроном», входящая в состав системы УВД «Альфа».

### 12.3.2. Синхронизация временного сервера поданным GNSS-приемника

Внешний интерфейс GNSS-приемника, как правило, включает последовательный порт для выдачи цифровой информации и специальный выход секундных меток времени, обычно обозначаемый 1PPS. Для целей синхронизации аппаратуры отображения достаточно использовать временные пакеты, получаемые по последовательному порту. При этом можно добиться точности 0,1 с, что вполне достаточно для синхронизации человеко-машинного интерфейса. Для синхронизации же процессов в высокоскоростной аппаратуре, такой как, например, каналы связи с

временным разделением доступа, необходимо привязывать начало секундного дискрета к моменту нарастания фронта сигнала 1PPS.

Процесс синхронизации временного сервера состоит в непрерывной проверке расхождения его внутренних часов и мирового времени и их корректировке так, чтобы это расхождение не превышало некоторой, наперед заданной величины  $A_t$ , которую будем называть точностью синхронизации. Как было отмечено выше, численное значение этой величины зависит от задачи сервера, от того, какая точность требуется в синхронизируемой аппаратуре. Полагая стабильность внутреннего таймера временного сервера равной  $10^{-4}$ , что является типичным для современных кварцевых генераторов без термостабилизации, получим, что для обеспечения точности  $A_t = 0,1$  с часы сервера достаточно проверять один раз в 20 минут. GNSS-приемник предоставляет возможность делать такую проверку гораздо чаще, а именно раз в секунду, что позволяет на обычных кварцевых генераторах, используемых в типовых компьютерах, получить точность синхронизации не хуже  $A_t=100$  мкс. Для хранения времени с большей точностью требуются специализированные стандарты частоты.

Итак, программное обеспечение временного сервера проверяет внутренние часы так часто, чтобы не допустить их ухода от мирового времени больше чем на  $A_t$ . Для надежности в качестве предельного отклонения, по достижении которого часы подводятся, имеет смысл положить  $D_t/2$ . Рассмотрим действия сервера при обнаружении отклонения, превосходящего эту величину.

Отклонение часов может быть вызвано естественным уходом внутренних часов сервера. В этом случае часы следует просто подвести. Однако осуществить это простым приписыванием нового значения системного времени представляется не лучшим выходом. В самом деле, при этом отсчеты времени на сервере и его потребителях изменятся скачкообразно. Это может вызвать нежелательные последствия для аппаратуры реального времени, производящей замеры интервалов времени для использования в расчетах. Например, если аппаратура траекторной обработки вычисляет скорость движения борта через расстояние, пройденное за определенное время, то в момент скачкообразного подведения часов вычисленная скорость также изменится скачкообразно, что может привести к погрешности в вектор прогнозирования. Поэтому желательно подводить время плавно, например, изменить величину, прописываемую в регистр задвижки таймера, ускорив или замедлив таким образом ход внутренних часов. Когда отклонение станет равным нулю, эту величину следует вернуть к прежнему значению. Современные операционные системы, такие как, например, Windows NT, имеют средства для плавного подведения системного времени (см. рис. 12.1).

Помимо естественного ухода таймера, возможны аварийные отклонения внутренних часов. Причиной таких отклонений может стать сбой либо внутренних часов, либо показаний GNSS-приемника. Установка показаний внутренних часов «в ноль» происходит обычно при сбросе ПЗУ компьютера, в котором хранится системное время. Ошибка же относительно мирового времени может быть вызвана сбоем либо в аппаратуре GNSS-приемника, либо в аппаратуре одного или нескольких навигационных спутников. Для компенсации последнего явления в современных GNSS-приемниках предусмотрена такая функция, как конт-роль целостности созвездия, задачей которой является обнаружение спутника, чей сигнал отличается от сигналов других спутников больше, чем на величину допустимой погрешности, и исключение его из решения навигационной задачи. Тем не менее существуют особенности спутниковых систем навигации, которые потенциально способны привести к ошибкам в определении времени. Например, в системе NAVSTAR время кодируется двумя числами — номером текущей недели и смещением внутри нее. При этом номер недели не может превышать 1024. Таким образом, временная посылка спутников системы NAVSTAR содержит не полную дату, а время внутри примерно 20-летнего цикла, причем задача определить, внутри какого цикла находится текущий момент времени, возлагается на потребителя. В большинстве случаев это не составляет труда, однако в момент перехода через границу цикла или после сбоя внутренних часов это определение может быть сделано некорректно.

Для защиты от подобного рода сбоев при обнаружении ухода внутренних часов больше чем на  $A_t/2$  имеет смысл проверить, не является ли этот уход аномально большим, т. е. укладывается ли он в вышеприведенную оценку стабильности кварцевого генератора. Если нет, то, вероятнее всего, этот уход вызван не естественными, а аварийными причинами. В этом случае следует сигнализировать дежурному инженеру об этой ситуации как об аварийной и предложить ему вручную подтвердить правильность шкалы времени GNSS, а также и целесообразность дальнейшей синхронизации по ней. Для сигнализации о такого рода событиях временной сервер должен поддерживать сопряжение

с рабочим местом (АРМ) диагностики системы, а для регистрации таких событий — с системой записи и воспроизведения информации.

Шкала времени, поддерживаемая GNSS-приемником, зависит от используемой системы спутников. Если это система NAVSTAR, то время выдается в шкале UTC US, при работе же по системе ГЛОНАСС поддерживается шкала UTC RU. Разность хода этих шкал периодически публикуется и при высокоточной синхронизации должна быть учтена.

В результате шкала времени, поддерживаемая временным сервером, синхронизируется с мировым, т. е. гринвичским, временем. Однако для некоторых потребителей предпочтительнее получать местное, поясное время. Сдвиг местного времени от гринвичского известен, однако при переходе на летнее или зимнее время он меняется на час вперед или назад соответственно. Моменты этих переходов закрепляются законодательно и публикуются.

### 12.3.3. Синхронизация часов АРМов

Синхронизация времени рабочих станций системы УВД «Альфа», объединенных одной локальной сетью, обеспечивается передачей широкоэвещательных тестовых пакетов, которые наряду с информацией о работоспособности той или иной станции содержат информацию о времени отправки пакета. Время отправки пакета записывается в формате системного времени операционной системы Windows NT и представляет собой счетчик 100 наносекундных интервалов, прошедших с некоторого начального момента. В ОС Windows NT таким начальным моментом по умолчанию является 00:00 1 января 1600 г. н. э. Для подсчета интервалов используется 64-разрядная целочисленная неотрицательная переменная, максимальное число которой доступно к записи в такую переменную 18 446 744 073 709 551 616, что составляет примерно 59 тыс. лет.

Механизм синхронизации времени предельно прост и заключается в следующем. В конфигурации каждой рабочей станции прописывается последовательный список имен серверов точного времени, последовательность в списке определяет приоритетность сервера, т. е. чем ближе к заголовку, тем выше приоритет. Данный список у всех рабочих станций системы должен быть идентичен. После включения рабочей станции и загрузки операционной системы на вход сетевого интерфейса начинают поступать тестовые пакеты с других станций. Имя отправителя очередного тестового пакета сравнивается со списком серверов точного времени, и в случае совпадения определяется приоритет сервера и принимается решение о необходимости коррекции времени. Коррекция осуществляется в том случае, если полученное точное время отличается от внутреннего времени станции более чем на  $A_t$ . Период отправления тестовых пакетов устанавливается опционально в пределах от 1 до 10 с (по умолчанию интервал устанавливается равным 3 с).

### 12.3.4. Синхронизация внешних устройств

Помимо потребителей, включенных в ЛВС, синхронизация которых описана выше, существуют некоторые потребители, связь с которыми осуществляется по другим каналам. Это могут быть компьютеры, включение которых в сеть сис-тмы УВД представляется нецелесообразным по соображениям безопасности. Через иные каналы должна синхронизироваться также аппаратура, не поддерживающая сетевой интерфейс Ethernet. К такому типу устройств относятся, например, часовые табло и другие устройства отображения времени, на которые каждую секунду или минуту с сервера должна отправляться синхронизирующая посылка. Иногда такое устройство снабжается часовой микросхемой и способно поддерживать собственную шкалу времени. Подобная аппаратура обычно называется вторичными часами и требует значительно более редкой синхронизации.

Для синхронизации специализированной аппаратуры, не поддерживающей сетевых протоколов, часто требуются отдельные устройства. Примером могут служить стрелочные часы, к которым каждую минуту подается импульс движения минутной стрелки, а каждый час — импульс движения часовой стрелки. При достаточно большом количестве вторичных часов для генерации временным сервером импульса значительной мощности требуется специальный усилитель.

Современные варианты вторичных часов предполагают наличие у них цифрового входа с последовательным интерфейсом. Поэтому при наличии на временном сервере достаточного количества последовательных портов синхронизация таких часов не представляет труда. Следует, однако, учесть, что дальность действия интерфейса RS-232 составляет всего несколько десятков

метров. Для трансляции синхронизирующего сигнала по физическим парам на большее расстояние во вторичных часах зачастую используются активные интерфейсы, такие как RS-422, RS-485 или интерфейс «токовая петля». Возможно также использование модемов для физических линий.

Синхронизация компьютеров по последовательным интерфейсам осуществляется по тем же принципам, только формат синхронизирующего пакета не диктуется устройством вторичных часов, а выбирается производителем временного сервера, который также предоставляет программное обеспечение, устанавливаемое на синхронизируемый компьютер. Обычно этот пакет содержит полное время, дату и день недели. Получив с последовательного порта такой пакет, сервер синхронизации действует аналогично временному серверу. Он вычисляет расхождение системного времени и времени, закодированного в пакете. Если расхождение получается больше, чем точность синхронизации, системные часы компьютера плавно подводятся.

Линии связи, использующие временное разделение доступа к каналу, также могут требовать точной привязки к единой шкале времени. Примером такой линии служит УКВ ЛПД режима 4, применяемой в технологии автоматического независимого наблюдения с широкополосным (АЗН-В), о которой шла речь в главе 10. Эта линия связи предполагает наличие на каждом оконечном устройстве GNSS-приемника, выдающего привязку к мировому времени. Синхронизация же линии связи от временного сервера может быть осуществлена путем трансляции временных пакетов в канал связи. Ввиду большой скорости процессов в таких линиях для их синхронизации недостаточно пакетов, выдаваемых GNSS-приемником по последовательному порту. Для высокоточной привязки необходимо транслировать в линию сигнал 1PPS. При этом следует учесть, что, как правило, на выходе GNSS-приемника сигнал достаточно слабый, и для компенсации его затухания по пути к потребителям может потребоваться дополнительное усиление.

## **12.4. Средства обеспечения безопасности в информационно-вычислительных сетях**

### **12.4.1. 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 безопасностъсостояние 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 сис-1емах 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 использования нарушителем каналов утечки данных.

Виды угроз безопасности данных приведены на рис. 12.2.

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

\*случайные воздействия природной среды (ураган, землетрясение, пожар, наводнение и т. п.);



Рис. 12.2. Виды угроз безопасности данных

\*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.).

#### 12.4.2 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.

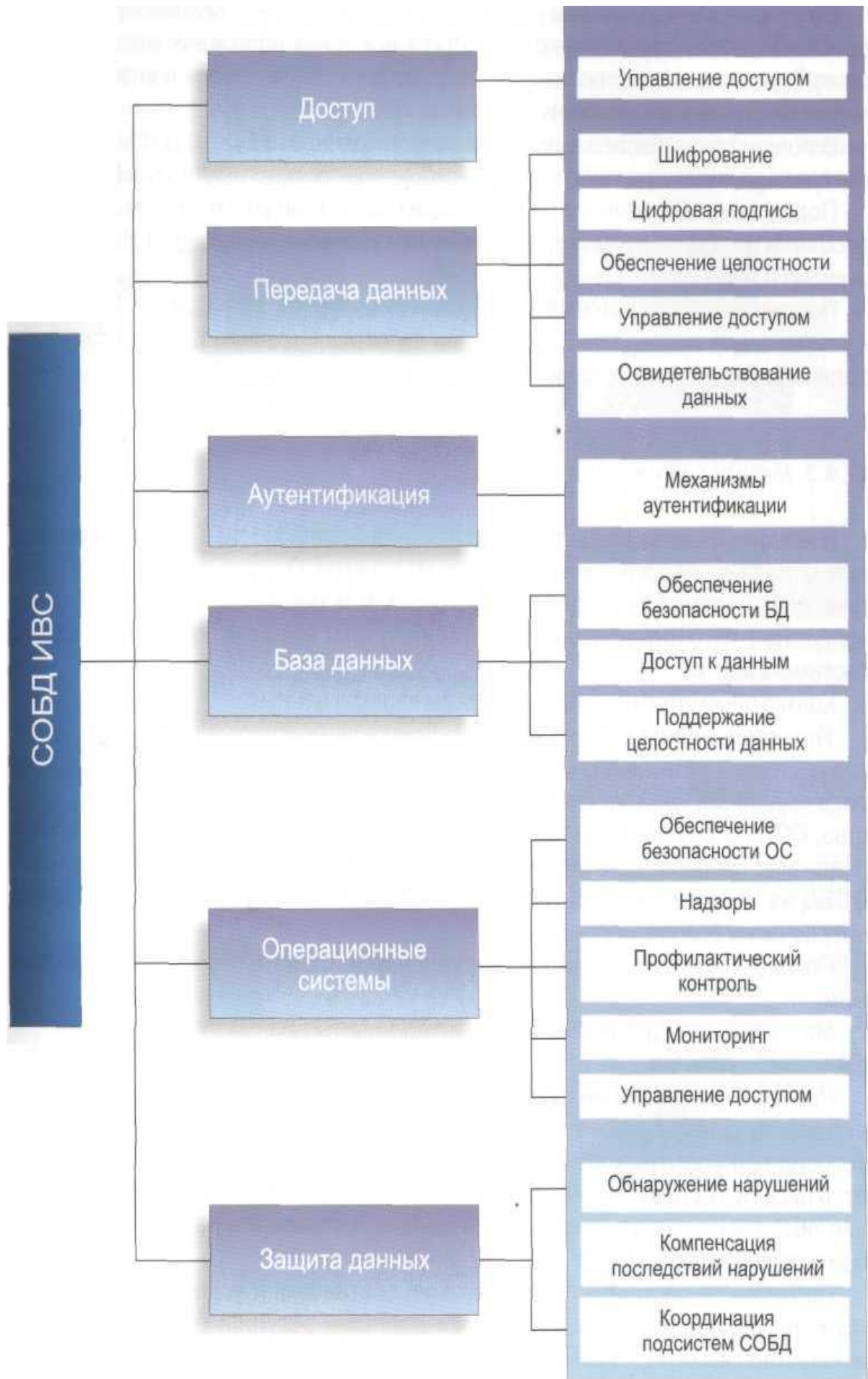


Рис. 12.3. Основные подсистемы СОБД ИВС



### 12.4.3. Методы и средства защиты данных

В начале развития концепций обеспечения безопасности данных преимущество отдавалось программным средствам защиты. Однако, как показала практика, для обеспечения безопасности данных этих мер оказалось недостаточно, вследствие чего интенсивное развитие получили всевозможные устройства и системы защиты.

Кратко рассмотрим основные методы защиты данных.

Управление представляет собой регулирование использования всех ресурсов системы в рамках установленного технологического цикла обработки и передачи данных, где в качестве ресурсов рассматриваются технические средства, ОС, программы, БД, элементы данных и т. п. Управление защитой данных реализует процесс целенаправленного воздействия подсистемы управления СОБД на средства и механизмы защиты данных и компоненты ИВС в целях обеспечения безопасности данных.

Препятствия физически преграждают нарушителю путь к защищаемым данным.

Маскировка представляет собой метод защиты данных путем их криптографического закрытия.

Регламентация как метод защиты заключается в разработке и реализации в процессе функционирования ИВС комплексов мероприятий, создающих такие условия технологического цикла обработки данных, при которых минимизируется риск НСД к данным. Регламентация охватывает как структурное построение ИВС, так и технологию обработки данных, организацию работы пользователей и персонала сети.

Побуждение состоит в создании такой обстановки и условий, при которых правила обращения с защищенными данными регулируются моральными и нравственными нормами.

Принуждение включает угрозу материальной, административной и уголовной ответственности за нарушение правил обращения с защищенными данными.

На основе перечисленных методов создаются средства защиты данных. Все средства защиты данных можно разделить на формальные и неформальные (рис. 12.4).

Формальные средства защиты. Формальными называются такие средства защиты, которые выполняют свои функции по заранее установленным процедурам безвмешательства человека. К формальным средствам защиты относятся технические и программные средства. К техническим средствам защиты относятся все устройства, которые предназначены для защиты данных. В свою очередь, технические средства защиты можно разделить на физические и аппаратные. При этом физическими называются средства защиты, которые создают физические препятствия на пути к защищаемым данным и не входят



Рис. 12.4. Классификация методов и средств защиты данных

в состав аппаратуры ИВС, а аппаратными — средства защиты данных, непосредственно входящие в состав аппаратуры ИВС.

Программными называются средства защиты данных, функционирующие в составе программного обеспечения ИВС.

Отдельную группу формальных средств составляют криптографические средства, которые реализуются в виде программных, аппаратных и программно-аппаратных средств защиты.

Аппаратные средства защиты. Под аппаратными средствами защиты понимаются специальные средства, непосредственно входящие в состав технического обеспечения ИВС и выполняющие функции защиты как самостоятельно, так и в комплексе с другими средствами.

Аппаратные средства защиты данных можно условно разбить на группы согласно типам аппаратуры, в которых они используются. В качестве таких групп рассмотрим следующие:

- \* средства защиты процессора;
- \* средства защиты памяти;
- \* средства защиты терминалов;
- \* средства защиты устройств ввода-вывода;
- \* средства защиты каналов связи.

Не останавливаясь на технических деталях, кратко рассмотрим содержание средств защиты перечисленных групп аппаратуры.

Процессоры. Одним из главных условий обеспечения безопасности обрабатываемых данных является гарантия невозможности одной программы влиять на процесс выполнения другой программы, особенно программы ОС. Обычно это реализуется введением так называемого привилегированного состояния процессора (в некоторых системах — режима супервизора), характеризуемого специальными привилегированными командами. Попытки выполнить эти команды, которые используются для управления процессом обработки заданий и для выполнения отдельных функций защиты, в состоянии «задача пользователя» вызывают прерывание, обрабатываемое ОС.

Для выполнения функций защиты в состав процессора включаются:

- \* программно-читаемые часы;
- \* команды очистки блоков памяти;

\* программно-читаемые идентификаторы процессора и других технических устройств;

\* специальные биты секретности в каждом машинном слове;

\* средства контроля регистров, устанавливающих границы памяти, и т. д. Память. Многие ЭВМ и устройства, входящие в состав ИВС, содержат различные механизмы защиты памяти для предотвращения чтения и модификации данных различными пользователями. Для защиты памяти обычно используются следующие средства и механизмы:

\* регистры границ памяти, устанавливающие нижний и верхний адреса оперативной памяти для программы, выполняемой в данный момент времени;

\* «замки» защиты блоков памяти фиксированного размера в оперативной памяти.

Выполняемая программа заносит свой «ключ» в специальный регистр. Каждая выборка и запись в оперативную память контролируются аппаратными средствами на подтверждение того, что ключ соответствует замку,

\* сегментация памяти, представляющая использование дескрипторов для описания единиц данных в оперативной памяти.

Каждый дескриптор содержит начальный адрес сегмента, его длину и указатели, определяющие вид доступа к данным этого сегмента;

\* страничная организация памяти, в которой каждой программе пользователя ставится в соответствие таблица страниц, отображающая виртуальные адреса в физические.

Обычно защита страничной организации памяти реализуется через сегментацию,

иерархические кольца безопасности, которые обеспечивают аппаратную изоляцию данных и программ, относящихся к различным кольцам.

Терминалы обычно содержат замки для предотвращения несанкционированного включения, а также блокираторы. Блокираторы могут содержать устройства установления подлинности пользователя по жетону, отпечаткам пальцев и т. п. Для систем с высокими требованиями к обеспечению безопасности данных терминалы снабжаются встроенными схемами шифрования данных, идентификации терминала и т. д.

Устройства ввода-вывода для решения задач защиты могут содержать:

регистры адресов и идентификаторов;  
регистры границ выделенной устройству памяти, схемы проверки канала ввода-вывода;  
регистры контроля уровня секретности канала связи;  
схемы контроля номера канала и т. п.

Каналы связи защищаются в основном криптографическими средствами. Аппаратные средства защиты включают и вспомогательные устройства, которые обеспечивают функционирование СОБД. Такими устройствами являются, например, устройства уничтожения информации на магнитных носителях, устройства сигнализации о нарушении регистров границ памяти и т. п.

Программные средства защиты. Программными называются средства защиты данных, функционирующие в составе программного обеспечения средств и механизмов защиты данных. Они выполняют функции защиты данных самостоятельно или в комплексе с другими средствами защиты.

Программные средства внешней защиты включают программные средства обеспечения функционирования физических средств защиты территории, помещений, отдельных каналов связи и устройств ИВС. В настоящее время выпускается множество систем охранной сигнализации, содержащих микропроцессоры и ЭВМ. Программные средства используются также в устройствах опознавания личности по различным характеристикам, таким как голос, отпечатки пальцев и т. д. Основным методом защиты данных, передаваемых по каналам связи, является криптографическое закрытие данных, которое реализуется программными, аппаратными и программно-аппаратными средствами. Кроме этого, используются следующие программные средства:

опознавания корреспондентов;  
проверки уровня секретности канала;  
проверки адресов корреспондентов;

проверки идентификаторов корреспондентов во время обмена большими объемами данных и т. д.

Программные средства внутренней защиты охватывают совокупность средств и механизмов защиты данных, находящихся в аппаратуре ИВС. Их основным назначением являются регулирование и контроль использования данных и ресурсов системы в строгом соответствии с установленными правами доступа. Особенности защиты ОС и БД будут рассмотрены ниже.

Типичная схема функционирования этих программных средств включает следующее основные этапы:

- 1)установление подлинности субъекта, обращающегося к ресурсам системы;
- 2)проверка соответствия характера запроса предоставленным полномочиям данного субъекта;
- 3)принятие решения в соответствии с результатом проверки полномочий.

Регулирование использования технических средств обычно осуществляется по таким параметрам, как время доступа и запрашиваемое действие при доступе.

Защита программного обеспечения осуществляется такими методами, как, например, контрольное суммирование и шифрование.

#### 12.4.4. Механизмы защиты операционных систем

Основной тенденцией развития вычислительной техники была и остается идея максимальной доступности ее для пользователей, что входит в противоречие с требованием обеспечения безопасности данных. Поэтому практически наибольшие усилия по обеспечению безопасности данных предпринимались при разработке операционных систем (ОС). Под механизмами защиты ОС будем понимать все средства и механизмы защиты данных, функционирующие в составе ОС.

Операционные системы, в составе которых функционируют средства и механизмы защиты данных, в литературе часто называют защищенными системами.

В связи с тем, что ОС можно представить как совокупность наборов данных, для которых также необходимо обеспечить надежную защиту, под безопасностью ОС понимается такое состояние ОС, при котором невозможно случайное или преднамеренное нарушение функционирования ОС, а также нарушение безопасности находящихся под управлением ОС ресурсов системы. Укажем следующие особенности ОС, которые позволяют выделить вопросы обеспечения безопасности ОС в особую категорию:

\*управление всеми ресурсами системы;

\*наличие встроенных механизмов, которые прямо или косвенно влияют на безопасность программ и данных, работающих в среде ОС;

\*обеспечение интерфейса пользователя с ресурсами системы; размеры и сложность ОС.

В силу этих особенностей обеспечение безопасности ОС играло и продолжает играть важную роль в процессе развития вычислительной техники.

Большинство ОС обладают дефектами с точки зрения обеспечения безопасности данных в системе, что, как уже отмечалось, обусловлено выполнением задачи обеспечения максимальной доступности системы для пользователя.

Рассмотрим типовые функциональные дефекты ОС, которые могут привести к созданию каналов утечки данных: идентификация.

Каждому ресурсу в системе должно быть присвоено уникальное имя — идентификатор. Во многих системах пользователи не имеют возможности удостовериться в том, что используемые ими ресурсы действительно принадлежат системе, пароли.

Большинство пользователей выбирают простейшие пароли, которые легко подобрать или угадать,

\* список паролей.

При хранении списка паролей в незашифрованном виде возникает возможность его компрометации с последующим НСД к данным,

\*пороговые значения.

Для предотвращения попыток несанкционированного входа в систему с помощью подбора пароля необходимо ограничить число таких попыток, что в некоторых ОС не предусмотрено,

\*подразумеваемое доверие.

Во многих случаях программы ОС считают, что другие программы работают правильно, общая память.

При использовании общей памяти не всегда после выполнения программ очищаются участки оперативной памяти (ОП),

\*разрыв связи.

В случае разрыва связи ОС должна немедленно закончить сеанс работы с пользователем или повторно установить подлинность субъекта, передача параметров по ссылке, а не по значению.

В связи с тем, что при передаче параметров по ссылке возможно оставление параметров в ОП после проверки их корректности, нарушитель может изменить эти параметры до начала их использования системой,

система может содержать много элементов (например, программ), имеющих различные привилегии.

Основной проблемой обеспечения безопасности ОС является создание механизмов контроля доступа к ресурсам системы. Процедура контроля доступа заключается в проверке соответствия запроса субъекта предоставленным ему правам доступа к ресурсам. Кроме того, ОС содержит вспомогательные средства защиты. К ним относятся средства надзора, профилактического контроля и ревизии. В совокупности механизмы контроля доступа и вспомогательные средства защиты образуют механизмы управления доступом.

В задачи средств надзора входят наблюдение за работой системы, идентификация и регистрация пользователей, а также установление прав пользователей при регистрации.

Средства профилактического контроля необходимы для отстранения пользователя от непосредственного выполнения критичных операций с точки зрения безопасности данных и передачи этих операций под контроль ОС. Для обеспечения безопасности данных работа с ресурсами системы осуществляется с помощью специальных программ ОС — так называемых безопасных программ, доступ к которым ограничен.

Средства ревизии осуществляют постоянное ведение регистрационного журнала, в который заносятся записи о всех событиях в системе.

В ОС также могут использоваться средства сигнализации о НСД, которые могут применяться при обнаружении нарушений безопасности данных или попыток такого нарушения.

Состав и структура вспомогательных средств защиты ОС зависят от архитектуры системы, ее ОС и СОБД и используемого программного обеспечения (см. приложение 25).

## 12.4.5. Особенности обеспечения безопасности в АС УВД

Обеспечение безопасности информации в современных системах УВД имеет специфические особенности. Это объясняется сложностью комплексного решения проблемы, поскольку АС УВД состоит из нескольких неоднородных подсистем (организации, планирования, управления ВД, связи, регистрации и т. д.), имеющих различные технологические процессы, уровни автоматизации процессов, технические средства, функционирующие по разным принципам, информационное обеспечение принятия решения и критерии эффективности.

Одно из главных требований, предъявляемых к вычислительным комплексам АС УВД, — поддержание устойчивой работоспособности. Кроме собственной устойчивости операционной системы, на работу комплекса влияет, по крайней мере, три фактора: качественный выбор аппаратных средств, профессиональная инсталляция лицензионной ОС и корректная работа программных приложений (самых прикладных программ).

Другой немаловажный фактор — выбор ОС для серверов и рабочих станций. В этом случае необходимо рассматривать вопросы открытости системы, работы в реальном времени, использования универсальных средств и др.

Следующее требование относится к специфике функционирования всей системы в целом — автономность системы. Здесь выделяются такие основные направления:

обеспечение безопасности сетевой инфраструктуры системы; обеспечение безопасности обмена информацией между подсистемами, приложениями или пользователями.

В заключение следует отметить, что проводимые меры по обеспечению безопасности в АС УВД должны выполняться при условии повышения или сохранения на заданном уровне безопасности полетов и удовлетворения ограничений технико-экономического характера.

## 12.5. Конструкция пультов управления

### 12. 5.1. Требования к пультам

Эффективность решения задач УВД диспетчером, оператором, руководителем полетов, инженером ЛАЗа и другими специалистами, вовлеченными в процесс эксплуатации АС УВД, существенным образом зависит от организации их рабочих мест (РМ) или АРМ.

Специалистам службы УВД приходится работать с большим количеством технических средств. При размещении аппаратуры необходимо соблюсти требования норм эргономики и санитарные нормы.

Пультom управления называется элемент рабочего места, на котором размещены средства отображения информации, оконечные устройства коммутации, органы управления и другие средства, обеспечивающие выполнение определенных функций.

Общим эргономическим требованием к конструкции пульта управления является возможность трудовой деятельности человека-оператора в положении сидя, благодаря чему удается избежать перегрузок костно-мышечного аппарата и обеспечиваются наилучшие условия зрительного и слухового восприятия информации и передачи управляющих воздействий. Пульта управления должны удовлетворять ряду специальных требований и иметь следующие характеристики:

\*расположение индикаторов и органов управления на рабочем поле должно быть таким, чтобы затраты на восприятие информации, а также на ввод управляющих воздействий были минимальными; комфортные условия работы снижают уровень напряженности оператора и риск возникновения ошибок;

\*обеспечение необходимых эргономических требований к данному типу оборудования;

\*максимальная универсальность для обеспечения возможности использования операторами (диспетчерами) различных систем, возможность монтажа стандартного оборудования (индикатора АРП, средств ГГС и т. п.);

\*возможность монтажа оборудования дюймового стандарта (системных блоков, UPS, коммутационного оборудования и т. д.).

В зависимости от выполняемой задачи пульт должен оснащаться необходимым количеством мониторов (индикаторов) с требуемыми характеристиками.

К наиболее сложным относятся пульта управления диспетчеров. Конструкция пульта управления должна предусматривать, как правило, установку двух полукомплектов аппаратуры, а также реализацию других способов резервирования, применяемых в современных АС УВД.

При оборудовании нескольких рабочих мест пульта могут образовываться линейку. При сопряжении внешних элементов конструкции наряду с соблюдением общих требований к пультам управления необходимо учитывать возможности прокладки общих для всех пультов коммуникаций (из пульта в пульт через боковые элементы конструкции).

Существует несколько вариантов решения проблемы компоновки пультов управления.

Первый вариант: управляющие системы (устройства) располагаются непосредственно на рабочем месте в специальном отсеке, средства отображения информации — на рабочем поле. При этом варианте организации рабочего места необходимо уделять особое внимание защите диспетчера (оператора) от вредного воздействия аппаратуры, обеспечению электромагнитной совместимости различных устройств, необходимому температурному режиму, звукоизоляции, возможности оперативной замены оборудования и т. д.

Это существенно повышает требования к конструкции пульта управления, к используемым в его составе устройствам и механизмам, к конструкционным материалам. В этом случае пульт управления имеет значительные размеры и сложную конструкцию.

При этом требования к зданиям, в которых устанавливаются пульта, относительно невысоки, что позволяет организовывать рабочие места в различных помещениях, в том числе в отсеках машин, самолетов и других мобильных объектов.

Второй вариант решения заключается в том, что на рабочем месте располагаются только средства отображения информации и оконечные управляющие устройства. При этом варианте организации рабочего места управляющие системы (устройства) и подсистемы АС УВД размещаются в отдельных машинных залах, где и осуществляется весь комплекс мер по обеспечению безопасности и работоспособности системы в целом.

Данное решение задачи организации РМ снижает требования к пультам управления, но существенно увеличивает их в отношении технических систем и зданий, в которых они установлены: необходимо разместить оборудование в специальных залах, обеспечить необходимый температурный режим, электромагнитную совместимость различных устройств и систем и т. п. От пульта к месту установки управляющих систем (устройств) прокладываются кабельные сети, однако длина кабельных линий лимитирована.

Кроме того, все системы и устройства, входящие в комплекс АС УВД, а следовательно, и пульт должны быть оперативно заменяемыми (при необходимости) и ремонтпригодными.

Создать универсальный пульт управления, позволяющий рационально размещать и организовывать различные по назначению РМ специалистов УВД, сложно и нецелесообразно. Поэтому существует ряд унифицированных и в то же время достаточно универсальных пультов, которые могут использоваться для организации операторской работы.

### 12.5.2. Описание основных конструктивных элементов

Следует выделить основные элементы конструкции пульта управления: <sup>a</sup> несущий каркас (сборно-разборный или цельный);

\*панели (заглушки, маски) для установки в них оконечных устройств органов управления, отображения и связи;

\*столешница;

\*приборные отсеки для размещения элементов систем управления, отображения и связи;

\*обеспечивающие системы, а именно

\*система электропитания;

\*система освещения; » система вентиляции.

Несущий каркас представляет собой набор вертикальных, горизонтальных и наклонных, жестко зафиксированных между собой металлических профилей.

Панели (заглушки, маски) для установки в них оконечных устройств органов управления, отображения и связи представляют собой стандартные конструктивные элементы, позволяющие помещать в них устройства как метрического, так и дюймового стандарта.

Приборные отсеки представляют собой полости, образованные конструктивными элементами, во внутреннем пространстве пульта в которых на полках, выдвижных направляющих установлены элементы систем (системные блоки, радиостанции и т. п.).



Обеспечивающие системы предназначены для выполнения нижеследующих функций.

\*Система электропитания пультов обеспечивает подводку и распределение электропитания систем освещения и вентиляции, а также устройств встраиваемого оборудования от сети переменного тока напряжением  $220\pm 10$  В и частотой  $50\pm 1$  Гц, а также от сети гарантированного электропитания постоянного тока напряжением 27 В.

\*Система освещения предназначена для организации требуемого уровня (не менее 500 люкс) освещенности рабочих поверхностей пульта управления.

Конструктивно система освещения выполняется в виде группы светильников, устройств для включения-выключения ламп и регулировки их яркости свечения.

\*Система вентиляции предназначена для обеспечения требуемого температурного режима во внутрипультовом пространстве. Конструктивно состоит из набора вентиляторов и термореле. Кроме того, для осуществления естественной конвекции применяется перфорация внешних панелей, которую, как правило, располагают в верхней части пульта.

Системы вентиляции подразделяются на внутренние и внешние. Во внутренних все элементы системы располагаются внутри пультового пространства. Во внешних элементы системы вентиляции вынесены за пределы пульта, и отвод воздуха осуществляется по внешним воздуховодам.

### 12.5.3. Примеры исполнения пультов управления

Примером пультов, в которых управляющие системы (устройства) расположены непосредственно на рабочем месте, в специальном отсеке (внутрипультовом пространстве), а средства отображения информации — на рабочем поле, является серия универсальных пультов УВД «Пульт-А».

Рассмотрим пульта двух типов: пульт диспетчера УВД консольного типа и пульт диспетчера КДП.

Пульт диспетчера УВД консольного типа (рис. 12.5) является примером пульта, удовлетворяющего требованиям по удобству досягаемости рабочих полей и эргономике рабочего места, универсальности при организации различных диспетчерских пунктов (табл. 12.1) и высокой степени адаптации к установке различного оборудования. Конструктивно пульт реализован по схеме, предусматривающей наличие двух симметричных рабочих полей, имеющих горизонтальную и фронтальную панели (части).



Рис. 12.5. Пульт диспетчера УВД консольного типа

Таблица 12.1. Основные типы пультов управления для специалистов УВД

| Наименование пульта                    | Назначение пульта  |
|--|--|
| Пульт диспетчера консольного типа      | Рабочие места диспетчеров УВД, осуществляющих функции радиолокационного или процедурного контроля за ВД, размещаемые в диспетчерских залах. Могут использоваться для организации диспетчерских пунктов РЦ, МДП, ДПП, ДПК, ДПСР, ПДП, а также в органах ЗЦ, военных секторах РЦ, диспетчерских тренажерах и т. п. |
| Пульт диспетчера безнадстроечного типа | Рабочие места диспетчеров, осуществляющих визуальный контроль за зоной ответственности, располагаемые на диспетчерских вышках. Могут использоваться для организации диспетчерских пунктов ДПР, СДП, ВСДП, ПДСР, КДП (КДП МВЛ) и др.  |
| Пульт руководителя полетов             | Рабочее место РП района или аэродрома, а также для диспетчерских пунктов и рабочих мест при небольшом количестве встраиваемого оборудования  |
| Пульт инженера                         | Рабочее место сменного инженера технической службы обеспечения полетов (ЭРТОС, ЭСТОП и т. п.)  |
| Пульт оператора                        | Рабочее место диспетчера АДП, оператора, на которого возлагаются вспомогательные функции   |

Горизонтальная панель представляет собой пластиковую столешницу со стандартными проемами для установки оборудования (как правило, устройств системы связи).

Фронтальная панель выполнена в виде наклоненных друг к другу под оптимальными углами панелей, конструкция которых позволяет выводить экраны отображения информации в зонах, соответствующих значимости данных устройств (наиболее важные и часто используемые, нечасто используемые, редко используемые и т. д.) согласно ГОСТ 23000-78.

Во внутрипультовом пространстве (рис. 12.6) располагаются блоки систем отображения, связи и т. д. — элементы, которые не требуют постоянного обзора и могут отвлекать диспетчера.

Пульт диспетчера КДП адаптирован к требованиям, предъявляемым к оборудованию, устанавливаемому на вышке КДП, в частности по такому важному для данного пульта параметру, как максимальная высота пульта.

Пульты, не имеющие в своем составе надстройки (такой, как, например, в пульте диспетчера консольного типа), предназначены для организации рабочих мест, не требующих большого количества оборудования, либо для осуществления максимального обзора пространства за пультом (ВПП, ВС, зал РЦ и т. п.). Следует отдельно выделить пульты управления для таких специалистов УВД, как руководитель полетов, инженер, оператор вспомогательных систем.

Кругу решаемых задач соответствует различная конструкция пульта. Конструктивно пульты реализованы по секционному принципу, т. е. существует секция, позволяющая установить средства отображения, информации и связи, а для размещения дополнительного оборудования или расширения рабочего места устанавливается дополнительная секция. Так, на рис. 12.7 представлена одна секция пульта диспетчера КДП, на рис. 12.8 — пульт диспетчера КДП, состоящий из двух секций, на рис. 12.9 — многосекционный пульт диспетчера КДП, повторяющий своей геометрической конфигурацией помещение зала КДП.

Надстройки пультов выполнены в виде съемных конструкций с наклонной панелью для установки оборудования. Панель приспособлена к установке оборудования как метрического, так и дюймового стандарта.



Рис 12.6. Внутрипультовое пространство

Для несущих конструкций в пультах следует применять материалы повышенной прочности, как правило, углеродистую сталь. Панели, заглушки и другие внешние элементы выполняются из стали или пластмассы. Применяется антибликовая негорючая покраска. Столешница изготавливается из материала с низкой теплопроводностью, стойкого к истиранию и не накапливающего статического электричества (например, пластик или дерево).

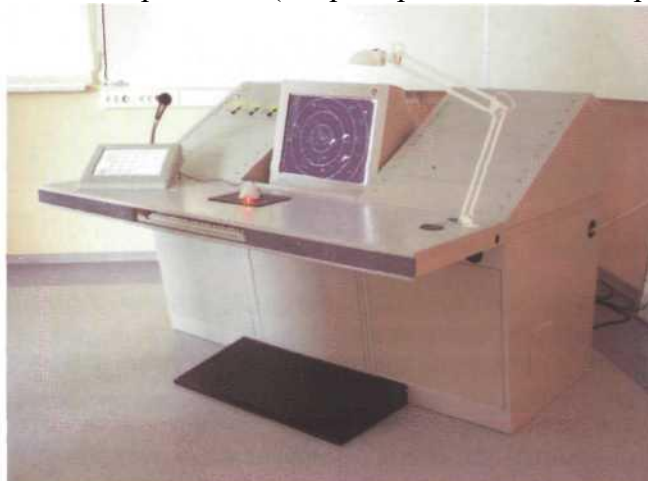


Рис. 12.7. Пульт диспетчера КДП безнадстроечного типа



Рис. 12.8. Двухсекционный пульт КДП

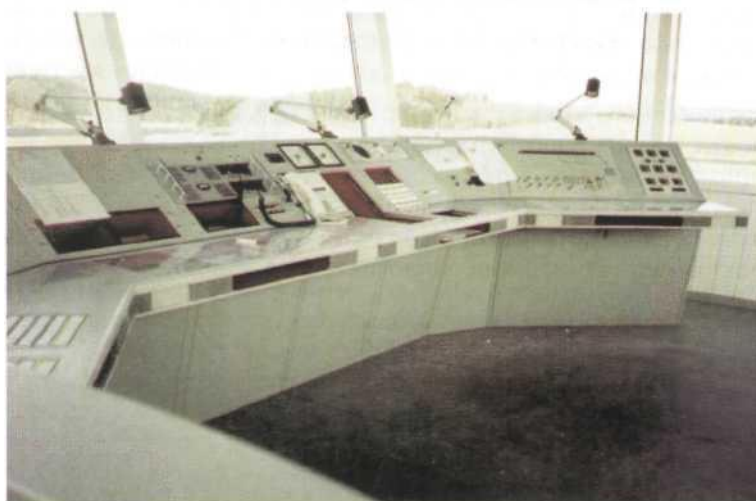


Рис. 12.9. Многосекционный пульт диспетчера КДП

Перспективы совершенствования пультов управления соответствуют общим тенденциям развития оборудования УВД:

уменьшение габаритов пультов в связи с уменьшением количества и размеров оборудования УВД;

создание адаптивных конструкций, т. е. устройств, которые в автоматическом, полуавтоматическом или ручном режиме позволяют изменять некоторые параметры пульта, например высоту столешницы, углы наклона индикаторов и т. п.

## Глава 13. ФУНКЦИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ УВД

### 13.1. Автоматизация принятия решений

#### 13.1.1. Перечень основных задач

Необходимое условие автоматизации решения задач УВД состоит в соблюдении существующей технологии действий диспетчера. Она в свою очередь сводится к описанию алгоритмов действий диспетчера в сложившейся ситуации. Степень автоматизации АС УВД зависит от количества описанных в системе условий. Реакция системы на сложившиеся условия может быть трех типов:

- 1) сигнализация наступления события, которая может сопровождаться выдачей соответствующих расчетов и параметров;
- 2) выдача рекомендаций по действиям диспетчера в сложившейся ситуации;
- 3) автоматическое действие системы, направленное на разрешение сложившейся ситуации.

Для автоматизации принятия решений в ряде современных АС УВД реализованы следующие функции:

- обнаружение и сигнализация конфликтных ситуаций между воздушными судами;
- \* прогнозирование воздушной обстановки и сигнализация потенциально конфликтных ситуаций между воздушными судами;
- \* обнаружение и сигнализация достижения минимальной безопасной высоты;
- согласование условий входа/выхода ВС между смежными диспетчерскими пунктами;
- \* сигнализация прохождения контрольных точек;
- \* сигнализация пересечения рубежей приема/передачи;
- \* сигнализация пересечения/попадания в зоны запретов и ограничений;
- \* расчет и предложение оптимальной очередности захода воздушных судов на посадку;
- \* сигнализация нарушения параметров установленной траектории при заходе воздушного судна на посадку;
- \* корректировка плановой информации по фактическим (например, радарным) данным как в рамках одной системы, так и между смежными центрами УВД;
- \* присвоение/предложение свободных кодов ВРЛ воздушным судам, входящим в зону действия РЛК, для избежания повторяющихся кодов.

Расширение круга задач, подлежащих автоматизации, связано с реализацией концепции развития систем CNS/ATM.

#### 13.1.2. Предотвращение столкновений воздушных судов

Автоматизация функций предотвращения столкновений одного ВС с другими является важнейшей задачей по обеспечению безопасности полетов.

Проблема предотвращения столкновений ВС имеет три фазы своего решения. Первая — обнаружения и сигнализации об угрозах столкновения. Вторая состоит в выработке управляющих команд Третья — в исполнении этих команд. Ясно, что операции, относящиеся к третьей фазе, должны исполняться экипажами ВС как в ручном, так, возможно, и в автоматическом режиме. Что же касается двух первых фаз, то операции по ним могут проводиться как на земле, так и на борту ВС, но несомненно с помощью автоматизированных средств наблюдения, связи и обработки информации.

Определяющим для выбора варианта решения задачи является наличие полной информации о ВС в той области ВП, где создалась угроза столкновения.

Пока не существовало бортовых средств обнаружения опасных сближений, единственным способом разрешения ситуации было диспетчерское управление при радиолокационном контроле. Создание эффективных бортовых средств наблюдения и оснащение ими ВС существенно изменило положение. Пилот, образно говоря, «обрел глаза», в то время как ранее он имел только «уши».

Прежде чем перейти к реализации функций обнаружения и предотвращения конфликтных ситуаций в АС УВД, следует рассмотреть современные способы получения на борту ВС информации об угрозе столкновений. Этой цели служат комплексы радиотехнических и вычислительных средств, получивших название бортовых систем предотвращения столкновений

(БСПС). Ныне существует ряд систем, объединенных общим названием ACAS (Airborn Collision Avoidance System). Наибольшее распространение получила БСПС типа TCAS-II (Traffic Alert and Collision Avoidance System).

Подробное описание этой системы и работы экипажа с ней выходит за рамки этой книги и приводится в специальной литературе. Здесь рассматриваются лишь некоторые детали, прежде всего относящиеся к взаимодействию экипажа ВС со службой УВД. Необходимость рассмотрения этих вопросов обусловлена трудностями, с которыми сталкивается диспетчер УВД в условиях интенсивного воздушного движения.

БСПС могут взаимодействовать с диспетчерскими ВРЛ или работать независимо от них. Каждая БСПС позволяет в радиусе до 25 морских миль и более оценить некоторые параметры движения ВС, наличие угрозы столкновения, выработать рекомендации по предотвращению опасной (конфликтной) ситуации и провести согласование рекомендаций конфликтующих ВС.

Выполнение этих операций возможно, если ВС оборудованы БСПС и самолетными ответчиками, обеспеченными каналами дискретно-адресной связи, позволяющей обмениваться информацией как между бортами, так и с наземным диспетчерским пунктом. При этом каждому ВС присваивается свой числовой адрес.

Для того чтобы в дальнейшем избежать неопределенности, будем, как это принято, выделять собственное ВС, а всякое иное ВС, представляющее угрозу, называть нарушителем.

Принцип действия современной БСПС состоит в следующем. Приемопередатчик БСПС с помощью антенны периодически посылает в пространство импульсы запроса, содержащие собственный код (адрес), и принимает аналогичные сигналы от ВС, находящихся в зоне действия БСПС. На другой частоте последовательно излучаются зондирующие импульсы, содержащие закодированную информацию об адресе назначения, собственном адресе и барометрической высоте.

По ответным сигналам рассчитываются удаления, скорости сближения, курсовые углы, разности высот и скорости их изменения.

Для снижения риска перегрузки несущественными данными опрос производится тех ВС, которые находятся в слое  $\pm 3000$  футов по относительной высоте, а также ВС, расстояние до которых может сократиться до нуля за 40 с, а относительная высота — менее чем за 60 с (при сохранении неизменными текущих величин соответствующих скоростей).

Обнаружив угрозу по алгоритмам, один из которых будет подробно рассмотрен ниже, БСПС собственного ВС выбирает тип и рассчитывает параметры маневра уклонения в вертикальной плоскости.

Далее формируется и направляется ВС-нарушителю координационный запрос, содержащий рекомендацию «не проходить выше», если выбран маневр набора высоты, и «не снижаться» в противном случае. Если этот запрос получен на борту ВС-нарушителя до того, как на нем БСПС рассчитала свой маневр, то указанная рекомендация принимается, о чем сообщается на собственный ВС.

Если же до отправки собственного координационного запроса на борту ВС принят запрос нарушителя и тип маневра, указанного в нем, не противоречит собственному выбору, то ВС-нарушителю направляется подтверждающий ответ. В случае несовместимости маневров приоритет отдается решению, принятому на борту ВС с наименьшим адресом. Для того чтобы исключить неопределенность, которая может возникнуть при одновременной передаче координационных запросов, вводится специальная задержка, зависящая от разности адресов.

Окончательное решение-рекомендация о маневре отображается на дисплее VSI (Vertical Speed Indicator) и сообщается в виде команды голосом.

Информация о выполняемом маневре по каналу дискретно-адресной связи передается диспетчеру

На VSI в виде дуги зеленого цвета указывается диапазон рекомендуемых значений вертикальной скорости (на рис. 13.1 длина дуги соответствует скорости от 1500 до 2000 футов в минуту, т. е. от 7,5 до 10 м/с), а запрещенным вертикальным скоростям соответствует дуга красного цвета. Оцифровка нелинейной шкалы вертикальной скорости соответствует ее значениям, выраженным в тысячах футов в минуту.

Текущее значение вертикальной скорости собственного ВС индицируется стрелкой.

В центральной части экрана VSI отображается в плане воздушная обстановка, а именно положение ВС-нарушителей относительно собственного ВС на удалении до 6,5 морских миль (11,7



км) впереди и до 2,5 морских миль (4,5 км) в обратном направлении. На дисплее отображаются также и команды, переданные диспетчером службы движения на борт собственного ВС по каналу цифровой связи. Их отметки имеют форму и цвет, зависящие от степени угрозы. Сверху или снизу отметки цифрами проставляется их высота в сотнях футов относительно собственного ВС, а стрелками указывается направление вертикальной скорости.



Рис. 13.1. Вид экрана VSI в основном режиме TA/RA

Пилоты ВС выполняют только те маневры, которые соответствуют визуальным и речевым предупредительным и корректирующим рекомендациям БСПС.

Диспетчер службы УВД при получении информации от пилота о выполнении маневра в соответствии с рекомендациями БСПС воздерживается от указаний, которые противоречат рекомендациям.

Ответственность за выдерживание норм эшелонирования воздушными судами, участвующими в разрешении конфликта по командам БСПС, вновь возвращается диспетчеру службы УВД после наступления следующих событий:

- \* диспетчер подтвердил получение от пилота донесения о том, что его ВС снова вернулось на заданную траекторию;

- \* диспетчер подтвердил получение от пилота донесения о том, что его ВС возобновляет выполнение текущего диспетчерского разрешения, но выдает альтернативное, которое подтверждено экипажем.

Для БСПС, в которых обнаружение угрозы столкновений и выработка координированных маневров по устранению этой угрозы производятся автономно, нет необходимости использования диспетчерского управления и обмена информацией с землей, что повышает оперативность принятия и исполнения решения. В связи с этим при равной степени наблюдаемости, т. е. при одинаковых объеме навигационных параметров, доступных измерению, и погрешностях их измерений, предпочтение должно быть отдано бортовым, а не наземным СПС. На практике же из-за неполной степени наблюдаемости (в TCAS-II не измеряются курсовые углы), вычислительных ограничений и сложности отображения вырабатываются команды по маневру только в вертикальной плоскости.

Дальнейшее развитие БСПС связывают с использованием системы АЗН-В. Однако в этой системе наземный центр УВД будет выступать не только как равноправный, но и как приоритетный участник процесса обмена информацией, обеспечивающей полную наблюдаемость и оперативность, и вместе с тем значительно превосходящий по своим вычислительным возможностям все бортовые системы.

## 13.2. Функции предупреждения столкновений в АС УВД

### 13.2.1. Обнаружение и предотвращение конфликтных ситуаций

Предупреждение столкновений между ВС в воздухе и на земле, а также в полете с землей и наземными объектами при маневрировании представляет собой важнейший комплекс функций, обеспечивающих безопасность ВД и реализуемых экипажем ВС совместно с наземными службами. В связи с этим одна из главных задач диспетчера УВД — обеспечить соблюдение норм эшелонирования для каждого участника воздушного движения. Нормы эшелонирования можно представить геометрически в виде защитного объема, построенного вокруг воздушного судна, параметрами которого являются действующие в данной зоне ответственности нормы эшелонирования для



каждого ВС (вертикальное и продольное). Тогда конфликтную ситуацию следует определять как попадание в защитный объем контролируемого воздушного судна других участников воздушного движения.

Необходимо учитывать, что конфликтные ситуации отличаются большим разнообразием и их необходимо рассматривать в развитии.

Если под КС подразумевать сближение двух ВС, вызванное нарушением (по крайней мере одним из них) норм горизонтального и/или вертикального эшелонирования, то пор, потенциально конфликтной (ПКС) следует понимать ситуацию, которая приведет к конфликтной, если не изменить пространственно-временные траектории участвующих в ней самолетов.

Таким образом, предотвращение КС представляет собой процесс, развивающийся во времени и характеризующийся довольно большой неопределенностью.

Как правило, анализируя причинно-следственные связи, можно выяснить, кто является виновником возникновения ПКС (таким «нарушением» может быть, к примеру, гражданское ВС, отклонившееся от плановой пространственно-временной траектории, военный самолет, вышедший за пределы зоны тренировок (учений), или неуправляемый объект, такой как воздушный шар, аэростат или зонд).

Последовательность шагов процедуры предотвращения возникновения КС представлена на рис. 13.2.

Федеральные авиационные правила полетов в воздушном пространстве Российской Федерации содержат ряд положений, регламентирующих выполнение маневров по предотвращению столкновений.

Так, при полетах на пересекающихся курсах и на одной и той же высоте (эшелоне) командир, обнаруживший ВС слева, должен уменьшить высоту полета, а справа — ее увеличить, чтобы разность высот обеспечивала безопасное расхождение. Если изменить высоту полета невозможно (при полетах на малых и предельно малых высотах, при наличии облачности или других ограничений), следует выполнять маневр в горизонтальной плоскости.

В случае непреднамеренного сближения на встречных курсах и на одной высоте командиры ВС должны отвернуть вправо для их расхождения левыми бортами.

Для обгона впереди летящего ВС, выполняющего полет по ППП по воздушной трассе, обгоняющему ВС органами ОВД выделяется незанятый ближайший попутный эшелон.



Рис. 13.2. Структурная схема процесса обнаружения и разрешения ПКС

Алгоритм предотвращения КС должен удовлетворять ряду требований, отвечающих принятой в настоящее время технологии работы диспетчера службы управления воздушным движением.

\*Прогноз КС и обнаружение ПКС должны осуществляться с временным и пространственным запасом, достаточным для расчета маневра, передачи команд на борт ВС и выполнения маневра разрешения КС.

\*Анализ характера и причин возникновения ПКС должен определить способ дальнейших действий. Так, если ПКС вызвана маневрированием ВС в вертикальной плоскости, то должны быть приняты меры к изменению параметров маневра или его прекращению.

\*Разрешение КС, возникшей из-за сближения ВС на одном эшелоне, должно осуществляться маневром только одного ВС, что повышает безопасность и снижает напряженность как диспетчера, так и экипажа ВС.

\*Маневр осуществляется, как правило, только в горизонтальной плоскости. Это позволяет снизить риск возникновения «повторных» КС на одном высотном эшелоне. Маневр по высоте допускается в исключительных случаях.

\*Назначение маневрирующего ВС должно быть обоснованно прокомментировано диспетчером.

\*Вид (тип) маневра должен прямо и непосредственно выбираться из небольшого списка стандартных схем.

\*Стандартный маневр состоит не более чем из трех участков: S-образный отворот, прямолинейный отрезок (которого может и не быть) и S-образный маневр возврата на плановую траекторию.

Максимальное боковое ускорение (максимальный крен и темп его изменения) должно подчиняться ограничениям для данного типа ВС.

\*При выборе схемы (типа) маневра предпочтение отдается той, при которой обеспечивается минимальное отклонение от плановой (программной) пространственно-временной траектории.

\*Алгоритм обнаружения ПКС, выбора и расчета схемы разрешающего маневра должен работать в реальном времени и допускать коррекцию.

\*Параметры маневра и его схема должны наглядно представляться на экране видеомонитора.

Из сказанного следует, что существует принципиальная возможность формулировки задачи выбора оптимального маневра по минимуму интегрального

критерия вида  $I = \int_{t_0}^{t_b} |z(t)| dt$ , где  $t_0$  и  $t_b$  — моменты начала и окончания маневра,

а  $|z(t)|$  — модуль бокового отклонения от плановой траектории, однако практически приходится удовлетворяться не точными, а лишь приближенными решениями.

Наиболее эффективным (и самым трудоемким) является полный перебор, при котором тест на обнаружение конфликтной ситуации производится последовательно для каждого участника воздушного движения с остальными. Исходными данными в задаче обнаружения конфликтной ситуации являются: координаты участников воздушного движения;

\*нормы эшелонирования, которые зависят от следующих условий:

\*зоны ответственности, в которой находится контролируемое воздушное судно;

\*правил полетов, по которым осуществляется полет контролируемого воздушного судна;

\*направлений движения каждого из воздушных судов для определения типа взаиморасположения (параллельные/пересекающиеся/встречные курсы); тип источника информации, от которого получены данные о каждом воздушном судне (наличие вторичной информации, АЗН).

Вероятность правильного определения конфликтной ситуации зависит от полноты исходных данных.

В результате обнаружения и анализа конфликтной ситуации возможна реализация следующих функций: звуковая сигнализация;

выделение конфликтных объектов (цвет, обводка, соединение, мерцание);

\*автоматически или по требованию отображение дополнительной информации (текущее расстояние между объектами в плане и по высоте и т. д.);

\*автоматически или по требованию отображение рекомендаций по разрешению конфликтной ситуации (в виде рекомендованных курсов, векторов и т. п.);

\* занесение в журнал системы события со всеми сопутствующими параметрами для последующего расследования.

Для всех типов АС УВД наличие функции обнаружения и сигнализации конфликтных ситуаций является обязательным.

Для своевременной реакции системы и предупреждения диспетчера о возможных опасных ситуациях необходимо осуществлять прогнозирование воздушной обстановки. Процесс прогнозирования можно начинать уже на этапе планирования воздушного движения. Для этого каждый план должен иметь данные о плановой траектории движения и плановом времени начала полета (вылет или вход в зону).

Для воздушных судов, сопровождаемых по данным радаров (или другим сенсорам), расчет прогнозируемой траектории движения осуществляется при каждом обновлении координат. В расчете участвуют следующие параметры: путевая скорость, курс (путевой угол и, возможно, скорость его изменения), плановая траектория, глубина прогнозирования.

Расчет прогнозируемой траектории движения обычно производится одним из двух относительно простых алгоритмов. Выбор алгоритма зависит от наличия плановой траектории и степени достоверности этой траектории (точного совпадения реальной траектории движения с плановой, как правило, нет; этот вопрос ниже обсуждается более подробно).

По первому алгоритму расчет прогнозируемого положения осуществляется по прямой линии (первая модель движения) на основании данных о путевой скорости и курсе (путевом угле).

По второму алгоритму прогнозируемая траектория состоит из двух участков:

1) траектория от последнего положения воздушного судна до точки выхода на плановую трассу;

2) траектория от точки выхода на плановую трассу и далее по ней.

Выбор глубины прогнозирования производится исходя из категории решаемых задач.

### 13. 2. 2. Прогноз воздушной обстановки

В основе решения задачи обнаружения лежит прогнозирование воздушной обстановки потенциально конфликтных ситуаций. Эта функция позволяет своевременно предупредить возникновение конфликтной ситуации.

Процедура определения ПКС осуществляется при каждом обновлении координат воздушного судна по следующему алгоритму:

1. Составляется двумерная таблица (время—положение) расчетных положений на весь прогнозируемый период (например, 6 мин) с некоторым шагом (например, 6 с).

2. Производится проверка на определение конфликтной ситуации по алгоритму, описанному выше, для каждого элемента таблицы контролируемого воздушного судна со всеми соответствующими элементами расчетных таблиц других воздушных судов.

3. Если в результате была определена конфликтная ситуация на одном из шагов последовательной проверки (пункт 2), то фиксируются границы конфликтной зоны.

Необходимая глубина прогнозирования воздушной обстановки при определении ПКС рассчитывается с учетом следующих основных параметров:

возможная максимальная скорость сближения воздушных судов; время принятия решения диспетчером УВД для разрешения возможной конфликтной ситуации;

время на передачу команды диспетчером УВД экипажам конфликтующих воздушных судов;

время реакции пилота для осуществления маневра.

### 13.2.3 Обнаружение потенциально конфликтных ситуаций

Величина шага при расчете временной таблицы соответствует минимальному интервалу обновления информации (из всех имеющихся сенсоров) о положении воздушных судов.

По результатам обнаружения потенциально конфликтной ситуации в различных АС УВД возможна реализация следующих функций:

\* звуковая сигнализация;

\* выделение конфликтных объектов (цвет, обводка, соединение, мерцание);

\* автоматически или по требованию отображение дополнительной ин

формации (текущее расстояние между объектами в плане и по высоте, оставшееся время до нарушения интервалов и т. д.);

\* автоматически или по требованию отображение рекомендаций по разрешению ПКС (в виде рекомендованных курсов, векторов, траекторий и т. п.).

Для АС УВД наличие функции обнаружения и сигнализации потенциально конфликтных ситуаций не является обязательным и носит рекомендательный характер.

#### 13.2.4. Проблема ложных тревог

Обнаружение и сигнализация конфликтных ситуаций и ПКС позволяют существенно повысить уровень безопасности полетов. Однако при реализации этих функций возможны ложные срабатывания. Рассмотрим причины возникновения ложных тревог при определении КС и ПКС.

Причины возникновения ложных тревог при определении КС:

\* недостаток и недостоверность исходных данных для определения точных норм эшелонирования;

погрешности измерений или сбой в работе источников информации (первичного/вторичного радиолокатора и других сенсоров).

Причины возникновения ложных тревог при определении ПКС:

\* отсутствие или недостоверность плановой траектории (особенно в маневренных зонах, например в зоне взлета и посадки);

\* отсутствие планового вертикального профиля;

\* значительные изменения скоростного режима (например, в зоне взлета и посадки).

Пример пропуска конфликта и ложной тревоги представлен на рис. 13.3.

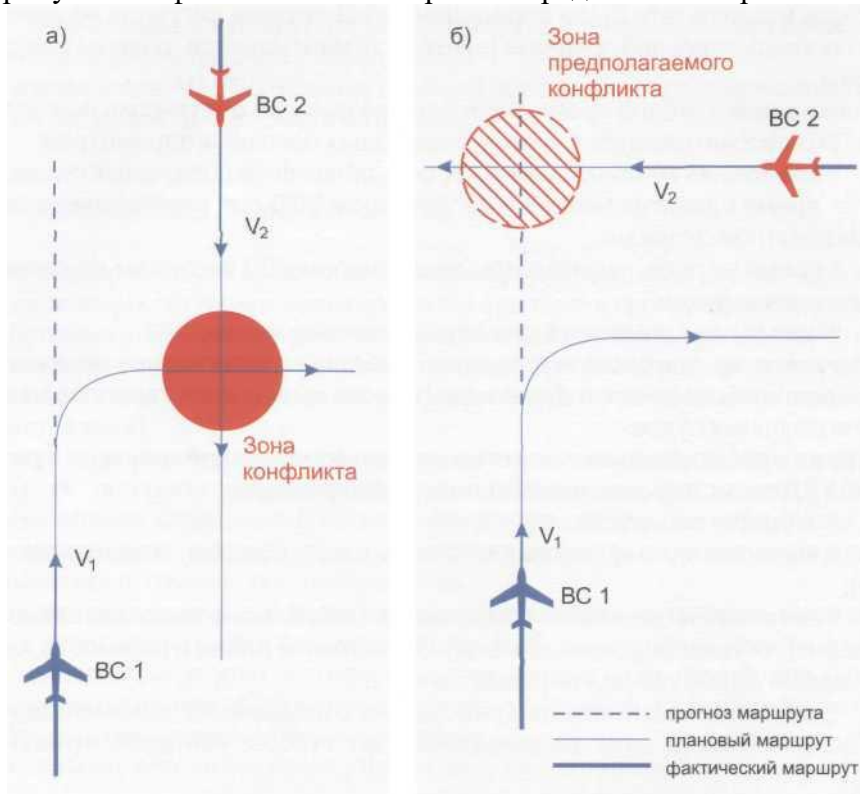


Рис. 13.3. Пример пропуска конфликта (а) и ложной тревоги (б)

Одной из задач АС УВД является сбор полных исходных данных для определения КС и ПКС в целях максимального уменьшения вероятности ложных тревог. Вероятность ложных тревог при КС и ПКС является одним из параметров тактико-технических характеристик АС УВД.

### 13.3. Использование плановой информации

#### 13.3.1. Оперативная плановая информация

Прогноз движения строится исходя из предыстории с учетом ограничений на управляющие воздействия, формируемые на борту и поэтому неизвестные на земле.

Эта неопределенность относительно управляющих воздействий приводит к существенному расширению областей (множеств) прогноза. Другие неизвестные факторы (например, ошибки измерения, ветровые возмущения) имеют значительно меньший удельный вес и не так значительно ухудшают траекторную оценку. Учет априорной информации о планах движения может существенно улучшить оценивание.

Идеальная система аэроконтроля должна быть «прозрачной», ибо все участники процесса УВД (как центры управления, так и экипажи ВС) в равной мере заинтересованы в информативности, наблюдаемости и эффективности траекторией оценки.

Следует различать плановую информацию двух родов.

Первая — предварительная информация о плане полета. Фактически это сведения, которые известны в службе движения до начала выполнения полета. Они включают следующие данные: основные координатные точки, плановое (неточное, т. е. не фактическое) время вылета, плановое время входа в зону управления и т. п. Следует сказать, что в действующих системах УВД (при отсутствии обмена координатной информацией между смежными центрами управления) эти предварительные сведения корректируются выборочно (как правило, только время пролета граничных точек). Этих сведений достаточно для идентификации воздушного судна, но для траекторной оценки они практически бесполезны из-за больших погрешностей.

Информация второго рода—оперативная, представляющая планово-временную траекторию ВС, достаточно полные и точные сведения о которой имеются на борту, и ее прогноз по результатам оперативных навигационных расчетов.

Эта информация не использовалась в траекторной оценке, так как была недоступна из-за отсутствия обмена данными между центрами УВД и ВС. Именно использование этой информации может существенно повысить эффективность траекторной обработки, особенно прогноз траектории (а следовательно, эффективность решения задач обнаружения и разрешения потенциально конфликтных ситуаций).

Поскольку с увеличением времени прогноза быстро возрастают погрешности, целесообразно задаться необходимым временем прогноза, достаточным для разрешения любой ситуации. Выбор необходимого времени прогноза является самостоятельной задачей.

Эффективную процедуру обнаружения конфликтов можно представить таким образом. С борта ВС в центр управления передается прогноз пространственно-временной траектории на фиксированное время, например 10 минут. Наземный вычислительный комплекс рассчитывает прогнозируемые координаты исходя из фактического положения ВС и по переданным с борта данным о намерениях. Задачей же бортового комплекса (БНК) является выдерживание (с заданными точностью и ограничениями) переданной на землю пространственно-временной траектории. Естественно, что в чрезвычайных ситуациях, например для предотвращения столкновения, эта траектория может быть изменена.

Радикальное решение этих задач возможно при автоматическом зависимом наблюдении.

### 13.3.2. Функция корректировок плановой траектории

Коррекция плановой пространственно-временной траектории полезна и при радиолокационном контроле (в отсутствие АЗН).

Отклонения от плана полета могут быть вызваны рядом причин, в числе которых:

\*задержка вылета;

\*несоответствие фактической путевой скорости плановой величине;

\*отклонение от маршрута в связи с обходом грозы, разрешением конфликтных ситуаций и пр.;

\*неточное выдерживание заданной (программной) траектории (значительные боковые отклонения, раннее или позднее начало разворота и т. д.).

Оперативная коррекция плановой траектории, получившая название «маршрут по плану», выполняется периодически по данным, полученным при вторичной обработке РЛ-информации: фактического местоположения ВС и параметров его движения (путевой скорости и путевого угла). На основе этих данных пересчитываются все времена, в том числе прохождения контрольных точек, ПОД и ППМ, входа в зоны и выхода из них и т. д.

При расчете делаются следующие предположения:

- \* путевая скорость будет в дальнейшем сохранять свою величину;
- \* устранения возможных отклонений ВС будут производиться с возвратом на заданный маршрут.

### **13.4. Обнаружение и разрешение потенциально конфликтных ситуаций при полной наблюдаемости**

#### **13.4.1. Сравнительный анализ бортовых и наземных средств**

В настоящее время интенсивно разрабатываются новые алгоритмы обнаружения и разрешения ПКС и КС. Они основаны на более эффективных методах прогноза и используют новые источники информации, обеспечивающие наиболее полную степень наблюдаемости и точность измерений. К ним относятся АЗН и системы, использующие линии передачи данных «борт—земля» и искусственные спутники Земли.

При анализе новых алгоритмов будем опираться на сравнение с известными бортовыми системами предотвращения столкновений (БСПС) типа TCAS. Выбор объекта сравнения не случаен. Современные БСПС (а аппаратура TCAS II является одной из лучших систем такого типа) имеют ряд общих черт с АЗН. К ним относятся обмен информацией с наземным пунктом управления (в том числе и в автоматическом режиме), наличие на борту информации о воздушной обстановке и представление ее в символьно-графической форме на дисплее, расположенном на приборной доске кабины ВС.

Сравнительный анализ характеристик БСПС и возможностей АЗН по реализации функций предотвращения столкновений показывает, что по всем (без исключения) параметрам АЗН превосходит любые другие системы.

\*Радиус действия (более 180 км по сравнению с 30-40 км у БСПС) обеспечивает глубину и полноту картины воздушной обстановки в области, достаточной для своевременного обнаружения ПКС и предотвращения опасных сближений (более чем для одной пары ВС).

\*Состав передаваемого сообщения содержит не только географические координаты (пересчитываемые в линейные координаты ВС), но также угловые и ряд производных. При высокой точности измерений это уменьшает степень неопределенности и позволяет, с одной стороны, повысить достоверность прогноза, а с другой — использовать более совершенные и эффективные способы и алгоритмы разрешения ПКС с применением пространственного маневрирования (а не только вертикального маневра, как в случае TCAS I,11)

С экономической точки зрения, как показывают расчеты, общие затраты на реализацию функции СПС при АЗН значительно ниже, чем стоимость оборудования, необходимого для создания и поддержания автономных систем БСПС радиолокационного типа.

Анализ широких возможностей, предоставляемых АЗН для обнаружения и разрешения ПКС, следует начать с преимуществ, которые имеет эта система по сравнению с традиционными радиотехническими средствами СПС как наземными, так и бортовыми.

К достоинствам АЗН-В, позволяющим успешно решать задачи предотвращения опасных сближений, относятся следующие:

\*высокая точность измерения координат и параметров движения, по крайней мере на порядок превышающая РТС;

\*синхронность получения информации на земле и на борту ВС (или незначительное запаздывание в получении информации);

\*большой объем пространства, доступного для наблюдения;

\*информационная однородность, выражающаяся в том, что все участники движения и наземные пункты УВД получают информацию в равных объемах,

\*высокая степень наблюдаемости параметров состояния объектов, проявляющаяся в том, что кроме трех пространственных координат измеряются путевые углы, путевая и вертикальная скорости, а также передается информация о намерениях, что значительно облегчает прогноз ВО.

Все указанные выше характеристики позволяют решить задачу предотвращения столкновений как в воздухе, так и на земле эффективно и более качественно, чем существующие системы (наземные и бортовые).

Однако для реализации этих потенциальных возможностей должен быть соблюден ряд важных условий:

\*высокие требования по быстродействию в процедурах обнаружения ПКС, выработки рекомендаций (решений) по предотвращению опасных сближений, выбора наилучшего решения, формирования и передачи команд и их своевременного и четкого исполнения;

\*использование многомерного функционала, на основе анализа которого вырабатываются решения и рекомендации, с учетом влияния изменений в характере движения двух конфликтующих ВС на общую воздушную обстановку, прежде всего в зонах с высокой интенсивностью движения (опасность возникновения «эффекта домино»);

\*учет фактора неопределенности, связанного с неточностью и недостоверностью навигационной информации, временными задержками в выработке, передаче, принятии и исполнении команд (рекомендаций), а также с неточным их исполнением или с неправильными (ошибочными) действиями экипажа ВС;

\*минимизация отклонений от плановых (программных) пространственно-временных траекторий, которая состоит в том, что изменения траектории полета, предпринимаемые в целях разрешения угрозы столкновения, должны быть наименьшими.

### 13.4.2. Модифицированный $\tau$ -критерий.

Перейдем к обсуждению новых эффективных алгоритмов обнаружения ПКС. Прежде всего, отметим идеологическое сходство процедур обнаружения и предотвращения опасных сближений и дискретного наблюдения на основе информационных множеств: и в том, и в другом случае основу составляет прогноз, использующий предысторию процесса (в виде либо самих предыдущих измерений, либо вычисленных параметров движения), а также некоторые предположения о характере движения. Существенная разница заключается в том, что известные алгоритмы прогноза ПКС основаны на предположении о том, что потенциально конфликтующие ВС совершают полет с постоянными путевым углом и путевой скоростью. В отличие от этого в соответствии с концепцией наблюдения—управления в условиях неопределенности информационные множества прогноза строятся в предположении наличия возможного изменения характера движения при условии ограниченности влияющих факторов. (Заметим, впрочем, что в обычных детерминистских алгоритмах наличие неопределенности учитывается «в неявном виде», а именно введением различного рода «запасов».)

С целью сделать алгоритмы не только реалистичными, но и корректными следует учитывать неопределенность в явном виде. Этому и служат информационные множества. Для того чтобы подчеркнуть как сходство, так и различия алгоритмов БСПС, с одной стороны, и предлагаемого подхода — с другой, используем терминологию, принятую при описании  $\tau$ -критерия обнаружения опасных сближений. Кинематическая схема, иллюстрирующая метод и критерий, приведена на рис. 13.4. Рассматривается плоское движение (в горизонтальной плоскости) двух ВС, одно из которых — «собственный», а другое — «ВС-нарушитель». Обозначим положение первого ВС в момент времени  $t^*$  (момент замера) через  $O_1$ , положение второго — через  $O_2$ -

Соответственно буквами  $V_1$  и  $V_2$  обозначены векторы (путевых) скоростей, которые предполагаются неизменными на время прогноза, а также  $D^*$  — рас-



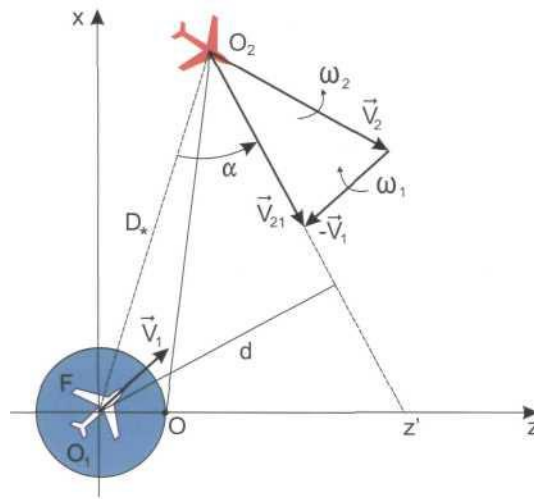


Рис. 13.4. Критерий опасного сближения

стояние между ВС в момент времени  $t^*$ . Вектор скорости относительного движения определяется векторной разностью:

$$\vec{V}_{21} = \vec{V}_2 - \vec{V}_1.$$

Интервал времени  $t = t^* - t_0$ , где  $t_0$  — момент времени, соответствующий минимальному расстоянию между конфликтующими ВС, находится из очевидного соотношения:

$$\tau = \frac{D_*}{V_{21} \cos \alpha},$$

где  $V_{21} = V_{21}$  — модуль вектора относительной скорости.

Поменяв местами собственный ВС и ВС-нарушитель, можно провести аналогичные построения. Из подобия соответствующих треугольников скоростей следует  $D_1 = D_* \sin \alpha$ . В БСПС предусматривается измерение (вычисление) скорости изменения расстояния до ВС-нарушителя, в связи с чем справедливо соотношение:

$$\dot{\tau} = \frac{D_* \cos^2 \alpha}{V_*} = \dot{\tau}_* \cos^2 \alpha, \quad \dot{\tau}_* = \frac{D_*}{V_*},$$

где  $V_* = -\dot{D}_*$  в момент времени  $t$ . (знак « $\dot{\phantom{x}}$ » означает дифференцирование по времени).

Эти соотношения лежат в основе так называемого х-критерия, который позволяет оценить время, оставшееся до момента, когда расстояние между ВС станет минимальным (если оно положительно, то называется дистанцией пролета):

$$D_2^* = D_* \sin \alpha = d.$$

Очевидно, что при  $\alpha = 0$  это расстояние также равно нулю. Если в БСПС измеряется расстояние  $D^*$  и вычисляется скорость его изменения  $V$ , в данный момент  $t^*$  и не измеряется курсовой угол, то по значению  $t^*$  при  $\alpha = 0$  нельзя однозначно спрогнозировать опасное сближение. Действительно, в предположении, что ВС летят постоянными курсами и с постоянными путевыми скоростями, как нетрудно показать, справедливо соотношение:

$$\tau_* = \frac{D_*^2}{V_{21}^2 \tau} = \tau + \frac{d^2}{V_{21}^2 \tau}.$$

Отсюда следует, что величина  $x$ , при  $\alpha = 0$  дает завышенную оценку  $\tau$ , что приводит к появлению ложных тревог. В связи с этим для принятия решения о наличии ПКС и начале выполнения маневра используется критерий следующего вида:  $x^* < x_k + D_m / V$ , где  $x_k$  — заданное пороговое значение интервала времени, получившее название критического,  $D_m > 0$  — дополнительное расстояние, учитывающее возможность маневрирования ВС-нарушителя.

Достоинство указанного критерия опасного сближения состоит в том, что он не предполагает точного измерения курсового угла ВС-нарушителя. Он реализуется, как известно, в БСПС TCAS II, в состав которой входит относительно простая (и поэтому дешевая) антенная система, не позволяющая определять точные значения угловых координат ВС-нарушителя. В связи с этим хотя она и предоставляет экипажу информацию о воздушной обстановке и опасных сближениях, а также

и некоторые рекомендации, но не обеспечивает возможности маневрирования в горизонтальной плоскости, единственным способом разрешения конфликта остается вертикальный маневр.

Отметим, что минимально возможное расстояние между ВС, движущимися пересекающимися курсами, из физических соображений не может быть меньше, чем величина, определяемая защитным объемом. При оценке возможности разрешения ПКС с использованием  $x$ -критерия следует также учесть интервал времени, в течение которого пилот, получив информацию, воспринимает ее и анализирует, оценивая степень опасности возникшей ситуации, осмысливает содержащуюся в сообщении рекомендацию и выполняет требуемый маневр. На все это, как показывает опыт, уходит от 20-30 с до нескольких минут. Очевидно, что время прогноза должно быть не меньше. На таких промежутках времени отклонения от программной траектории, вызванные такими факторами, как неточность выдерживания курса, возникновение крена, сноса под влиянием ветра и других внешних возмущений, могут достигать значительных величин. Для того чтобы сделать оценки типат-критерия более реалистичными и корректными математически, следует строить соответствующее множество прогноза. При их построении можно использовать методы аппроксимации.

Для построения множества прогноза  $G(t^*)$  следует интегрировать систему уравнений (1.4). На его размеры существенное влияние оказывает наличие неопределенности замера  $H(t)$ . Для оценки расстояния до множества прогноза используем определение проекции точки  $O_i$  на множество  $G(t^*)$ . На рис. 13.4 показано множество  $F$ , задающее область допустимых сближений (она является проекцией защитного объема на плоскость  $OXZ$ ). Предлагаемую модификацию  $t$ -критерия, однако, нельзя считать радикальным решением задачи БСПС. Действительно, точность и достоверность обнаружения ПКС и эффективное их разрешение возможны при условии соответствующего повышения степени наблюдаемости подвижных объектов и снижения погрешности измерения их параметров состояния.

В БСПС радиолокационного типа осуществляется измерение полярных координат конфликтующих ВС в горизонтальной плоскости и их относительной высоты. Первые производные (скорости) вычисляются с помощью дифференцирования. При этом если точность определения дальности достаточно высока (с.к.о. составляет 14,5 м), то погрешность измерения пеленга системой TCAS II лежит в пределах  $10^\circ$ . Элементарные расчеты показывают, что на удалении 30 км тангенциальная погрешность определения координат доходит до 5 км, что определяет размер множества неопределенности  $H(L)$ . В то же самое время, в соответствии с Федеральными правилами использования ВП, нормы продольного эшелонирования при полетах по ПВП на одной высоте составляют 2 км, а бокового эшелонирования при обгоне впереди летящего ВС — не менее 500 м. Сопоставление этих величин с точностными характеристиками БСПС позволяет сделать вывод о том, что информационные множества замеров и соответственно множества прогноза имеют большие размеры и для гарантированного решения задач обнаружения и предотвращения ПКС придется предусматривать «запасы» значительной величины. Это, однако, неизбежно приведет к увеличению протяженности области маневра как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости и, как следствие, к риску возникновения эффекта «домино», когда разрешение одной ПКС порождает следующую (наведенную) и т. д.

Переход к системе TCAS III не может коренным образом изменить ситуацию, так как, несмотря на повышение информативности за счет расширения числа измеряемых координат, точность измерений остается недостаточной, а улучшения достигаются слишком высокой ценой (путем усложнения оборудования, в первую очередь антенной системы).

### 13.4.3. информационная задача сближения-уклонения

При некоторых допущениях задачу предотвращения опасных сближений (столкновений) можно свести к игровой задаче сближения-уклонения (или преследования). Введем необходимую формализацию.

На плоскости разностная подвижная система координат вводится так, как показано на рис 13.4. Около уклоняющегося игрока (для определенности им будем считать собственное ВС) построим круговую запретную область  $F$  радиусом  $R_f$  с центром, совпадающим с уклоняющимся (точка  $O$ ). Пусть по полученной с помощью АЗН информации сближающийся игрок (ВС-нарушитель) находится в точке  $O_2$ . Через нее проведем касательную к окружности  $M$  — границе

области F. Получим ось OX (O — точка касания). Ось OZ проведем через точки O и O|. Легко видеть, что система координат OXZ — прямоугольная, и она может быть построена при условии  $D > R_f$ , где D — расстояние между BC.

Цель первого игрока (уклоняющегося) состоит в минимизации величины промаха  $-z$  (при условии  $z^* > 0$ ). Второй, сближающийся игрок преследует цель минимизировать величину:

$$|z - R_f|,$$

где  $z$  — значение координаты  $z$  в момент времени, когда координата  $x$  становится равной нулю:  $x = 0$ .

Оптимальное решение можно найти при условии  $V = V_0 = \text{const}$ ; при этом время достижения точки O равно  $t$  (см. соответствующую для вычисления параметра  $x$  формулу).

С другой стороны, есть общность с известной задачей преследования при неполной информации.

В качестве управлений первого и второго игроков будем рассматривать угловые скорости  $\omega_1$  и  $\omega_2$  поворота векторов  $V_1$  и  $V_2$  соответственно, при этом модули скоростей на интервале прогноза считаются постоянными. Угловые скорости подчиняются ограничениям:

$$|\omega_1| \leq \omega_{1 \max}, \quad |\omega_2| \leq \omega_{2 \max}.$$

Следует также учесть естественные ограничения на угловые ускорения. Это можно сделать, введя геометрические ограничения или же с помощью дополнительных дифференциальных уравнений, учитывающих динамику изменения угла крена.

Возможно также введение интервальных ограничений, учитывающих «расход управлений» при маневрировании.

Все эти ограничения для уклоняющегося ВС определяют предельную возможность разрешения ПКС. Для ВС-нарушителя (сближающегося) задание ограничений связано с предположением о характере его поведения. Если исключить его «злонамеренность» или наличие грубых ошибочных действий, то ограничения определяют точность следования по программной траектории (точность выдерживания курса). При этом величина  $\omega_2$  невелика и справедливо предположение о «слабой управляемости», что упрощает нахождение маневра.

Оптимальное решение задачи предотвращения опасных сближений, включая нахождение оптимальных стратегий игроков, пока еще только стоит в повестке дня. Однако есть реальная возможность решить более узкую задачу, относящуюся к типу информационных, а именно: на основе анализа наблюдений сформулировать условия, при которых обнаруженная ПКС может быть гарантированно разрешена с помощью маневра в горизонтальной плоскости с минимальными отклонениями от прежней траектории и при соблюдении всех ограничений.

При этом надо учитывать дискретный характер наблюдений и, возможно, их погрешности. В этих условиях точка прогноза  $z^*$  не является единственно возможной и, стало быть, задачу следует решать с использованием информационных множеств.

## Глава 14. ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ

### 14.1. Виды информации

#### 14.1.1 Сбор информации

Сбору и передаче информации в автоматизированных системах управления воздушным движением и в комплексах средств автоматизации центров УВД отводится важное место. Виды информации, циркулирующей в информационно-вычислительных системах, отличаются большим разнообразием. Однако их общим и главным различием является динамичность. Это обусловлено необходимостью оперативно реагировать на изменение обстановки в воздушном пространстве. Приведем перечень видов и типов данных, упорядоченный по степени динамичности, т. е. по темпу их обновления.

\*Данные результатов наблюдений за подвижными объектами в ВП, в том числе:

\*текущие координаты ВС, полученные от ПРЛ, ВРЛ и АРП;

\*информация о местоположении и траектории движения, полученная по ЛПД системы АЗН.

Дополнительная информация (бортовой номер, остаток топлива, высота и др.), источником которой являются самолетные ответчики (СО) и система АЗН.

Параметры движения наблюдаемых объектов, полученные в результате вторичной и третичной обработки радиолокационных данных, а также при АЗН от бортовых навигационно-пилотажных комплексов.

\* Оперативный, т. е. скорректированный поданным наблюдений, план полета.

Метеоинформация.

\* Данные о режимах работы и состоянии средств АНО — наблюдения, связи и навигации.

\* Данные об АНО и ИВП, в том числе расчеты за аэронавигационное обслуживание на трассах и аэродромах.

\* Плановая информация.

\* Служебная информация.

Как следует из этого далеко не полного перечня, информация, циркулирующая в информационно-вычислительных системах, которыми являются АС УВД, отличается большим разнообразием. В связи с этим возникает проблема совместимости между источниками и потребителями, а также и средствами передачи информации.

Значительное количество используемых ныне первичных радиолокаторов имеют на выходе сигнал в аналоговой форме

АРП выдают информацию как в аналоговом, так и в цифровом виде. Метеоинформация представляется в цифро-буквенной форме. Остальная информация передается с помощью различных кодов.

#### 14.1.2. Характеристики источников информации о воздушной обстановке

Динамика изменения информации о воздушной обстановке высока, а цена ее значительна. Действительно, за одну секунду дозвуковой транспортный самолет пролетает при посадке до 100 м, а на трассе — до 250 м, при сверхзвуковой скорости эта величина составляет 700 м и более. Чем выше скорость (частота) изменения сигнала, тем шире его частотный спектр. А чем больше полоса пропускания линии передачи данных (ЛПД), тем она сложнее и дороже.

По известной радиотехнической формуле для передачи одиночного импульса с допустимыми искажениями требуется полоса пропускания  $Af = 1,37/t$ , где  $t$  — длительность импульса. Таким образом, если длительность видеосигнала на выходе приемника радиолокатора составляет 1 мкс, то для его передачи требуется полоса примерно в 1,5 МГц. Для передачи таких сигналов даже на относительно небольшие расстояния приходится использовать коаксиальные кабели и специальные линейные усилители, согласующие устройства, а также формирующие и корректирующие фильтры. Сказанное выше носит скорее умозрительный характер и приводится для полноты картины, так как в современных системах аналоговая информация не транслируется (в отличие от АС УВД первых поколений, где в связи с их невысокой надежностью предусматривались так называемые шунты, по которым видеосигналы с выхода приемника РЛС подавались непосредственно на индикаторы воздушной обстановки с радиальной разверткой).

| Номер байта | Номер разряда      |   |   |   |   |          |   |   |   |   |                       |    |    |    |    |
|-------------|--------------------|---|---|---|---|----------|---|---|---|---|-----------------------|----|----|----|----|
|             | 0                  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5        | 6 | 7 | 8 | 9 | 10                    | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 1, 2        | ВРФ                |   |   |   |   | ВИ       |   |   |   |   | ТС=1                  |    |    |    |    |
| 3, 4        |                    |   |   |   |   | Z        |   |   |   |   | ИКИ ДС=0              |    |    |    |    |
| 5, 6        |                    |   |   |   |   | X        |   |   |   |   | НР ЗН                 |    |    |    |    |
| 7, 8        | ИБ                 |   |   |   |   |          |   |   |   |   |                       |    |    |    |    |
| 9, 10       | НБ младшие разряды |   |   |   |   | Б        |   |   |   |   | КО ИВ старшие разряды |    |    |    |    |
| 11, 12      |                    |   |   |   |   | ОТ БО УВ |   |   |   |   | ИБ                    |    |    |    |    |

Рис. 14.1. Примерный вид сообщения, передаваемого аппаратурой передачи данных от АПОИ «Вулкса»:

ВРФ — время фактического обнаружения цели; ВИ — вид информации (наличие информации о высоте, коде ответчика и т. д.); ТС — тип сообщения (кодограмма о воздушном судне, кодограмма «Север» и т. д.); Z, X — координаты цели (прямоугольные); ДС — сообщение об одном (0) или о двух (1) ВС; НР — неразрешение; ЗН — знак; ИБ — индекс борта (номер); Б — тип сигнала «Бедствие» (1 — «нападение на экипаж»; 2 — «отказ радио»; 3 — «бедствие»); КО — канал ответа; ОТ — остаток топлива; БО — «Бедствие» (по отечественному каналу); УВ — уровень отсчета высоты (0 — относительная, 1 — абсолютная); ИКИ — источник координатной информации (первичный канал, канал УВД, канал RBS); НБ — бортовой номер (код ответчика)

Требования к полосе пропускания ЛПД можно существенно снизить, если применить квантование сигналов (см. приложение 16) и, учитывая, что период обновления информации имеет конечную величину, передавать информацию «по кадрам». Так, для ПРЛ, приняв количество элементарных разрешающих площадей (объемов) равным  $N_r = 0,3 \cdot 10^5$  и период вращения антенны  $T_0 = 6$  с, при бинарном квантовании получим требуемую полосу пропускания  $A_f = N_r / T_0 = 0,1 \cdot 10^6 \text{ Гц} = 100 \text{ кГц}$ . Теперь можно перейти к терминам информационная производительность источника сообщений и пропускная способность ЛПД (см. приложение 4). В случае бинарного квантования полосе частот  $A_f = 100 \text{ кГц}$  соответствует числовое значение пропускной способности, равное 100 кбит/с. При этом, однако, требования к ЛПД остаются завышенными. Действительно, при такой передаче кадров значительная доля времени тратится на «пустые места». Поэтому значительно выгоднее передавать не оцифрованное «сырое видео», а координаты обнаруженных радиолокационных отметок.

Это возможно при наличии АПОИ. Представление о содержании и объеме сообщения дает рис. 14.1. Одно сообщение может нести информацию либо об одной активной, либо о двух пассивных отметках. И в том, и в другом случае длина сообщения составляет 117 бит. Таким образом, если общее число целей (включая, возможно, ложные) составляет 100, то общий объем информации равен примерно 12 кбит и при периоде вращения антенны  $T_0 = 6$  с информационная производительность (и средняя скорость передачи информации соответственно) составит 2 кбит/с.

Приведенные выше оценки являются средними, и поэтому может иметь место значительное запаздывание передачи данных по отношению к фактическому моменту измерения (обнаружения отметки). Для уменьшения величины этого запаздывания следует использовать более скоростную аппаратуру передачи данных.

## 14.2. Способы и средства передачи данных

### 14.2.1. Кодирование информации

В информационно-вычислительных системах с сетевой структурой информация передается в виде кодированных сообщений.

Кодирование—представление сообщения последовательностью элементарных символов (см. приложение 16).

Наличие избыточности позволяет ставить вопрос о сжатии информации без ее потери в передаваемых сообщениях.

Основные используемые коды. Широко используются двоичные коды следующих типов:

\*EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code) — символы кодируются восемью битами; код популярен благодаря его использованию в IBM;

\*ASCII (American Standards Committee for Information Interchange) — семибитовый двоичный код.

Оба этих кода включают битовые комбинации для печатаемых символов и некоторых распространенных командных слов типа NUL, CR, ACK, NAK и др.

Для кодировки русского текста нужно вводить дополнительные битовые комбинации. Семибитовая кодировка здесь уже недостаточна. В восьмибитовой кодировке нужно под русские символы отводить двоичные комбинации, не занятые в общепринятом коде, чтобы сохранять неизменной кодировку латинских букв и других символов. Так возникла кодировка КОИ-8, затем при появлении персональных ЭВМ — альтернативная кодировка и при переходе к Windows — кодировка 1251.

Асинхронное и синхронное кодирование. Для правильного распознавания позиций символов в передаваемом сообщении получатель должен знать границы передаваемых элементов сообщения.

Для этого необходима синхронизация передатчика и приемника. Использование специального дополнительного провода для сигналов синхронизации (в этом случае имеем битовую синхронизацию) слишком дорого, поэтому применяют другие способы синхронизации.

В асинхронном режиме применяют коды, в которых явно выделены границы каждого символа (байта) специальными стартовым и стоповым символами. Подобные побайтно выделенные коды называют байт-ориентированными, а способ передачи — байтовой синхронизацией. Однако при этом увеличивается число битов, не относящихся собственно к сообщению.

В синхронном режиме синхронизм поддерживается во время передачи всего информационного блока без обрамления каждого байта. Такие коды называют бит-ориентированными. Для входа в синхронизм нужно обозначать границы лишь всего передаваемого блока информации с помощью специальных начальной и конечной комбинаций байтов (обычно это двубайтовые комбинации). В этом случае синхронизация называется блочной (фреймовой).

Для обрамления текстового блока (текст состоит только из печатаемых символов) можно использовать символы, отличающиеся от печатаемых. Для обрамления двоичных блоков применяют специальный символ (обозначим его DLE), который благодаря стаффингу становится уникальным. Уникальность заключается в том, что если DLE встречается внутри блока, то сразу вслед за ним вставляется еще один DLE. Приемник будет игнорировать каждый второй идущий подряд символ DLE. Если же DLE встречается без добавления, то это граница блока.

Манчестерское кодирование. Передаваемые данные представляются электрическими сигналами. Возможны коды RZ (Return-to-zero), использующие дву-полярные сигналы для изображения 1 и 0, и коды NRZ (non-return-to-zero) — коды без возвращения к нулю.

Для кодирования информации наибольшее распространение получили самосинхронизирующиеся коды, так как при этом отпадает необходимость иметь дополнительную линию для передачи синхросигналов между узлами сети. В ЛВС чаще других применяют манчестерский код, одна из разновидностей которого пояснена на рис. 14.2. Самосинхронизация обеспечивается благодаря формированию синхроимпульсов из перепадов, имеющих в каждом такте манчестерского кода.

Представленная на рис. 14.2 разновидность манчестерского кода используется при байт-ориентированном кодировании, при котором каждый байт, состоящий из 1 и 0, обрамляется символами j и k. В этом случае станция, получившая полномочия, начинает передавать серию сигналов, для того чтобы станция-получатель могла войти в синхронизм с передающей станцией. После нескольких пар jk начинают передаваться байты самого сообщения. Различение

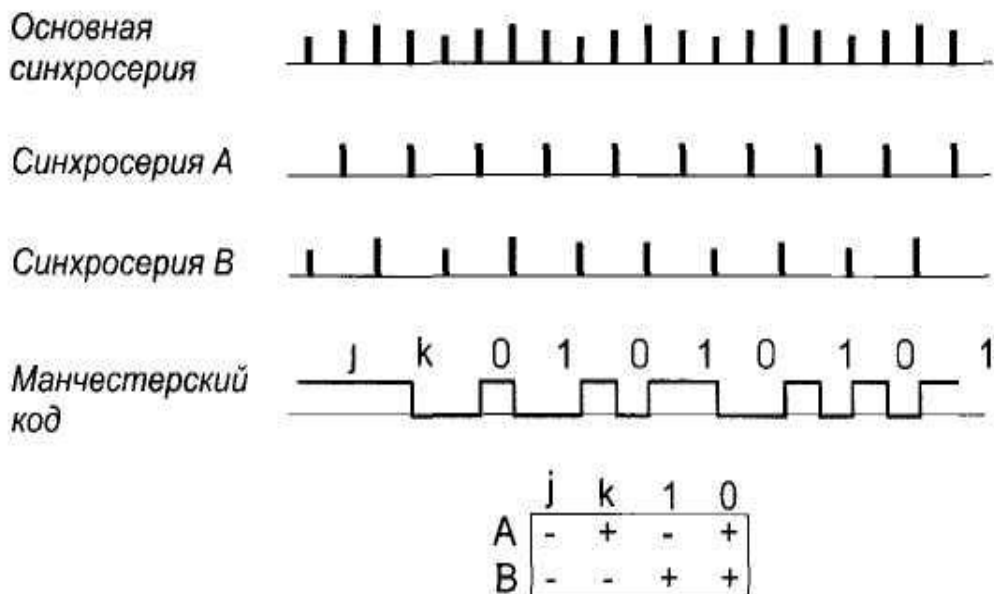


Рис. 14.2. Манчестерское кодирование

четырёх возможных значений сигнала выполняется в соответствии с правилами кодирования, представленными в нижней части рисунка.

В случае бит-ориентированного кода после входа в синхронизм не нужно обрамлять байты символами j и k, т. е. используется двузначное кодирование. Чаще используется код, в котором «1» представляется положительным, а «0» — отрицательным перепадом.

**Способы контроля правильности передачи данных.** Управление правильностью (помехозащищенностью) передачи информации выполняется с помощью помехоустойчивого кодирования. Различают коды, обнаруживающие ошибки, и корректирующие коды, которые дополнительно к обнаружению еще и исправляют ошибки. Помехозащищенность достигается с помощью введения избыточности. Устранение ошибок с помощью *корректирующих кодов* (такое управление называют Forward Error Control) реализуют в симплексных каналах связи. В дуплексных каналах достаточно применения кодов, *обнаруживающих* ошибки (Feedback or Backward Error Control), так как сигнализация об ошибке вызывает повторную передачу от источника. Это основные методы, используемые в информационных сетях.

К настоящему времени известно большое количество различных кодов, корректирующих ошибки передачи данных. Наиболее распространенная классификационная схема двоичных корректирующих кодов, построенная А. А. Харкевичем, представлена на рис. 14.3.

Все известные корректирующие коды разделяются на два класса по способу обработки данных в процессе кодирования: блочные и непрерывные.

При блочном кодировании последовательность символов на входе канала разбивается на отдельные блоки (слова конечной длины). При этом процессы кодирования и декодирования над этими блоками выполняются независимо. В равномерных кодах блоки имеют равное количество символов, в неравномерных — разное.

В непрерывных кодах введение избыточности в последовательность входных символов осуществляется без разбивки ее на отдельные блоки. В таких кодах и процессы кодирования и декодирования также имеют непрерывный характер. Проверочные символы размещаются в определенном порядке между информационными символами передаваемой последовательности.

Корректирующие коды, в которых определенные позиции отводятся для информационных и проверочных символов, называются *разделимыми*. В блочных разделимых кодах процесс кодирования сводится к определению проверочных символов и размещению их на заранее известных позициях кодового слова. Блочные разделимые коды принято обозначать двумя цифрами (п, пО), где п — длина блока, пО — количество информационных символов в блоке.

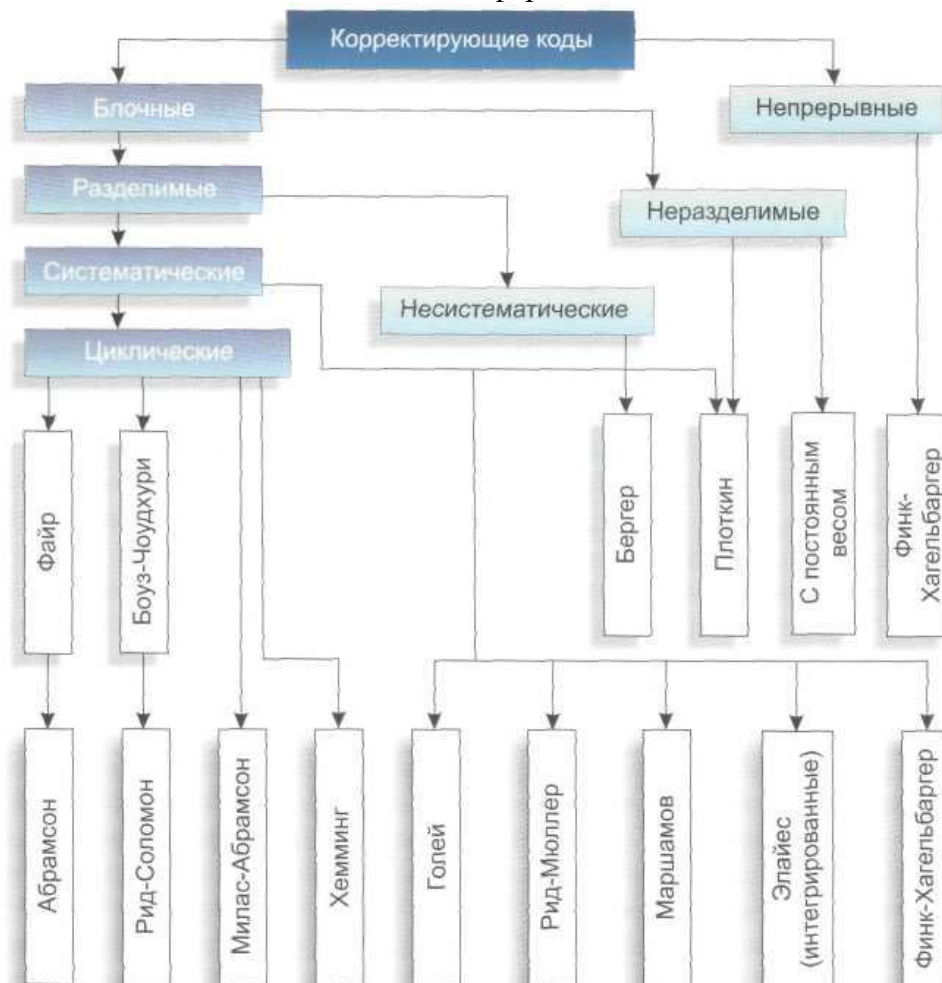


Рис. 14.3. Классификация корректирующих кодов для передачи информации



Простота декодирования кодового слова и выделения из него информационной части способствовала широкому распространению таких кодов. В отличие от них в неразделимых блочных кодах процесс декодирования существенно затруднен, что особенно неудобно в кодах с исправлением ошибок.

Разделимые коды делятся на систематические и несистематические. Несистематические разделимые коды представлены кодами с суммированием, метод построения которых состоит в разделении информационного блока на подблоки заданной длины  $L$ . При таком построении код способен обнаружить серийные ошибки с длиной серии, не превышающей  $L$ . В другом варианте проверочные символы определяются как двоичное число, представляющее вес передаваемого блока информационных символов. Например, коды Бергера позволяют обнаружить независимые ошибки, что особенно ценно в случае двоичных каналов с асимметричными ошибками.

Большинство известных разделимых кодов составляют систематические (групповые) коды, в которых проверочные символы в кодовом слове не только занимают фиксированные позиции, но и могут быть расположены подряд в правой или левой части слова. Процессы кодирования и декодирования сводятся к подсчету сумм по модулю 2 информационных и проверочных символов в различных сочетаниях. Поскольку достаточно просто аппаратно реализовать суммирование по модулю 2, такие коды получили широкое распространение. Построение группового ( $p$ ,  $pO$ ) кода базируется на применении производящей матрицы  $V$ , имеющей  $p$  столбцов и  $pO$  строк, линейно-независимых между собой. Для декодирования используется проверочная матрица  $W$ ,  $k$ -строк которой ортогональны строкам матрицы  $V$ .

Разновидностью систематических кодов являются циклические коды, характеризующиеся тем, что если некоторый вектор является разрешенным, то разрешенными являются и все векторы, которые могут быть получены из него циклическим сдвигом. Циклическим сдвигом кодового слова, соответствующего производящему полиному, получаются кодовые слова — строки производящей матрицы. Все подмножество разрешенных кодовых слов образуется путем линейных операций над строками матрицы.

Простейшими способами обнаружения ошибок являются контрольное суммирование, проверка на нечетность. Однако они недостаточно надежны, особенно при появлении пачек ошибок. Поэтому в качестве надежных обнаруживающих кодов применяют циклические коды. Примером корректирующего кода является код Хемминга.

Код Хемминга. Используется для определения и корректировки побитных ошибок при передаче данных. Описан Хеммингом (R.W. Hamming) в журнале *The Bell System Technical Journal* (апрель 1950 г.). Этот код наиболее эффективен для символов с небольшим числом разрядов — например, от 4 до 8 разрядов.

По схеме кодирования Хемминга после каждых четырех бит данных добавляются три контрольных. Значение каждого контрольного бита зависит от сочетания трех из четырех бит данных. Устройство-получатель, выполнив обратные вычисления, может определить корректность полученных данных. Код Хемминга обеспечивает исправление ошибки в одном бите и определение ошибки в двух следующих битах.

В коде Хемминга вводится понятие кодового расстояния (расстояния между двумя кодами), равного числу разрядов с неодинаковыми значениями. Возможности исправления ошибок связаны с минимальным кодовым расстоянием  $d_{\min}$ . Исправляются ошибки кратности  $\gamma = \text{ent}(d_{\min} - 1)/2$ , и обнаруживаются ошибки кратности  $d_{\min} - 1$  (здесь  $\text{ent}$  означает «целая часть»). Так, при контроле на нечетность  $d_{\min} = 2$  и обнаруживаются одиночные ошибки. В коде Хемминга  $d_{\min} = 3$ . Дополнительно к информационным разрядам вводится  $L = \log_2 K$  избыточных контролирующих разрядов, где  $K$  — число информационных разрядов,  $L$  округляется до ближайшего большего целого значения.  $L$ -разрядный контролирующий код есть инвертированный результат поразрядного сложения (т. е. сложения по модулю 2) номеров тех информационных разрядов, значения которых равны 1.

Пусть имеем основной код 100110, т. е.  $K = 6$ . Следовательно,  $L = 3$  и дополнительный код равен 010 #011 #110=111, где # — символ операции поразрядного сложения, и после инвертирования имеем 000. Вместе с основным кодом передается и дополнительный. На приемном конце вновь рассчитывается дополнительный код и сравнивается с переданным. Фиксируется код сравнения (поразрядная операция отрицания равнозначности), и если он отличен от нуля, то его значение есть номер ошибочно принятого разряда основного кода. Так, если принят код 100010, то

рассчитанный в приемнике дополнительный код равен инверсии от  $010 \# 110 = 100$ , т. е. 011, что означает ошибку в 3-м разряде.

Простым примером кода с обнаружением одной ошибки является код с битом четности. Конструкция его такова: к исходному кодослову добавляется бит четности. Если число 1 в исходном кодослове четно, то значение этого бита 0. Если нечетно, то 1. Кодослова с битом четности имеют  $d_{\min} = 2$ .

Оценим минимальное количество контрольных разрядов, необходимое для исправления одиночных ошибок. Пусть у нас есть код из  $m$  бит сообщения и  $g$  контрольных бит. Каждое из  $2^m$  правильных сообщений имеет  $p$  неправильных кодослов на расстоянии 1. Таким образом, с каждым из  $2^m$  сообщений связано  $p + 1$  кодослов. Так как общее число кодослов  $2^{m+g}$ , то  $(p + 1)2^m \leq 2^{m+g}$ , учитывая, что  $p = m + g$ , получаем  $(m + g + 1) \leq 2^g$ .

Этот теоретический предел достигим при использовании метода, предложенного Хеммингом. Идея его в следующем: все биты, номера которых есть степень 2 (1, 2, 4, 8, 16 и т. д.), — контрольные, остальные — биты сообщения. Каждый контрольный бит отвечает за четность группы битов, включая себя. Один и тот же бит может относиться к разным группам. Значение бита сообщения определяется по значениям контрольных битов. Чтобы определить, какие контрольные биты контролируют бит в позиции  $k$ , надо представить значение  $k$  по степеням двойки. Например,  $11 = 1 + 2 + 8$ ,  $39 = 1 + 2 + 4 + 32$ .

Получив кодослово, получатель устанавливает специальный счетчик в ноль. Затем он проверяет каждый контрольный бит на предмет правильности четности. Если четность нарушена, то порядковый номер этого бита заносится в счетчик. Если после этой проверки счетчик ноль, то все в порядке. Если нет, то он содержит номер неправильного разряда. Например, 1,2,8 — ошибочные контрольные разряды, ошибка в 11-м разряде, так как только он связан одновременно с этими контрольными разрядами.

Для примера кода с исправлением ошибки рассмотрим код, у которого есть только четыре правильных кодослова: 000000000, 000001111, 111110000, 111111111. Расстояние по Хеммингу у этого кода  $d_{m,n} = 5$ , следовательно, он может исправлять двойные ошибки. Если получатель получит слово 000000111, то ясно, что исходное слово имело вид 000001111.

Циклические коды. К числу эффективных кодов, которые позволяют обнаруживать одиночные, кратные ошибки и пачки ошибок, относятся циклические коды (CRC — Cyclic Redundance Code). Они высоконадежны и могут применяться при блочной синхронизации, при которой выделение, например, бита нечетности было бы затруднительно.

Один из вариантов циклического кодирования заключается в умножении исходного кода на образующий полином  $d(x)$ , а декодирование — в делении на  $d(x)$ . Если остаток от деления не равен нулю, то произошла ошибка. Сигнал об ошибке поступает на передатчик, что вызывает повторную передачу.

Образующий полином есть двоичное представление одного из простых множителей, на которые раскладывается число  $X^n - 1$ , где  $X^n$  обозначает единицу в  $n$ -м разряде,  $n$  равно числу разрядов кодовой группы. Так, если  $n = 10$  и  $X = 2$ , то  $X^n - 1 = 1023 = 11 \cdot 93$ ,  $\text{исл}(X) = 11$  или в двоичном коде 1011, то примеры циклических кодов  $A, g(X)$  чисел  $A$ , в кодовой группе при этом образующем полиноме можно видеть в табл 14.1.

Таблица 14.1 Пример расчета циклического кода

| Число | Циклический код | Число | Циклический код |
|-------|-----------------|-------|-----------------|
| 0     | 000000000       | 13    | 0010001111      |
| 1     | 0000001011      | 14    | 0010011010      |
| 2     | 0000010110      | 15    | 0010100101      |
| 3     | 0000100001      | 16    | 0010110000      |
| 4     | 0000101100      | 17    | 0010111011      |
| 5     | 0000110111      | 18    | 0011000110      |
| 6     | 0001000010      | 19    | 0011010001      |

Основной вариант циклического кода, широко применяемый на практике, отличается от предыдущего тем, что операция деления на образующий полином заменяется следующим алгоритмом: 1) к исходному кодируемому числу  $A$  справа приписывается  $K$  нулей, где  $K$  — число бит в образующем полиноме, уменьшенное на единицу; 2) над полученным числом  $A$  ( $2^K$ )

выполняется операция О, отличающаяся от деления тем, что на каждом шаге операции вместо вычитания выполняется поразрядная операция «исключающее ИЛИ»; 3) полученный остаток В и есть CRC — избыточный К-разрядный код, который заменяет в закодированном числе С приписанные справа К нулей, т. е.  $C = A(2^K) + B$ .

На приемном конце над кодом С выполняется операция О. Если остаток не равен нулю, то при передаче произошла ошибка и нужна повторная передача кода А.

Пример. Пусть  $A = 10011101$ , образующий полином 11001.

Так как  $K = 4$ , то  $A(2^K) = 100111010000$ . Выполнение операции О расчета циклического кода показано на рис. 14.4.

Положительными свойствами циклических кодов являются малая вероятность необнаружения ошибки и сравнительно небольшое число избыточных разрядов.

Общепринятое обозначение образующих полиномов дает следующий пример:

$$g(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1,$$

что эквивалентно коду 1 0001 0000 0010 0001. Этот полином используется в протоколе V.42 для кодирования кодовых групп в 240 разрядах с двумя избыточными байтами. В этом протоколе возможен и образующий полином для четырех избыточных байтов

$$g(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + 1.$$

Коэффициент сжатия. Наличие в сообщениях избыточности позволяет ставить вопрос о сжатии данных, т. е. о передаче того же количества информации с помощью последовательностей символов меньшей длины. Для этого используются специальные алгоритмы сжатия, уменьшающие избыточность. Эффект сжатия оценивают коэффициентом сжатия

$$K = n/q,$$

|   |  |
|---|--|
| <pre> 1001 1101 0000     11001 1101 1 ----- 101 01 110 01 ----- 11 000 11.001 ----- 11 000 11.001 ----- 10 → CRC </pre> | <pre> 1001 1101 0010     11001 1101 1   CRC ----- 101 01 110 01 ----- 11 000 11.001 ----- 11 001 11.001 ----- 00 → ошибки нет </pre> |
|---|--|

Рис. 14.4. Пример получения циклического кода

где  $n$  — число минимально необходимых символов для передачи сообщения (практически это число символов на выходе эталонного алгоритма сжатия);  $q$  — число символов в сообщении, сжатом данным алгоритмом. Так, при двоичном кодировании  $n$  равно энтропии источника информации.

Наряду с методами сжатия, не уменьшающими количества информации в сообщении, применяются методы сжатия, основанные на потере малозначимой информации.

Алгоритмы сжатия. Сжатие данных осуществляется либо на прикладном уровне с помощью программ сжатия, таких как ARJ, либо с помощью устройств защиты от ошибок (УЗО) непосредственно в составе модемов по протоколам типа V.42bis.

Очевидный способ сжатия числовой информации, представленной в коде ASCII, заключается в использовании сокращенного кода с четырьмя битами на символ вместо восьми, так как передается набор, включающий только 10 цифр, символы «точка», «запятая» и «пробел».

Среди простых алгоритмов сжатия наиболее известны алгоритмы RLE (Run Length Encoding). В них вместо передачи цепочки из одинаковых символов передаются символ и значение длины цепочки. Метод эффективен при передаче растровых изображений, но мало полезен при передаче текста.

К методам сжатия относят также методы разностного кодирования, поскольку разности амплитуд отсчетов представляются меньшим числом разрядов, чем сами амплитуды. Разностное кодирование реализовано в методах дельта-модуляции и ее разновидностях.

Предсказывающие (предиктивные) методы основаны на экстраполяции значений амплитуд отсчетов.

Методы MPEG (Moving Pictures Experts Group) используют предсказывающее кодирование изображений (для сжатия данных о движущихся объектах вместе со звуком). Так, если передавать только изменившиеся во времени пиксели изображения, то достигается сжатие в несколько десятков раз. Этот алгоритм сжатия используется также в стандарте H.261 ITU. Методы MPEG становятся мировыми стандартами для цифрового телевидения.

Для сжатия данных об изображениях можно использовать также методы типа JPEG (Joint Photographic Expert Group), основанные на потере малосущественной информации (не различимые для глаза оттенки кодируются одинаково, коды могут стать короче). В этих методах передаваемая последовательность пикселей делится на блоки, в каждом блоке производится преобразование Фурье, устраняются высокие частоты, передаются коэффициенты разложения для оставшихся частот, по ним в приемнике изображение восстанавливается.

Другой принцип воплощен в фрактальном кодировании, при котором изображение, представленное совокупностью линий, описывается уравнениями этих линий.

Более универсален широко известный метод Хаффмена, относящийся к статистическим методам сжатия. Идея метода — часто повторяющиеся символы нужно кодировать более короткими цепочками бит, чем цепочки редких символов. Строится двоичное дерево, листья соответствуют кодируемым символам, код символа представляется последовательностью значений ребер (эти значения в двоичном дереве суть 1 и 0), ведущих от корня к листу. Листья символов с высокой вероятностью появления находятся ближе к корню, чем листья маловероятных символов.

Распознавание кода, сжатого по методу Хаффмена, выполняется по алгоритму так называемого восходящего грамматического разбора.

Недостаток метода заключается в необходимости знать вероятности символов. Если заранее они неизвестны, то требуются два прохода: на одном в передатчике подсчитываются вероятности, на другом эти вероятности и сжатый поток символов передаются к приемнику. Однако двухпроходность не всегда возможна.

Этот недостаток устраняется в однопроходных алгоритмах адаптивного сжатия, в которых схема кодирования есть схема приспособления к текущим особенностям передаваемого потока символов. Поскольку схема кодирования известна как кодеру, так и декодеру, сжатое сообщение будет восстановлено на приемном конце.

Обобщением этого способа является алгоритм, основанный на словаре сжатия данных. В нем происходят выделение и запоминание в словаре повторяющихся цепочек символов, которые кодируются цепочками меньшей длины.

## 14.2.2. Цифровые каналы передачи данных

Различают несколько технологий связи, основанных на цифровых каналах передачи данных.

Связь ООД с АКД (например, компьютера с модемом или низкоскоростными периферийными устройствами) чаще всего осуществляется при помощи последовательных интерфейсов RS-232C, RS-422 (их аналогами в системе стандартов ITU являются V.24, V.11), а связь ООД с цифровыми сетями передачи данных — при помощи интерфейсов X.21, X.35, G.703.

Стандарты ITU серии V разрабатывались для передачи информации по телефонным линиям, а стандарты ITU серии X — для передачи данных.

В качестве магистральных каналов передачи данных в США и Японии применяют стандартную многоканальную систему T1 (иначе DS-1). Она включает 24 цифровых канала, называемых DS-0 (Digital Signal-0). В каждом канале применена кодово-импульсная модуляция с частотой следования отсчетов 8 кГц и с квантованием сигналов по  $2^8 = 256$  уровням, что обеспечивает скорость передачи 64 кбит/с на один канал или 1554 кбит/с на аппаратуру T1. В Европе более распространена аппаратура E1 с 32 каналами по 64 кбит/с, т. е. с общей скоростью 2048 кбит/с. Применяются также каналы T3 (или DS-3), состоящие из 28 каналов T1 (45 Мбит/с) и E3 (34 Мбит/с) преимущественно в частных высокоскоростных сетях.

В T1 использовано временное мультиплексирование (TDM). Все 24 канала передают в мультиплексор по байту, образуя 192-битный кадр с добавлением одного бита синхронизации. Суперкадр составляют 24 кадра. В суперкадре имеются контрольный код и синхронизирующая комбинация. Сборку информации из нескольких линий и ее размещение в магистральной T1 осуществляет мультиплексор. Канал DS-0 (один слот) соответствует одной из входных линий, т. е.

реализуется коммутация каналов. Некоторые мультиплексоры позволяют маршрутизировать потоки данных, направляя их в другие мультиплексоры, связанные с другими каналами T1, хотя собственно каналы T1 называют некоммутируемыми.

При обычном мультиплексировании каждому соединению выделяется определенный слот (например, канал DS-0). Если же этот слот не используется из-за недогрузки канала по этому соединению, но по другим соединениям трафик значительный, то эффективность невысокая. Загружать свободные слоты, или, другими словами, динамически перераспределять слоты, можно, используя так называемые статистические мультиплексоры на основе микропроцессоров. В этом случае временно весь канал DS-1 или его часть отдается одному соединению с указанием адреса назначения.

В современных сетях возможна передача как данных, представляемых дискретными сигналами, так и аналоговой информации (например, голос и видеоизображения первоначально имеют аналоговую форму). Для многих применений современные сети должны быть сетями интегрального обслуживания. Наиболее перспективными сетями интегрального обслуживания являются сети с цифровыми каналами передачи данных, например сети ISDN.

Сети ISDN могут быть коммутируемыми и некоммутируемыми. Различают обычные ISDN со скоростями от 56 кбит/с до 1,54 Мбит/с и широкополосные ISDN (Broadband ISDN, или B-ISDN) со скоростями 155... 2048 Мбит/с. Более перспективны B-ISDN, в настоящее время эта технология активно осваивается.

Применяют два варианта обычных сетей ISDN — базовый и специальный. В базовом варианте имеются два канала по 64 кбит/с (эти каналы называют B-каналами) и один служебный канал с 16 кбит/с (D-канал). В специальном варианте — 23 канала B по 64 кбит/с и один или два служебных канала D по 16 кбит/с. Каналы B могут использоваться как для передачи закодированной голосовой информации (коммутация каналов), так и для передачи пакетов. Служебные каналы используются для сигнализации — передачи команд, в частности для вызова соединения. Применяют специальные сигнальные системы, устанавливающие перечень и форматы команд. В настоящее время основной сигнальной системой становится система SS7 (Signaling System-7).

Очевидно, что для реализации технологий T1, T3, ISDN необходимо выбирать среду передачи данных с соответствующей полосой пропускания.

Схема ISDN показана на рис. 14.5. Здесь S-соединение — 4-проводная витая пара. Если оконечное оборудование не имеет интерфейса ISDN, то оно подключается к S через специальный адаптер TA. Устройство NT2 объединяет S-линии в одну T-шину, которая имеет два провода от передатчика и два — к приемнику. Устройство NT1 реализует схему эхо-компенсации и служит для интерфейса T-шины с обычной телефонной двухпроводной абонентской линией U.

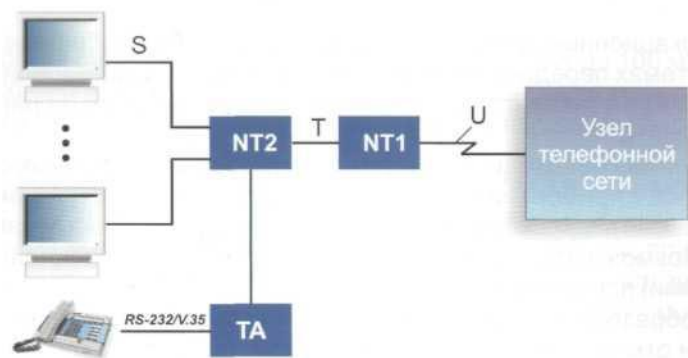


Рис. 14.5. Схема ISDN

Для подключения клиентов к узлам магистральной сети с использованием на «последней миле» обычного телефонного кабеля наряду с каналами ISDN можно использовать цифровые абонентские линии xDSL. К их числу относятся HDSL (High-bit-rate Digital Subscriber Loop), SDSL (Single Pair Symmetrical Digital Subscriber Loop), ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Loop). Например, в HDSL используются две пары проводов, амплитудно-фазовая модуляция без несущей, пропускная способность до 2 Мбит/с, расстояния до 7,5 км. Применяемые для кодирования устройства также называют модемами. Собственно ISDN можно рассматривать как разновидность xDSL.

Для передачи аналоговых сигналов по цифровым каналам связи используется кодово-импульсная модуляция (КИМ или PCM — Pulse Code Modulation).

Этот вид модуляции сводится к измерению амплитуды аналогового сигнала в моменты времени, отстоящие друг от друга на  $dt$ , и к кодированию этих амплитуд цифровым кодом. Величина  $dt$  определяется по теореме Котельникова: для неискаженной передачи нужно иметь не менее двух отсчетов на период колебаний, соответствующий высшей составляющей в частотном спектре сигнала. В цифровых каналах ISDN (Integrated Services Digital Network) за основу принята передача голоса с частотным диапазоном до 4 кГц, а кодирование производится восемью (или семью) битами. Отсюда получаем, что частота отсчетов (передачи байтов) равна 8 кГц, т. е. биты передаются с частотой 64 кГц (или 56 кГц при семибитовой кодировке).

При преобразовании амплитуды  $A$  аналогового сигнала в цифровой код  $K$  желательно учитывать нелинейность амплитудных характеристик приборов и иметь зависимость  $K$  от  $A$ , монотонно убывающую с ростом амплитуды.

Разновидностями КИМ являются дельта-модуляция (ДМ), дифференциальная ДМ (ДДМ) и адаптивная ДМ (АДДМ). В них передаются разности амплитуд  $A_1$  и  $A_2$  соседних отсчетов. При этом в ДМ  $A_1$  — амплитуда на входе модулятора, а  $A_2$  — амплитуда отсчета, которая соответствует переданному сигналу в предыдущем временном такте. Для представления разности используется всего 1 бит (т. е. передается знак разности), поэтому нужна достаточно высокая частота отсчетов, чтобы не было «запаздывания» изменений передаваемого сигнала по сравнению с реальными изменениями.

ДДМ отличается от ДМ тем, что знак разности  $A_1 - A_2$  передается только в момент пересечения величиной  $A_1$  одного из уровней квантования. В АДДМ шаги отсчетов адаптируются к динамике изменения величины сигнала.

Радиолокационные данные, голосовые и кодовые сообщения в распределенных системах передаются по выделенной линии связи базовой полосы пропускания (БПП), а также с помощью частичного разделения по линиям тональной частоты (ТЧ).

В перспективе необходимо ожидать использования цифровых среднескоростных каналов с применением мультиплексирования и коммутации пакетов.

Специальные подходы могут обеспечить совместное использование этих двух методов и возможность подключения к сети устройств со специфическими (нестандартными) протоколами передачи.

Целесообразен переход на модемы со скоростью модуляции 19,2 Кбод и более при отказе от выделения физической линии каждой паре «источник— приемник». Последнее позволит более эффективно использовать линии связи.

## 14.3. Протоколы

### 14.3.1. Протоколы физического уровня для модемной связи

Протоколы физического уровня определяют в телекоммуникационных технологиях способ модуляции, направленность передачи (дуплекс, симплекс, полудуплекс), ориентированность на выделенный или коммутируемый канал.

Модем — устройство преобразования кодов и представляющих их электрических сигналов при взаимодействии оконечных устройств канала данных и линий связи. Слово «модем» образовано из частей слов «модуляция» и «демодуляция», что подчеркивает способы согласования параметров сигналов и линий связи — сигнал, подаваемый в линию связи, модулируется, а при приеме данных из линии сигналы подвергаются обратному преобразованию (рис. 14.6).

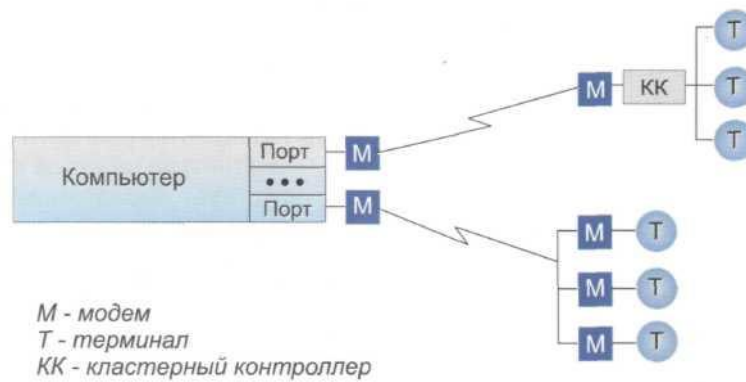


Рис. 14.6. Связь узлов сети с помощью модемов

Модем выполняет функции оконечного устройства канала данных. В качестве оконечного оборудования обычно выступает компьютер, в котором имеется приемопередатчик — микросхема UART (Universal Asynchronous Receiver/ Transmitter). Приемопередатчик подключается к модему через один из последовательных портов компьютера и последовательный интерфейс RS-232C, в котором обеспечивается скорость не ниже 9,6 кбит/с на расстояниях до 15 м.

Более высокая скорость (до 1000 кбит/с на расстояниях до 100 м) обеспечиваются интерфейсом RS-422, в котором используются две витые пары проводов с согласующими сопротивлениями на концах, образующие сбалансированную линию.

Возможно отражение в протоколах некоторых других характеристик передачи, например: способа исправления ошибок и/или сжатия информации.

Протокол V.21 используется в простых модемах на 300 бит/с, применена ча-VT01 мая модуляция с передачей по двухпроводной линии. Используются четыре; частоты (от 980 до 1850 Гц) для представления 1 и 0 в прямом и обратном 11. травлениях передачи.

Протокол V.22 характеризуется скоростью 1,2 кбит/с, используются частотное разделение каналов (для дуплекса) и двукратная фазовая модуляция (ФМ), т. е. ФМ с четырьмя значениями фазы. В V.27 с помощью трехкратной ФМ (с восемью значениями фазы) достигается скорость 4,8 кбит/с по дуплексным выделенным каналам.

Возможно применение квадратурно-амплитудной модуляции. В протоколе V.22bis используются несущие частоты 1200 и 2400 Гц, при скорости модуляции 600 бод скорость передачи данных составляет 2,4 кбит/с, так как каждый элемент сигнала отражает одно из 16 значений четырехбитовой комбинации (для каждого значения — своя амплитуда). В протоколе V.29 скорость составляет 9,6 кбит/с, используется четырехпроводный выделенный канал.

В модемах, соответствующих V.32, достигается скорость 9,6 кбит/с за счет фазовой модуляции и отфильтровывания эха собственного передатчика от принимаемых сигналов. Специальный процессор автоматически снижает скорость передачи при наличии шумов в линии. Используется помехоустойчивое кодирование.

В протоколе V.32bis при тех же несущих и бодовой скорости пропускная способность повышена до 14,4 кбит/с за счет комбинирования квадратурно-амплитудной и фазовой модуляций. Расширение V.32turbo этого протокола уже рассчитано на скорости 16,8 и 19,2 кбит/с.

Современные высокоскоростные модемы строятся в соответствии с протоколом V.34 или его предшественником V.FC. Здесь скорости составляют от 2,4 до 28,8 кбит/с с шагом 2,4 кбит/с. Протокол предусматривает адаптацию передачи под конкретную обстановку, изменяя несущую в пределах 1600...2000 Гц, а также автоматическое предварительное согласование способов модуляции в вызывающем и вызывном модемах. В протоколе V.34bis скорости могут достигать 33,6 кбит/с.

В последнее время стали выпускаться модемы на 56 кбит/с по технологии, названной x2. Однако пока отсутствуют стандарты на x2 и двукратного ускорения передачи еще получить не удалось.

Протокол V.42 относится к стандартам, устанавливающим способы защиты от ошибок, а V.42bis, кроме того, — способы сжатия данных. Наряду с протоколом V.42, для коррекции ошибок применяют протоколы MNP (Microsom Network Protocol).

В качестве примера организации передачи сообщений рассмотрим протокол V.42, являющийся вариантом протокола HDLC.



Установление соединения (вход в протокол) происходит в асинхронном байт-ориентированном режиме. Запрос на соединение осуществляется посылкой двухбайтовых сигналов ODP. Для соединения необходимо согласие приемника в виде посылки ответа ADP. После этого образуется соединение, осуществляется переход в синхронный бит-ориентированный режим. В начале сообщения передаются управляющие, а затем информационные кадры.

Краткие сведения о некоторых протоколах (двухпроводных на основе RS-232C) подытожены ниже (указаны имя протокола, способ модуляции, скорость в килобитах в секунду и другие особенности).

V.21 ЧМ 0,3 для «1» используются частоты 980 и 1650 Гц, для «0» — 1180 и 1850 Гц.

<sup>s</sup> V.22 ФМ 1,2 частотное разделение прямого и обратного каналов, несущие частоты 1200 и 2400 Гц, четыре значения фазы.

V.22bis QAM дуплекс 2,4 частотное разделение каналов, QAM и 16-позиционная, модуляционная скорость 600 бод; основной протокол для сред-нескоростных модемов.

V.29 QAM 9,6 QAM 16-позиционная, дуплекс при выделенных каналах (четырёхпроводная) или полудуплекс при коммутируемых каналах (двухпроводная).

V.32 QAM 9,6 QAM 16-позиционная, выделенные или коммутируемые каналы.

V.32bis QAM 14,4 QAM 128-позиционная.

V.32ter QAM 19,2 QAM, дуплекс, выделенные или коммутируемые каналы.

\* V.34 QAM 28,8 QAM 256-позиционная, дуплекс.

Перечисленные протоколы предназначены для работы в телефонных аналоговых сетях с коммутацией каналов. Они опираются на двухпроводные линии связи и начиная с V.29 используют эхо-компенсацию. На выделенных телефонных линиях с интенсивным трафиком часто применяют четырёхпроводные линии для дуплексной и двухпроводные для полудуплексной связи (протоколы V.23, V.26, V.27, V.29).

В высокоскоростных выделенных каналах можно использовать аналоговые протоколы V.35, V.36, V.37, рассчитанные соответственно на скорости 48, 72, 168 кбит/с.

Протоколы канального уровня для модемной связи. Центральное место среди канальных протоколов телекоммуникаций занимают протоколы передачи файлов по телефонным каналам. Функции канальных протоколов: управление потоком данных, координация работы передатчика с приемником. Различают протоколы по способам обнаружения и исправления ошибок, по реакции на возникновение ошибок (стартстопные и конвейерные), по способам защиты от несанкционированного доступа.

Способы обнаружения и исправления ошибок рассмотрены ниже.

Стартстопный протокол характеризуется тем, что, прежде чем посылать новый кадр информации, передатчик ждет подтверждения о правильном получении приемником предыдущего кадра, в конвейерных протоколах такое подтверждение может быть получено после передачи нескольких кадров. В последнем случае меньше задержки на ожидание подтверждений (квитанций), но больше затраты на повторную пересылку при наличии ошибок.

Защита от несанкционированного доступа реализуется аппаратно в модеме или в связной (коммутационной) программе.

Обычно в протоколах предусматриваются режимы командный и обмена данными.

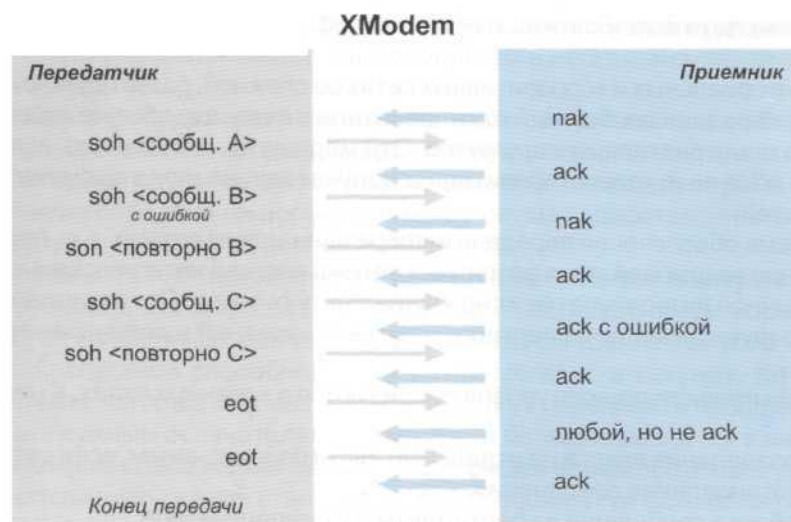


Рис. 14.7. Процесс связи по протоколу XModem

Примеры действий, выполняемых по командам в командном режиме: имитация снятия трубки и ответ на вызов; имитация снятия трубки и набора номера (после того как связь установится, модем переходит в режим обмена данными); переход из дуплексного режима в полудуплексный; отключение внутреннего динамика модема и др.

Команды может набирать пользователь, но в большинстве почтовых программ типовые последовательности команд выполняются автоматически после обращения к соответствующим процедурам.

Стандартом «де-факто» стал набор команд, реализуемый фирмой Hayes в своих модемах, это так называемые AT- или Hayes-команды.

Операции, выполняемые в режиме обмена данными, иллюстрирует фрагмент процесса, показанный на рис. 14.7. Имеется ограничение на число подряд поданных сигналов ack или pak и на время передачи.

Основой для многих протоколов модемной связи стал протокол XModem. В базовом варианте этого протокола используется стартстопное управление, размер одного блока сообщения (пакета) равен 128 байт и 1 байт отводится под контрольную сумму. В варианте XModem-CRC реализован более жесткий контроль ошибок за счет использования циклического кода с 16-разрядной проверяющей комбинацией. В варианте XModem-1 к дополнительно введено автоматическое увеличение длины блока до 1024 байт при малой частоте ошибок. В варианте YModem по сравнению с XModem-CRC разрешена групповая передача файлов. В наиболее распространенном протоколе ZModem используется конвейерное управление (иначе называемое оконным), длина пакета автоматически меняется от 64 до 1024 байт в зависимости от качества канала. Если на приемном конце ZModem не поддерживается, то автоматически протокол переходит в YModem. Прерванная передача продолжается с места прерывания.

### 14.3.2. Транспортные и сетевые протоколы

В территориальных и корпоративных сетях со сложной, разветвленной структурой для передачи сообщений от отправителя к адресату обычно существует несколько альтернативных маршрутов. Эти маршруты, как правило, включают не только конечные узлы отправителя и получателя, но и ряд промежуточных узлов и сетей.

Проблема обеспечения передачи информации между сетями, т. е. проблема обеспечения взаимодействия различных сетей в составе интегрированной сети, в англоязычной литературе носит название Internetworking. Это взаимодействие выражено функциями транспортного и сетевого уровней в семиуровневой модели ISO.

Функции транспортного уровня реализуются в конечных узлах. К ним относятся:

\*разделение пакета на отдельные части дейтаграммы, если сеть работает без установления соединения;

\*сборка сообщений из дейтаграмм в узле-получателе;

\*обеспечение услуг, включающих заказ времени доставки, типа канала связи, возможности сжатия данных с частичной потерей информации (как, например, в алгоритме JPEG);

\*управление сквозными соединениями в сети с помощью специальных команд запроса соединения, разъединения, передачи, приема, регистрации и др.

Назначение сетевых протоколов — приспособление пакетов к особенностям промежуточных сетей и определение направления передачи пакетов (маршрутизация). В список основных функций входят:

формирование пакетов с учетом требований промежуточных сетей (дополнение пакетов транспортного уровня обрамлением, включающим флаги, сетевые адреса получателя и отправителя, служебную информацию);

\*управление потоками;

\*маршрутизация;

\*обнаружение неисправностей;

\*ликвидация «заблудившихся» дейтаграмм и т. п.

Наиболее широко используемыми протоколами на сетевом уровне являются протоколы IP (Internet Protocol), X.25, IPX (Internet Packet Exchange) и на транспортном уровне TCP (Transmission Control Protocol) и SPX (Sequence Packet Exchange). Последние входят в систему протоколов TCP/IP и SPX/IPX соответственно. Протоколы TCP/IP первоначально были разработаны для сети ARPANET, а затем на их основе стала развиваться сеть Internet. Протоколы SPX/IPX разработаны и применяются фирмой Novell для сетей Novell Netware, объединяющих персональные ЭВМ. Протоколы X.25 разработаны ITU (см. приложение 27) и включают части для физического, канального и сетевого уровней.

### 14.3.3. Протоколы TCP/IP

Для иллюстрации взаимодействия компонентов сети, участвующих в передаче данных, используют эталонную модель взаимосвязи открытых систем (ЭМВОС). Она признана всеми международными организациями как основа для стандартизации протоколов информационных сетей. В этой модели информационная сеть рассматривается как совокупность нескольких различных уровней (до семи).

За возможность доступа к вычислительным сетям отвечает набор взаимосвязанных протоколов, который предоставляет пользователю для соединения с компьютерами других сетей все необходимые механизмы и службы. Вопросы обеспечения передачи информации между сетями представлены функциями транспортного и сетевого уровней ЭМВОС.

Протоколы TCP/IP используются практически в любой коммуникационной среде, от локальных сетей на базе технологии Internet до сверхскоростных сетей ATM, от телефонных каналов «точка—точка» до трансатлантических линий связи с пропускной способностью в сотни мегабит в секунду. Компьютерные системы, которые используют TCP/IP, могут передавать сообщения безошибочно к нужным получателям, несмотря на большие различия в аппаратуре и программном обеспечении машин. В настоящее время протоколы семейства TCP/IP оформлены в виде стандартов RFC (Requests For Comments) организацией IETF (Internet Engineering Task Force) и имеют широкие перспективы применения в сетях системы ОВД.

Логическая структура сетевого программного обеспечения, реализующего протоколы TCP/IP в каждом узле ЛВС, изображена на рис. 14.8. Прямоугольники обозначают обработку данных, а линии, соединяющие прямоугольники, — пути передачи данных. Эта логическая структура является основой для понимания всей технологии локальных сетей.

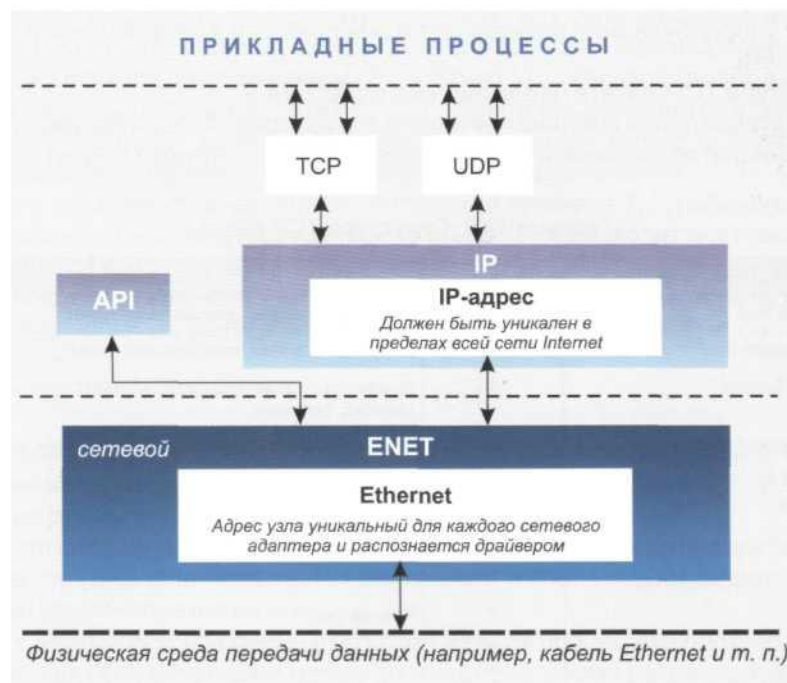


Рис. 14.8. Структура протокольных модулей в узле сети TCP/IP

Архитектура протоколов TCP/IP ориентирована на объединенную сеть, состоящую из соединенных друг с другом шлюзами отдельных разнородных компьютерных подсетей. TCP/IP — пятиуровневые протоколы, главными в них являются протоколы сетевого IP (Internet Protocol) и транспортного TCP (Transport Control Protocol) уровней. Протоколы TCP/IP — это основные протоколы глобальной сети Internet; они поддерживаются операционными системами Unix и Windows NT. На нижних уровнях в TCP/IP используется протокол IEEE 802.X или X.25.

Рассмотрим кратко функции основных уровней модели протокола TCP/IP.

\*Уровень обработки предоставляет протоколы для удаленного доступа и совместимого использования ресурсов. На этом уровне функционируют протоколы TelNet, FTP, SMTP, HTTP и др.

\*Уровень взаимодействия хост-компьютеров состоит из двух протоколов: протокола управления передачей данных TCP (Transmission Control Protocol) и протокола пользовательских дейтаграмм UDP (User Datagram Protocol).

TCP — дуплексный транспортный протокол с установлением соединения. Его функции:

- \*упаковка и распаковка пакетов на концах транспортного соединения;
- \*установление виртуального канала путем обмена запросом и согласием на соединение;
- \*управление потоком данных (получатель при подтверждении правильности передачи сообщает размер окна, т. е. диапазон номеров пакетов, которые получатель готов принять);
- \*управление скоростью передачи данных (помещение срочных данных между специальными указателями);
- \*упорядочивание пакетов, если они прибыли в неправильной последовательности.

Структура TCP-пакета представлена в табл. 14.2.

Для установления соединения используется трехшаговая процедура (handshake). Инициатор соединения обращается к своей ОС, которая выдает номер протокольного порта и посылает сегмент получателю. Тот подтверждает получение запроса и посылает свой сегмент-запрос на создание обратного соединения (так как соединение дуплексное). Инициатор должен подтвердить создание обратного соединения. Во время этих обменов партнеры сообщают номера байтов в потоках данных, с которых начинаются сообщения. На противоположной стороне счетчики устанавливаются в состояние на единицу больше, чем и обеспечивается механизм синхронизации в дейтаграммной передаче, реализуемой на сетевом уровне. После установления соединения начинается обмен. При этом номера протокольных портов включаются в заголовок пакета. Каждое соединение (socket) получает свой идентификатор ISN. Разъединение происходит в обратном порядке.

Таблица 14.2. Структура TCP-пакета

| Название поля         | Размер | Описание  |
|-----------------------|--------|---|
| TCP Source Port       | 2      | TCP порт станции, отправившей пакет   |
| TCP Destination Port  | 2      | TCP порт станции, получающей пакет  |
| Sequence Number       | 4      | Номер последовательности, соответствующий данному сегменту  |
| Acknowledgment Number | 4      | Номер последовательности, который хост хочет получить следующим   |
| Data Length           | 1      | Длина TCP сегмента  |
| Reserved              | 2      | Зарезервировано   |
| Flags                 | 1      | Флаги   |
| Window                | 2      | Размер окна   |
| Checksum              | 2      | Контрольная сумма   |
| Urgent Pointer        | 2      | Если отправляется срочный пакет (это определяется в поле Flags), то здесь хранится указатель на конец срочных данных в сегменте |

Достоверность передачи информации достигается присваиванием каждому сегменту уникального номера в последовательности. Для проверки доставки сегмента используются подтверждения, которые возвращаются для каждого посланного сегмента. Если подтверждение не получено, то данные посылаются еще раз через некоторый интервал времени (timeout). Если сегмент пришел поврежденным, то станция уничтожает этот пакет и не посылает подтверждения получения.

Каждый байт сообщения получает уникальный порядковый номер. Отсюда вытекает одно из ограничений на максимально допустимую в протоколе TCP/IP пропускную способность. Это ограничение составляет  $7 \cdot 10^9$  байта за время жизни дейтаграммы, так как для конкретного соединения в сети не должно одновременно существовать более одного байта с одним и тем же номером.

Еще более жесткое ограничение возникает из-за представления размера окна всего 16 битами. Оно состоит в том, что за время  $T_v$  прохождения пакета от отправителя к получателю и обратно в сеть может быть направлено не более  $2^{16}$  информационных единиц конкретного сообщения. Поскольку обычно такой единицей является байт, то имеем  $(2^{16} \times 8 \text{ бит}) / T_v$ . Так, для каналов со спутниками на геостационарных орбитах  $T_v$  около 0,5 с и ограничение скорости составляет около 1 Мбит/с. Заметно увеличить этот предел можно, если в качестве информационной единицы использовать более одного байта.

Если в течение установленного интервала времени  $T_r$  (тайм-аута) не пришло положительного подтверждения, то в TCP/IP происходит повторение передачи данных. Поэтому отрицательные квитанции не посылаются. Обычно  $T_m = 2t$ , где  $t$  — некоторая оценка времени прохождения пакета туда и обратно. Это время периодически корректируется по результату измерения  $T_v$  в соответствии с формулой

$$t = 0,9t + 0,1T_v$$

Попытки повторных передач пакета не продолжаются бесконечно, и при превышении интервала времени, устанавливаемого в пределах 0,5...2,0 мин, соединение разрывается.

Для регулирования размера окна передачи используется алгоритм медленного старта. (Сначала посылается один пакет, и после подтверждения его приема окно увеличивается на единицу.)

Межсетевой уровень IP состоит из всех процедур и протоколов, обеспечивающих обмен данными между хост-компьютерами различных сетей. Протокол IP — дейтаграммный сетевой протокол без установления соединения. Его функции:

- \*фрагментация и сборка пакетов при прохождении через промежуточные сети, имеющие другие протоколы;

- \*маршрутизация;

- \*проверка контрольной суммы заголовка пакета (правильность передачи всего пакета проверяется на транспортном уровне, т. е. с помощью TCP, в оконечном узле);

- \*управление потоком — сброс дейтаграмм при превышении заданного времени жизни.

Структура дейтаграммы в IP представлена в табл. 14.3.

От версии протокола IP зависит структура заголовка. Сделано это для возможности последующего внесения изменений. Например, предполагается вместо четырехбайтовых адресов установить в Internet шестибайтовые адреса.

Если IP определит, что адрес получателя — локальный, то пакет отправляется непосредственно на станцию назначения. В противном случае проверяется таблица маршрутизации на наличие маршрута к ней. Если маршрут найден, то пакет пересылается по найденному маршруту. Во всех остальных случаях пакет пересылается по маршруту по умолчанию (default gateway). После получения маршрутизатором пакета он передается на обработку протоколу IP.

Таблица 14.3. Структура дейтаграммы в IP

| Название поля       | Размер (бит) | Описание  |
|---------------------|--------------|---|
| Version             | 4            | Версия протокола Текущая версия 4 (0100)  |
| Header Length       | 8            | Количество 32-битных слов в заголовке пакета Минимальный размер заголовка 20 байт, т е в Header Length = 0 × 5 Наличие информации в поле Options может увеличить размер заголовка максимум на 4 байта Если это поле заполнено не полностью, то заполненные биты покрываются 32-битными словами и незаполненная часть заполняется нулями |
| Type of Service     | 8            | Желаемое качество обслуживания пакета при его доставке  |
| Total Length        | 16           | Общая длина IP пакета   |
| Identifier          | 16           | Идентификатор пакета Если пакет фрагментирован, то все фрагменты имеют одинаковый идентификатор Это необходимо для восстановления исходного пакета  |
| Fragmentation Flags | 3            | Флаги фрагментации В настоящее время используются только два бита Один показывает, фрагментирован пакет или нет, второй свидетельствует о наличии фрагментов, следующих за текущим  |
| Fragment Offset     | 13           | Позиция фрагмента внутри пакета Если пакет не фрагментирован то 0 × 0   |
| Time to Live        | 8            | Время в секундах, в течение которого пакет может находиться в сети Маршрутизаторы уменьшают значение этого поля на то время, которое пакет находится на нем (обычно от 1 до 16) По истечении TTL пакет уничтожается В NT 4 0 по умолчанию равно 128   |
| Protocol            | 8            | Тип транспортного протокола, используемого при передаче (TCP или UDP)   |
| Header Checksum     | 16           | Контрольная сумма   |
| Source Address      | 32           | Идентификатор отправителя пакета  |
| Destination Address | 32           | Идентификатор получателя пакета   |
| Options and Padding |              | Переменное число 32-битных слов (максимум 4 байта) используется для дополнительной информации о пакете  |

После прибытия пакета получателю протокол IP собирает все фрагменты в единое целое.

Как указывалось ранее, в сети одновременно может быть  $2^{16}$  (-65 тысяч) дейтаграмм сообщения с разными идентификаторами. Следовательно, за отрезок времени, равный времени жизни дейтаграммы, может быть передано не более  $2^{16}$  дейтаграмм. Это один из факторов, ограничивающих пропускную способность сетей с протоколом IP. Действительно, при времени жизни в 120 с имеем предельную скорость  $2^{16}/120 = 546$  дейтаграмм в секунду, что при размере дейтаграммы до 65 тысяч байт дает ограничение скорости приблизительно в 300 Мбит/с (такое же значение одного из ограничений предельной скорости получено выше и для протокола TCP).

Время жизни может измеряться как в единицах времени T, так и в хопах P (числом пройденных маршрутизаторов). В первом случае контроль ведется по записанному в заголовке значению T, которое уменьшается на единицу каждую секунду. Во втором случае каждый маршрутизатор уменьшает число P, записанное в поле «Время жизни», на единицу. При T = 0 или P = 0 дейтаграмма сбрасывается.

Кроме обычного форматирования пакетов межсетевой уровень IP предоставляет механизм преобразования адресов с одного уровня на другой и обратно. Эти функции возложены на протоколы одного ранга с IP.

Некоторые сведения об адресации и маршрутизации в TCP/IP приведены в приложении 28.

Общее количество приложений, использующих TCP/IP, велико и продолжает постоянно увеличиваться. Некоторые из них существуют с самого начала развития вычислительных сетей (например, TELNET и FTP). Другие появились недавно: X-Window, SNMP.

На сегодняшний момент создано множество реализаций этого протокола для самых разных операционных систем. Вполне допустимо, чтобы процесс-клиент работал, например, под управлением ОС VAX/VMS, а процесс-сервер под ОС UNIX System V.

#### 14.3.4. Протокол ASTERIX

Стандарт ASTERIX (All Purpose STructured Eurocontrol Radar Information exchange — универсальный структурированный протокол обмена радиолокационной информацией, принятый в международном агентстве Eurocontrol) определяет общие принципы обмена информацией между источниками данных о воздушной (наземной) обстановке и потребителями такой информации. Первая редакция стандарта ASTERIX была утверждена в июле 1986 г. Базовые принципы, которые были заложены в стандарт ASTERIX при его разработке, позволяют применять его и в настоящее время. Первоначально этот стандарт был предназначен для обеспечения стандартизованного обмена информацией между радиолокаторами и системами УВД, при этом одной из основных целей являлось обеспечение взаимодействия оборудования, произведенного разными разработчиками.

Структура сообщения, определенная стандартом ASTERIX, обусловлена следующими характеристиками информации, передаваемой в этих сообщениях:

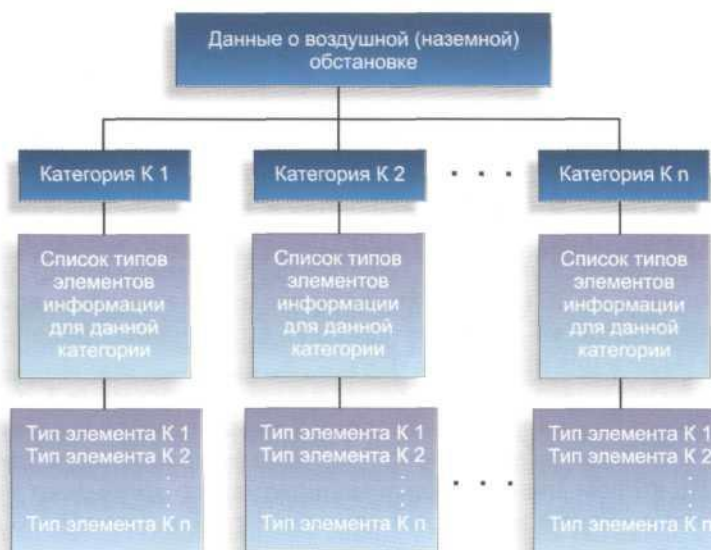


Рис. 14.9. Схема классификация данных

\*относительно большими объемами передаваемой информации;

\*некоторой избыточностью информации (данные о целях могут повторяться через каждые несколько секунд);

\*поступлением информации в режиме реального времени, что требует как можно более малых задержек при передаче.

Стандартом ASTERIX определено, что данные, которыми обмениваются различные пользователи, должны классифицироваться согласно заданным категориям. Классификация данных позволяет:

\*однозначно идентифицировать передаваемые/принимаемые данные;

\*определять, какой блок (модуль) должен обрабатывать данные;

\*обрабатывать данные в соответствии с заданными приоритетами. Все данные разбиты на категории (рис. 14.9).



Таблица 14.4. Основные категории данных, определенные стандартом ASTERIX

| Номер   | Описание   |
|---------|--|
| 000     | Сообщения о синхронизации времени  |
| 001     | Сообщения о целях, передающиеся от радиолокаторов к системам обработки радиолокационной информации   |
| 002     | Служебные сообщения радиолокационного оборудования. Техническое состояние и т. д.  |
| 003     | Синтетические данные о воздушной обстановке (экранное представление). Обмен полностью сформированными кадрами, пригодными для вывода на дисплей диспетчерского персонала       |
| 008     | Метеорологическая информация, полученная с помощью радиолокатора. Метеорологическая информация передается в цифровом представлении и включает контуры метеообразований и т. д. |
| 009     | Синтетические данные о метеобстановке, полученные после обработки данных, поступивших с нескольких радиолокаторов  |
| 016     | Радиолокационные данные, полученные от радиолокатора, работающего в режиме S   |
| 030–032 | Обмен данными между аппаратурой обработки радиолокационных данных (АПОИ)   |

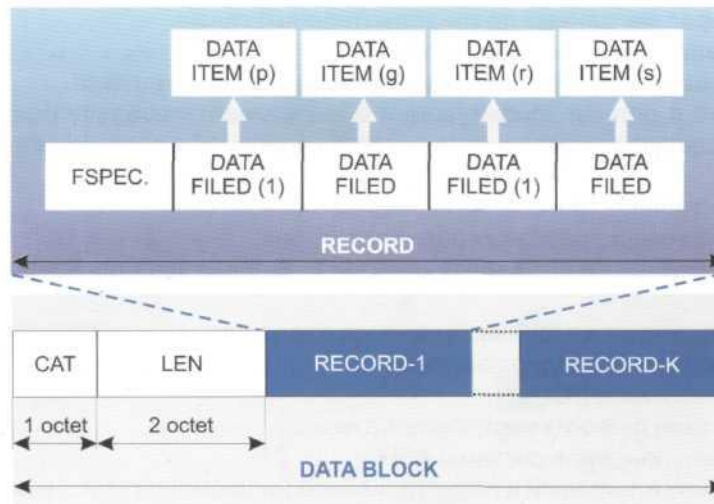


Рис. 14.10. Виды кодограммы

Всего в стандарте ASTERIX определено 256 категорий информации. При этом категории с номерами 0-127 выделены для стандартизованных приложений гражданского и военного назначения, категории с номерами 128-240 резервированы для военного применения, а категории с номерами 241-255 используются для нестандартных приложений как гражданского, так и военного назначения (табл. 14.4).

Кодограммы, сформированные в соответствии со стандартом ASTERIX, приблизительно имеют вид, показанный на рис.14.10.

Структура кодограмм, заложенная в стандарте ASTERIX, позволяет использовать его для передачи практически любых данных о воздушной (наземной) обстановке, получаемых с помощью как существующих, так и будущих источников таких данных.

## 14.4. Комплексы средств передачи данных

### 14.4.1. Задачи, решаемые комплексами

Аппаратные и программные средства передачи оперативных данных наблюдений, речевой и управляющей информации в настоящее время объединяются в специализированные комплексы. Они предназначены для сбора, преобразования и передачи данных от радиолокационных станций, радиопеленгаторов и приемопередающих центров по каналам (линиям) связи в центры УВД, а также для обмена данными между самими центрами УВД.

Аппаратура комплекса обеспечивает выполнение следующих задач:

- \* сбор данных от соответствующих источников;
- \* обработку данных, их кодирование и декодирование;
- \* сопряжение с каналами (линиями) связи;
- \* передачу данных по каналам (линиям) связи;
- \* выдачу данных потребителям.

Возможны разнообразные варианты исполнения комплекса. Комплекс в полной конфигурации обеспечивает передачу оцифрованных данных от следующих источников радиолокационной и пеленгационной информации:

- \*первичных трассовых радиолокаторов; вторичных трассовых радиолокаторов;
- \*первичных и вторичных каналов трассовых радиолокационных комплексов;
- \*первичных и вторичных каналов аэродромных радиолокаторов;
- \*посадочных радиолокаторов;
- \*комплексов РСП;
- \*автоматических радиопеленгаторов;
- \*транспондеров системы АЗН.

Для радиолокационной и пеленгационной информации обеспечивается стыковка с системами отображения информации и КСАУВД, имеющими стандартные интерфейсы ЛВС Ethernet и/или последовательные коммуникационные порты RS-232.

Для передачи речевой информации комплекс обладает возможностью сопряжения с цифровыми системами речевой связи, имеющими стандартные интерфейсы ЛВС Ethernet и/или последовательные коммуникационные порты RS-232.

Комплекс позволяет передавать и принимать данные цифровых систем управления удаленным радиолокационным, пеленгационным и радиосвязным оборудованием, если эти системы обладают стандартными интерфейсами и коммуникационными портами.

Прием информации от источников и выдача ее потребителям производятся в соответствии с протоколами, описанными в предыдущих параграфах.

Комплекс при передаче данных позволяет обеспечить:

- непрерывную и круглосуточную передачу/прием данных; одновременную передачу/прием данных от нескольких источников; передачу/прием данных по нескольким каналам (линиям) связи и работу в режиме избыточности (резервирования) каналов (линий) связи;
- различные режимы передачи данных, такие как постоянная передача в одну сторону (симплекс) и постоянная передача в обе стороны (полный дуплекс).

#### 14.4.2. Состав и основные характеристики комплекса «Ладога»

В качестве примера рассмотрим комплекс средств передачи оперативной информации «Ладога» автоматизированных центров УВД (рис. 14.11). Комплекс «Ладога» может быть выполнен в трех типовых вариантах:

- \*для беспроводной передачи;
- \*для физических линий;
- \* для магистральных каналов связи.

Вариант исполнения, конфигурация и комплектность поставки комплекса «Ладога» определяются параметрами места установки комплекса, такими как

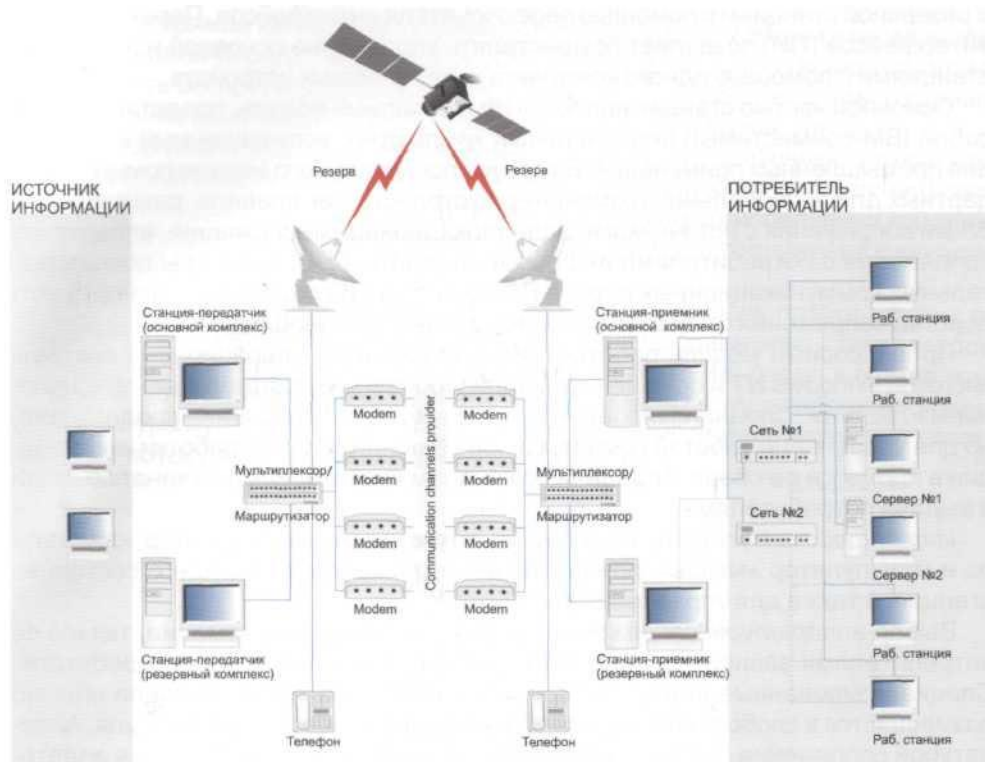


Рис. 14.11. Структурная схема комплекса «Ладоба»

количество и тип источников информации, тип и количество имеющихся каналов (линий) связи и т. п.

В каждом из вариантов исполнения в состав комплекса входят по два комплекта аппаратуры: передающий и приемный. Комплекты аппаратуры устанавливаются на противоположных концах линии (линий) передачи данных и сопрягаются с источниками и потребителями информации соответственно. В каждый из комплектов входят две станции приема/передачи данных (серверы сопряжения с источниками информации или серверы сопряжения с потребителями информации): основная и резервная.

В состав станции входит следующее оборудование:

- \* процессорный модуль (аппаратура обработки и кодирования данных); »интерфейсные устройства;
- \* аппаратура сопряжения с источниками либо потребителями информации (в зависимости от типа станции);
- \* аппаратура сопряжения с каналом (линией) связи (аппаратура передачи данных);
- \* комплект коммутационного оборудования и кабелей;
- \* источник бесперебойного электропитания (ИБП).

Основная и резервная станции устанавливаются в монтажной стойке типа Euro-Rack (внутренний монтажный размер 19"). На обе станции поставляется один комплект интерфейсного оборудования, которое подключается к основной и резервной станциям с помощью переключателя интерфейсов. Переключатель интерфейсов (ПИ) позволяет осуществлять управление основной и резервной станциями с помощью одного комплекта интерфейсных устройств.

Основной частью станции является процессорный модуль, представляющий собой IBM-совместимый персональный компьютер, установленный в корпусе для промышленных применений. В корпусе процессорного модуля помимо стандартных для персонального компьютера устройств, как правило, размещаются блоки сопряжения с источниками радиолокационной информации, аппаратура сопряжения с потребителями информации (платы ЛВС, адаптеры последовательных коммуникационных портов RS-232 и т. п.) и специализированные устройства сопряжения с каналами (линиями) связи (по необходимости).

Процессорный модуль работает под управлением операционной системы Microsoft Windows NT и оснащен специализированным программным обеспечением «Ладоба». Специализированное программное обеспечение предназначено для управления работой комплекса при решении задач обработки информации в процессе ее сбора, передачи по каналам связи, приема из каналов связи и выдачи потребителям.

Интерфейсные устройства станции, такие как монитор, принтер, клавиатура и манипулятор «мышь», предназначены для контроля текущего состояния станции, а также для управления ее работой.

Выбор аппаратуры сопряжения как с источниками информации, так и с ее потребителями зависит от типа соответственно источника или потребителя. Специализированные платы сопряжения с источниками информации обычно размещаются в свободных разъемах расширения процессорного модуля. Аппаратурой сопряжения с источниками информации могут также являться адаптеры ЛВС, адаптеры последовательных коммуникационных портов RS-232 и другое оборудование того же типа.

Если, например, радиолокатор имеет аналоговый выход (видео), то используется скан конвертер. При наличии цифрового выхода применяются цифровые платы (к примеру, типа «Вуокса»).

В качестве устройств сопряжения с потребителями информации могут использоваться адаптеры ЛВС (локальной вычислительной сети), адаптеры последовательных коммуникационных портов RS-232 и другое оборудование. Аппаратура сопряжения с потребителями информации обычно размещается в свободных разъемах процессорного модуля станции.

С помощью аппаратуры сопряжения с каналом (линией) связи обеспечивается устойчивое соединение между станцией-передатчиком и станцией-приемником данных через канал (линию) связи и устойчивый обмен данных между станциями.

В данном техническом описании применяются два технических термина: канал связи и линия связи. Различие между понятиями «канал связи» и «линия связи» заключается в нижеследующем.

\*Канал связи формируется и поддерживается аппаратурой, внешней по отношению к комплексу, т. е. канал связи может существовать и при выключенной аппаратуре «Ладога». Типичным примером канала связи является стандартный канал тональной частоты (канал ТЧ).

\*Под линией связи следует понимать любой вид соединения, при котором между двумя оконечными станциями «Ладога» отсутствует внешнее по отношению к комплексу ретрансляционное оборудование. Примером линии связи является прямое кабельное соединение между двумя оконечными станциями, т. е. станцией-передатчиком и станцией-приемником. Также линией связи можно назвать беспроводное соединение между оконечными станциями в варианте исполнения комплекса средств «Ладога» для беспроводных линий.

Выбор типа аппаратуры сопряжения с каналом (линией) связи, а также комплектности этой аппаратуры зависит от типа и количества каналов (линий) связи, имеющихся на месте установки. В различных вариантах исполнения комплекса средств «Ладога» применяется различная аппаратура сопряжения с каналами связи. В тех случаях, когда необходимо обеспечить передачу потока данных при повышенных требованиях к полосе пропускания по сравнению с теми, которые можно удовлетворить с помощью одного канала (линии) связи, в состав комплекса включается аппаратура мультиплексирования (демультиплексирования). Аппаратура мультиплексирования (демультиплексирования) позволяет распределять поток данных по имеющимся каналам связи.

## **Глава 15. РЕЧЕВАЯ СВЯЗЬ**

### **15.1. Задачи системы речевой связи**

Для осуществления управления воздушным движением диспетчеру необходимо поддерживать связь с экипажами воздушных судов и другими участниками движения (например, аэродромным спецтранспортом), а также со смежными диспетчерскими пунктами.

С этой целью в состав средств УВД включается *система речевой связи* (СРС). СРС обеспечивает:

- \* связь с экипажами воздушных судов;
- \* связь с наземными подвижными объектами;
- \* внутрицентровую оперативную связь с диспетчерскими пунктами и техническим персоналом;
- \* оперативную телефонную связь с удаленными диспетчерскими пунктами;
- \* внешнюю оперативную связь со смежными диспетчерскими пунктами;
- \* неоперативную связь с прочими абонентами.

Речевая связь подразделяется на радиосвязь (с подвижными наземными и воздушными объектами и неподвижными наземными объектами, между которыми по каким-либо обстоятельствам нет проводных линий) и телефонную связь (с неподвижными наземными объектами).

## 15.2. Структура систем речевой связи

### 15.2.1. Архитектура и ее элементы

Для организации речевой связи требуется: во-первых, ввести и вывести речевую информацию (т. е. иметь «куда говорить» и «откуда слушать» — назовем соответствующие устройства *разговорными приборами*), во-вторых, инициировать установление соединения и указать абонента, с которым требуется установить связь, и, в-третьих, передать заданному абоненту и получить от него речевую информацию.

Очевидно, что первые две задачи должны решаться устройством, находящимся непосредственно у пользователя системы речевой связи; это устройство получило название *абонентского комплекта* (АК) или применительно к системам диспетчерской связи — *оборудования рабочего места* (ОРМ). Таким образом, СРС состоит из абонентских комплектов — ОРМ, между которыми организована передача речевой информации.

Рассмотрим СРС на  $N$  абонентов. Предположим, что каждому из них необходимо предоставить возможность соединения с любым другим абонентом. Возможно несколько вариантов решения этой задачи.

«Каждый с каждым». В этом случае каждый из  $N$  абонентских комплектов соединен линиями связи со всеми остальными. Данная схема обладает следующими преимуществами (рис. 15.1):

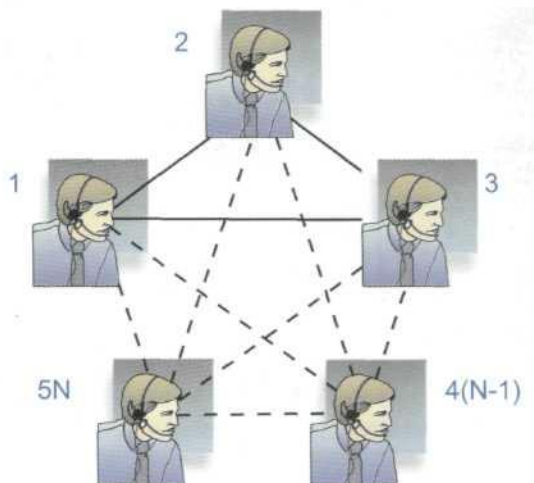


Рис. 15.1. СРС «каждый с каждым»

\* простота организации: установление соединения заключается в подключении разговорных приборов к соответствующей соединительной линии;

\* надежность: выход из строя одной линии приводит к потере связи только между двумя абонентами, не затрагивая остальную систему;

\* неблокируемость: всегда возможно установить соединение с любым абонентом, независимо от состояния системы в целом.

В то же время схема «каждый с каждым» имеет следующие недостатки:

\* избыточность: каждый абонент имеет  $N - 1$  соединительных линий, в то время как одновременно используется только одна, общее число соединительных линий в системе равно  $N(N - 1)$ ;

\* сложность реконfigurирования: для обеспечения возможности соединения между двумя абонентскими комплектами требуется прокладка линии связи.

*Коммутация.* Как уже отмечалось, всегда достаточно одной соединительной линии между абонентским комплектом и остальной системой: даже если пользователь разговаривает с несколькими абонентами одновременно (например, при конференц-связи), от него исходит один речевой поток. В



этом случае необходима организация доставки речевой информации от одного абонента к другому в отсутствие линии связи, непосредственно их соединяющей, — назовем этот процесс *коммутацией*. Различают два способа коммутации.

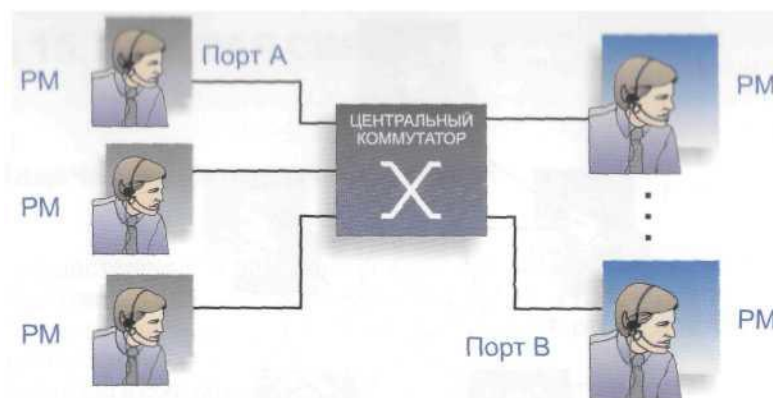


Рис. 15.2. Канальная коммутация

*Канальная коммутация.* В этом случае все абоненты соединены линиями связи с центральным устройством — коммутатором (рис. 15.2). Назовем точку присоединения линии к коммутатору *портом*. Тогда для организации двустороннего соединения между двумя абонентами А и В требуется передача речевой информации, поступающей от разговорных приборов А с порта А на порт В коммутатора, и передача речевой информации, поступающей от разговорных приборов В с порта В на порт А коммутатора. Назовем такой способ организации СРС схемой с центральным коммутатором. Следует отметить, что в системе может быть несколько коммутаторов, в этом случае к одному или нескольким портам коммутатора подключаются другие коммутаторы, образующие между собой древовидную или иную топологию межсоединений.

Абонентский комплект должен выдать запрос на установление соединения, получить ответ о принятии запроса к исполнению или об отказе в исполнении запроса, а также о том, что запрос реализован (соединение установлено). Назовем такой протокол обмена *сигнальной процедурой* или *сигнализацией*. В рассматриваемой схеме распознавание сигнальной информации и соответствующая реакция на нее являются функцией коммутатора.

Схема с центральным коммутатором обладает следующими преимуществами:

- \* простота построения системы: к каждому абонентскому комплекту подводится одна соединительная линия;
- \* простота абонентского комплекта: вся работа по установлению соединения выполняется коммутатором;
- \* простота реконфигурирования: для добавления абонента в систему требуется прокладка только одной соединительной линии.

В то же время схема с центральным коммутатором обладает и рядом недостатков:

- \* наличие критического элемента: отказ коммутатора приводит к невозможности установления соединения между всеми абонентами, что ограничивает применение данной схемы в системах оперативной связи;
- \* блокируемость: в случае если коммутатор на  $N$  портов обладает возможностью организации  $M$  внутренних соединений, где  $M < N - 1$ , возможна ситуация, при которой будет отказано в установлении соединения, так как пропускная способность коммутатора окажется исчерпанной.

Заметим, что по схеме с центральным коммутатором организована телефонная сеть общего пользования (ТфОП).

Если перенести функции по обработке сигнальной информации на ОРМ, то за коммутатором останется только соединение с абонентскими комплектами (точнее, портами коммутатора). При этом коммутатор состоит из отдельных модулей, объединенных внутренней магистралью и обслуживающих одно или несколько рабочих мест. Такая схема организации СРС с *распределенной канальной коммутацией* обладает всеми достоинствами схемы с центральным коммутатором и при этом лишена ее недостатков — наличия как критических элементов, так и блокируемости — за счет применения полностью неблокируемых коммутаторов. Вследствие этого по данной схеме построен ряд, широко применяемых СРС, например VCS 3020 австрийской фирмы Frequentis.

Переход от централизованной к распределенной коммутации каналов, обеспечивая неблокируемость и отказоустойчивость, не избавляет от еще одного недостатка систем данного класса — сложности самого коммутатора.

Допустим, все абонентские комплекты подключены к общей среде передачи данных. При этом речевая информация от ОРМ передается не непрерывно, а отдельными фрагментами (назовем их пакетами). Пакет помимо речевой содержит служебную информацию — заголовок, в котором указаны адресат и отправитель. В каждый момент времени только один АК передает пакет, а остальные работают на прием. Получив пакет, ОРМ определяет по заголовку, кому он адресован, и либо продолжает разбор пакета, либо игнорирует его. В этом случае для организации двустороннего соединения между двумя абонентами А и В требуется передача пакетов от абонента А с адресом назначения В и от абонента В с адресом назначения А. Назовем такой способ организации СРС *пакетной коммутацией*.

Применение пакетной коммутации упрощает СРС, так как функции установления соединения по-прежнему выполняются ОРМ, а сложное оборудование коммутатора заменяется простым, образующим среду передачи данных.

Несмотря на то что пакетная коммутация уже давно широко применяется в локальных и глобальных вычислительных сетях, первые СРС на ее основе появились лишь в последние годы, например VCS 3025 фирмы Frequentis и отечественная СКРС «Мегафон». В обеих упомянутых системах в качестве среды передачи данных используется ЛВС Ethernet.

На рис. 15.3 показана схема СКРС «Мегафон».

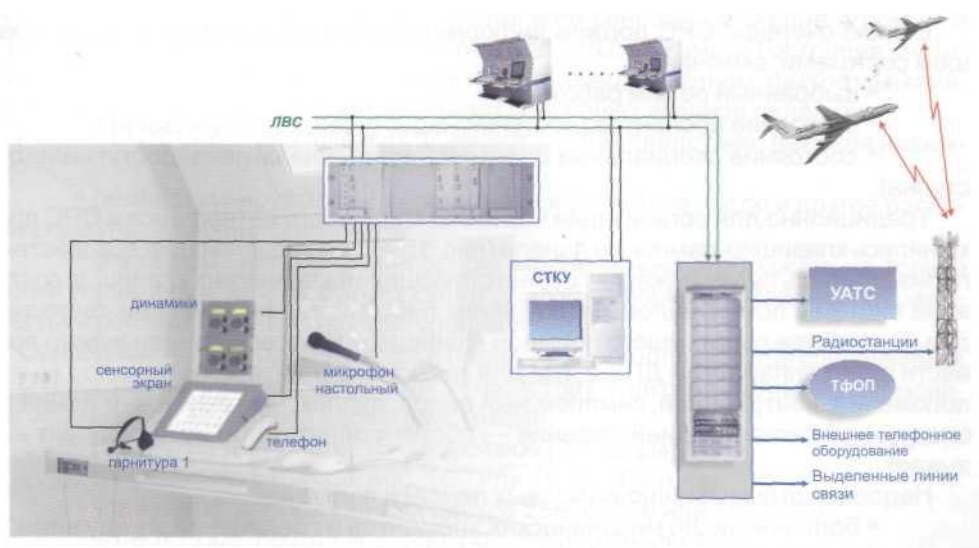


Рис. 15.3. Схема СКРС «Мегафон»

Как при канальной, так и при пакетной коммутации ОРМ включает следующие подсистемы:

- \* разговорные приборы;
- \* устройство ввода команд и индикации состояния системы;
- \* управляющий блок.

В настоящее время применяются следующие виды разговорных приборов:

- \* настольный микрофон в сочетании с одним или несколькими громкоговорителями;
- \* микротелефонная трубка;
- \* головная гарнитура.

Как правило, ОРМ включает все перечисленные виды разговорных приборов или содержит разъемы для их подключения. Это делается из соображений универсальности комплектов ОРМ, так как традиционно при разных видах связи отдается предпочтение определенным типам разговорных приборов (например, УКВ радиосвязь использует гарнитуру, внутренняя и внешняя телефонная связь — настольный микрофон и громкоговорители или телефонную трубку и т. д.).

Для всех динамиков (громкоговорителей, гарнитур и микротелефонной трубки) обеспечивается отдельная регулировка громкости.

Конструктивно блок громкоговорителей устанавливается в вертикальной панели диспетчерского пульта или наклонной части столешницы. В торце столешницы пульта или вблизи него размещается панель с разъемами, обеспечивающими быстрое подключение головных гарнитур. Микротелефонная трубка устанавливается на специальной подставке или кронштейне.



## 15.2.2. Организация интерфейса «пользователь-система»

Пользователь СРС в процессе работы реализует следующие управляющие воздействия:

- \* инициализация соединения и указание адресата;
- \* ответ на входящее соединение;
- \* активизация различных функций и режимов работы (например, переключение между настольным микрофоном и микрофоном головной гарнитуры, организация конференц-связи между несколькими абонентами и т. д.).

В свою очередь, СРС должна информировать пользователя о своем текущем состоянии, включая:

- \* выбранный режим работы;
- \* состояние абонентов (доступен/недоступен, свободен/занят);
- \* состояние специальных функций (активна/неактивна, доступна/недоступна).

Традиционно для организации человеко-машинного интерфейса в СРС применялись клавишно-ламповые панели (рис. 15.4), где управляющие воздействия производились путем нажатия соответствующих механических клавиш, а состояние системы показывалось включением либо миганием ламп или светодиодов. В качестве простейшего примера клавишно-ламповой панели можно привести пульт аппаратуры ДПУ-2, где для каждого абонента имеется ключ на три положения: нейтральное, симплексный вызов, дуплексный вызов — и лампа со следующей сигнализацией: горение — абонент занят, мигание — абонент вызывает.

Недостатками клавишно-ламповых панелей являются:

- большое число механических элементов и соединений между ними;
- малая информативность сигнализации;
- плохая расширяемость и реконфигурируемость.

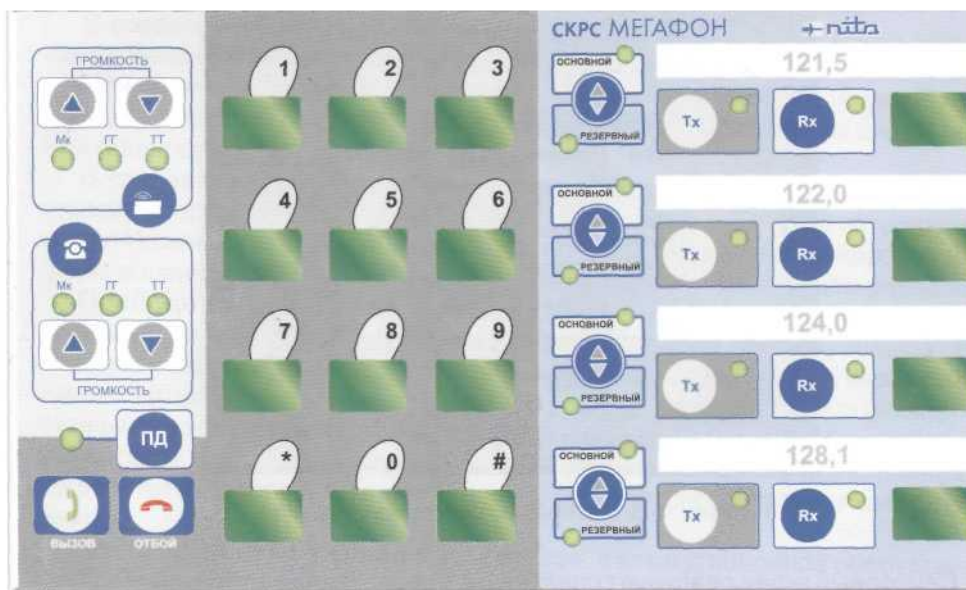


Рис. 15.4. Клавишно-ламповые панели

В современных СРС в качестве устройств управления и индикации применяются *сенсорные экраны*. Сенсорный экран представляет собой жидкокристаллический цветной монитор, по периметру лицевой поверхности которого установлены датчики, реагирующие на прикосновение к экрану и определяющие координаты точки прикосновения. При этом управляющие элементы изображены на мониторе, и прикосновение к его поверхности интерпретируется как нажатие на соответствующую клавишу. Информация о нажатии транслируется по последовательному интерфейсу (обычно RS-232) в управляющий блок ОРМ. Возможности сигнализации при использовании сенсорного экрана огромны и ограничены только фантазией разработчиков СРС: режимы и состояния системы можно показывать различными цветами клавиш, миганием, пиктограммами, надписями и т. д. Другими достоинствами сенсорных экранов являются:

- отсутствие механических элементов и, как следствие, высокая надежность;
- реконфигурируемость: легко можно задать иное число и другое расположение управляющих элементов;

\* универсальность: на сенсорном экране можно отображать не только кнопки управления, но и любую дополнительную информацию (видеоизображение, диагностика, данные о конфигурации и т.д.).

Сенсорные экраны применяются в подавляющем большинстве современных СРС (рис. 15.5).

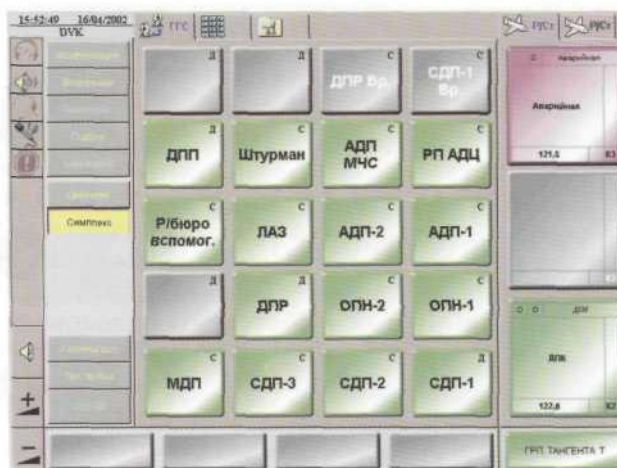


Рис. 15.5. Интерфейс сенсорного экрана

Применяемый в этих устройствах жидкокристаллический монитор обладает следующими характеристиками:

- \* размер по диагонали 10-14 дюймов (25-36 см);
- \* разрешение 640x480, 800x600 или 1024x768 точек;
- \* количество отображаемых цветов 256, 65536 или 16777216;
- \* углы обзора: по горизонтали 140°, по вертикали 110°.

Отметим, что технические характеристики мониторов быстро прогрессируют.

Сенсорный экран реализует следующие управляющие элементы:

- \* клавиши, предназначенные для установления соединения с абонентами и вызова различных функций и режимов работы;
- \* панели, группы, объединяющие клавиши со сходной функциональностью (например, панель радиосвязи, панель функциональных клавиш);
- \* дисплеи, предназначенные для отображения информационных сообщений и вводимых данных (например, набираемого номера);
- \* регуляторы уровня громкости.

Клавиши предназначаются:

- \* адресные — для непосредственного вызова абонентов;
- \* функциональные — для переключения режимов работы и активизации различных функций;
- \* клавиши тастатуры — для набора номера абонента.

Клавишно-ламповые панели и сенсорные экраны встраиваются в горизонтальную или наклонную часть столешницы диспетчерского пульта либо устанавливаются на специальном кронштейне.

Таким образом, современное оборудование рабочего места СРС включает:

- \* настольный микрофон;
- \* комплект громкоговорителей;
- \* панель с гнездами подключения одной или двух головных гарнитур;
- \* кронштейн или подставку с микрофонной трубкой;
- \* сенсорный экран;
- \* управляющий блок.

*Управляющий блок* выполняет следующие функции:

- \* принимает от сенсорной панели команды пользователя и выдает сигнализацию о состоянии системы;
- \* реализует сигнальные процедуры по установлению исходящих и входящих соединений;
- \* обеспечивает интерфейс с соединительными линиями на коммутатор или средой передачи данных при пакетной коммутации.

В современных СРС основным элементом управляющего блока является микропроцессор, поэтому этот узел также называют процессорным блоком.

При применении как пакетной, так и канальной коммутации устройство процессорных блоков схоже, однако организация внутрисистемных соединительных линий существенно различается.

В случае канальной коммутации каждый абонентский комплект соединен с коммутатором отдельной линией связи, проходящей от ОРМ до интерфейсного модуля коммутатора. Как правило, применяется стандартный цифровой интерфейс, например ИКМ-30 или ISDN (рассматриваются в следующем разделе).

При пакетной коммутации все абонентские комплекты объединены в локальную вычислительную сеть. В случае применения топологии типа «шина» оборудование представляет собой коаксиальный кабель, проходящий через всю систему, к которому при помощи Т-коннекторов или трансиверов подсоединены сетевые порты процессорных блоков. Для топологии типа «звезда» или «дерево» сетевой порт каждого процессорного блока соединен с *концентратором*— устройством, обеспечивающим передачу сигнала с каждого своего входа на все выходы.

По соображениям надежности и сетевое, и коммутационное оборудование, как правило дублируются.

Внешние интерфейсы описаны в приложении 26.

Для обеспечения неоперативной связи с различными внешними абонентами СРС может снабжаться интерфейсами с учрежденческой АТС или АТС ТфОП. При этом используются как стандартные двухпроводные абонентские линии (схема, аналогичная подключению УАТС к АТС ТфОП), так и межстанционные соединительные линии.

Все модули внешних интерфейсов как оперативной, так и неоперативной связью соединены с коммутатором по тому же принципу, что и абонентские комплекты.

## 15.3. Радиосвязь

### 15.3.1. Организация радиосвязи

Радиосвязь является важнейшим элементом СРС, так как обеспечивает взаимодействие между диспетчером и экипажем ВС, между диспетчером и наземными участниками движения. Потеря радиосвязи сегодня означает потерю управления. Кроме того, радиосвязь выполняет следующие функции:

связь с диспетчерскими пунктами, к которым нет проводных каналов; ° резервную связь с диспетчерскими пунктами, к которым есть проводные каналы на случай выхода их из строя.

В отличие от телефонной связи в радиосвязи отсутствует понятие соединения: передатчик, работающий на определенной частоте, будет услышан всеми приемниками, настроенными на ту же частоту.

За каждым диспетчерским пунктом закрепляется своя радиочастота. Как правило, для каждой частоты выделяются два приемника и два передатчика (основной и резервный). Приемник работает постоянно, а передатчик включается на излучение по команде диспетчера.

Группа приемников и передатчиков, расположенных в одном месте, образует приемопередающий центр (ППЦ). По расположению ППЦ относительно центра УВД разделяются на локальные и удаленные. Локальные ППЦ связаны с центром УВД физическими линиями, удаленные — арендованными каналами связи. Со стороны центра УВД на ППЦ могут оказываться следующие управляющие воздействия:

- \* включение/выключение передатчика на излучение;
- \* переключение основного/резервного комплекта;
- \* перестройка частоты приемника и передатчика.

Для управления удаленными ППЦ используется сигнализация переменным током (тональными посылками), для управления локальными ППЦ — как переменным, так и постоянным током.

Сигнализация постоянным током обеспечивает включение передатчика (сигнал «Тангента») и сигнализацию обнаружения несущей приемником. Существуют следующие радиоинтерфейсы:

- \* четырехпроводный с фантомной сигнализацией «Тангента»/«Обнаружение несущей» +27 В

постоянного тока;

- \* четырехпроводный с фантомной сигнализацией «Тангента»/«Обнаружение несущей» -27 В

постоянного тока;

- \* четырехпроводный с фантомной сигнализацией «Тангента»/«Обнаружение несущей» «земля»;
- \* шестипроводный с сигнализацией «Тангента»/«Обнаружение несущей»

+24/+48 В постоянного тока по одной отдельной паре;

- \* восьмипроводный с сигнализацией «Тангента» и «Обнаружение несущей» +24/+48 В

постоянного тока по двум отдельным парам.

Основной и резервный приемник/передатчик подключается к отдельным линиям связи.

Сигнализация переменным током включает все или только часть команд из следующего списка:

- \* сигнал «Тангента»;
- \* сигнал «Обнаружение несущей»;
- \* переключение на основной приемник;
- \* переключение на основной передатчик;
- \* переключение на резервный приемник;
- \* переключение на резервный передатчик;
- \* перестройка частоты приемника / передатчика;
- \* вызов персонала ППЦ (в этом случае речевой сигнал передается в эфир).

Каждая команда представляет собой посылку из одной или двух частот определенной длительности. Для связи с парой приемник-передатчик удаленного ППЦ используется четырехпроводная линия. Существует оборудование, блокирующее прием при передаче, что позволяет использовать двухпроводную линию, однако при этом отсутствует возможность самопрослушивания. При использовании двух параллельных линий связи основной и резервный приемник/передатчик подключаются к ним раздельно. В этом случае команды переключения основной/резервный не используются.

Для обеспечения управления радиосвязью СРС содержит интерфейсные модули, выполняющие электрическое и логическое сопряжение с радиостанциями. Так же как и в случае с модулями внешних интерфейсов, доступ к интерфейсным модулям радиосвязи осуществляется через механизм коммутации.

Ввиду того что радиосвязь является основным средством связи с воздушными судами, в ней применяются повышенные меры обеспечения отказоустойчивости:

- \* дублирование радиоинтерфейсов: каждая радиостанция имеет две (и более) точки подключения к системе;
- \* организация дополнительной резервной подсистемы связи, автономной от основной. Обычно такая резервная подсистема обеспечивает сокращенный набор пользовательских функций.

### 15.3.2. Функции управления радиосвязью.

Современные СРС предоставляют пользователю ряд функций по управлению радиосвязью:

- \* выбор радиоканала и режима его использования;
- \* выбор основного / резервного средства;
- \* отображение текущего состояния радиоканала;
- \* групповое использование одного радиоканала с нескольких рабочих мест;
- \* функции по объединению радиочастот.

*Выбор радиоканала и режима его использования.* В современных СРС возможен доступ к любому радиоканалу с любого рабочего места. Как правило, для конкретного рабочего места такой широкий выбор не требуется, поэтому доступ к радиостанциям ограничен списком, задаваемым при конфигурировании системы. Под доступом понимается возможность назначения радиоканала на одну из клавиш на панели радиосвязи сенсорного экрана. В различных СРС эти клавиши используются как информационные — отображающие состояние радиоканала — или как информационно-адресные — отображающие состояние радиоканала и служащие для активизации сигнала «Тангента» соответствующей радиостанции.

Каждый радиоканал может быть:

\* включен на прослушивание: речевой сигнал с приемника прослушивается через разговорные приборы рабочего места, активизация сигнала «Тангента» недоступна;

\* включен на управление: речевой сигнал с приемника прослушивается через разговорные приборы рабочего места, активизация сигнала «Тангента» доступна, т. е. возможна работа на передачу;

\* отключен: радиоканал выбран на рабочем месте, но не включен ни на управление, ни на прослушивание.

При доступе к радиоканалу рабочему месту могут быть доступны или недоступны управляющие функции:

\* включение на управление, при недоступности этой функции радиоканал можно использовать только в режиме прослушивания;

\* переключение основного/резервного средства.

Для включения передатчика на излучение (активизация сигнала «Тангента») могут быть использованы:

\* клавиша «Тангента» на сенсорном экране;

\* ножная педаль;

\* клавиша «Тангента» на шнуре головной гарнитуры или на микротелефонной трубке.

Каждое из этих устройств активирует передатчики всех радиостанций, находящихся в режиме «управление». При наличии нескольких радиостанций в режиме «управление» для передачи по одной из них можно использовать информационно-адресную клавишу (механическую или на сенсорном экране), если это предусмотрено в СРС. При передаче трансляция принимаемого сигнала через разговорные приборы блокируется.

*Информационные клавиши радиосвязи* отображают:

\* название и частоту радиоканала;

\* режим использования радиоканала: управление, прослушивание, отключен;

\* основной или резервный приемник/передатчик задействован в данный момент;

\* через какое средство (громкоговоритель или головную гарнитуру) прослушивается приемник радиостанции;

\* наличие сигнала «Обнаружение несущей».

В том случае, когда сигнал «Обнаружение несущей» не предусмотрен конструкцией приемника, этот сигнал генерируется интерфейсным модулем по наличию речи в сигнале приемника.

Один и тот же радиоканал может одновременно использоваться несколькими рабочими местами (например, аварийная частота 121,5 или радиосвязь со смежным диспетчерским пунктом). В этом случае СРС обеспечивает:

\* при активизации сигнала «Тангента» с одного рабочего места блокировку передачи со всех остальных;

\* индикацию занятости радиоканала другим рабочим местом;

\* систему приоритетов: рабочее место, обладающее приоритетным правом на использование данного радиоканала, может получить к нему доступ, если по каналу идет передача от рабочего места, не обладающего таким правом.

Размер зоны ответственности диспетчерского пункта может быть больше, чем радиус действия средств радиосвязи. В этом случае для обеспечения радиопокрытия используется несколько радиостанций, работающих на одной частоте (частоте данного диспетчерского пункта), но территориально разнесенных. Все радиостанции, работающие на одной частоте, можно рассматривать как автономные или как группу. При автономной работе все приемники прослушиваются, а диспетчер самостоятельно выбирает, какой передатчик использовать для сеанса радиосвязи. При объединении радиостанций в группу сигналы приемников объединяются либо путем микширования, либо по алгоритму выбора лучшего сигнала. В последнем случае определяется, от какого из приемников поступил лучший сигнал, и именно он будет транслироваться через разговорные приборы. При этом передатчик, соответствующий выбранному приемнику, на небольшой период времени объявляется умолчательным, что избавляет диспетчера от необходимости ручного выбора.

При объединении секторов воздушного пространства, что нередко, когда интенсивность воздушного движения сильно меняется в зависимости от времени, полезна функция объединения

частот в группу. В этом случае объединяемые сектора продолжают работать каждый на своей частоте, речевой сигнал от диспетчера передается по всем частотам группы, а принимаемые на каждой частоте речевые сигналы ретранслируются на все (или часть — по выбору диспетчера) частоты группы.

## 15.4. Функции управления телефонной связью

Важным свойством СРС, применяемых в УВД, является оперативность связи. Под оперативностью понимается возможность установления соединения между абонентами посредством нажатия только одной клавиши, причем соединение должно устанавливаться практически мгновенно (0,3-1 секунда).

По способу доступа различаются следующие виды соединений:

- \* прямое: вызывающий абонент нажимает адресную клавишу, у вызываемого абонента появляется сигнал вызова, и после ответа вызываемого абонента устанавливается соединение;
- \* оперативное: вызывающий абонент нажимает адресную клавишу, после чего сразу устанавливается соединение;
- \* косвенное: вызывающий абонент набирает номер на клавиатуре, у вызываемого абонента появляется сигнал вызова, и после ответа вызываемого абонента устанавливается соединение.

Ответ (подтверждение) со стороны вызываемого абонента может быть сделан нажатием адресной клавиши вызываемого абонента или специальной клавиши «Ответ».

По организации различают соединения:

- \* двусторонние: один абонент соединен с другим;
- \* «циркуляр»: один абонент соединен с несколькими;
- \* «конференция»: несколько абонентов соединены каждый с каждым.

*Адресные клавиши*, предназначенные для прямого и оперативного вызова, отображают текущее состояние соответствующего абонента:

- \* «недоступен»: абонент выключен или неисправен;
- \* «свободен»: абонент доступен для вызова;
- \* «занят»: абонент соединен с другим абонентом;
- \* «вызов»: запрос на установление соединения со стороны абонента;
- \* «ожидание»: ожидается ответ абонента на запрос соединения;
- \* «соединение»: с абонентом установлено соединение.

Как правило, перечисленные состояния отображаются цветом адресной клавиши. При установлении соединения соответствующая адресная клавиша переходит в нажатое состояние.

*Функциональные клавиши* отображают состояние соответствующей функции:

- \* функция недоступна;
- \* функция доступна;
- \* функция активизирована.

Так как применяемый в СРС механизм коммутации обеспечивает неблокируемость, всегда существует возможность доступа к любому абоненту в системе, даже если в это время установлено его соединение с другим абонентом. Получается, что к абоненту может поступить несколько вызовов, образующих очередь вызовов. Как правило, очередь реализуется в виде группы свободных клавиш. После поступления вызова прямого или косвенного доступа на первой из них отображается наименование и/или номер вызываемого абонента, следующий вызов помещается на следующую клавишу и т. д. Вызываемый абонент может выбирать, на какой из вызовов ответить.

Большинство современных СРС обеспечивают следующие функциональные возможности:

- \* переадресация вызова: вызов от абонента А к абоненту В может быть перенаправлен абонентом В к абоненту С, после чего устанавливается соединение А—С;
- \* групповая переадресация: все вызовы, поступающие к абоненту А, автоматически переадресовываются к абоненту В;
- \* удержание вызова: при поступлении вызова от абонента А к абоненту В абонент В может поставить абонента А в режим ожидания, установить другое соединение, после чего вернуться к соединению с А;
- \* «диспетчер-инструктор»: параллельное использование двух головных гарнитур одного

рабочего места;

\* краткосрочное документирование: запись и прослушивание записанных телефонных и радиопереговоров (за период 10-60 минут) непосредственно на рабочем месте.

## Глава 16. КОМПЛЕКС СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

### 16.1. Назначение и состав подсистемы планирования

#### 16.1.1. Назначение и структура системы

Подсистема обработки плановой информации в АС УВД нового поколения представляет собой сложный вычислительный комплекс, который обладает большой универсальностью и может использоваться вне АС.

В связи с этим введен термин «комплекс средств автоматизации планирования воздушного движения» (КСА ПВД).

Ниже рассматривается структура КСА ПВД «Планета» и дается описание входящих в ее состав компонентов.

В основу создания КСА ПВД положены общие принципы построения системы планирования, рассмотренные в главе 4.

КСА ПВД «Планета» выполняет функции по сбору и преобразованию данных о плановой информации, осуществляет обработку сообщений сети АФТН и распределение планов полетов. Обработка планов полетов включает представление каждого полученного сообщения в стандартном формате, выдачу диспетчеру сообщений о выявленных ошибках, идентификацию каждого сообщения в соответствии с классификацией, принятой в гражданской авиации, последующий автоматический или ручной ввод в базу данных, корректировку планов полетов по информации, полученной от нескольких источников.

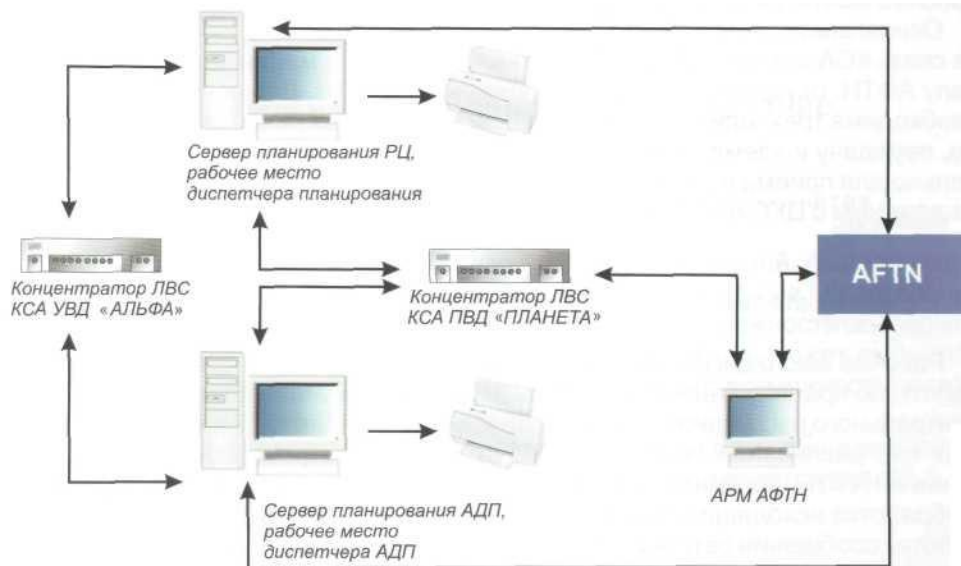


Рис. 16.1. Состав и связи КСА ПВД «Планета» (минимальная конфигурация)



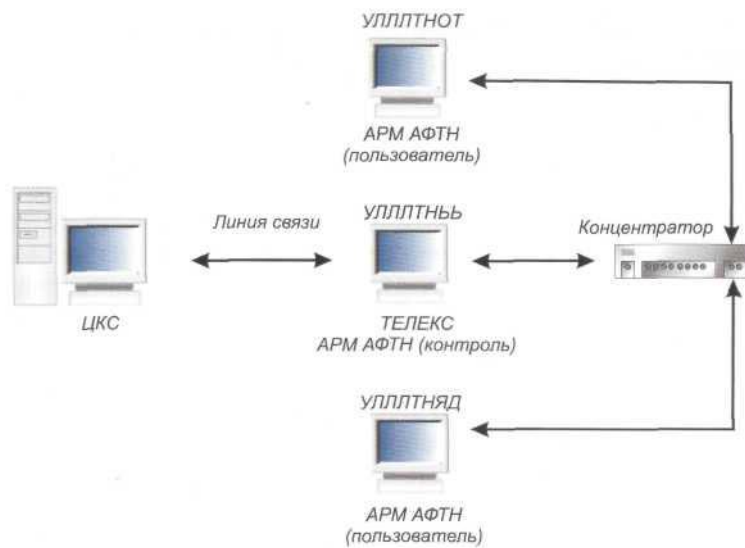


Рис.16.2. Примерная схема подключения АРМ АФТН и «Телекс»

В зависимости от конфигурации зон УВД и требований заказчика КСА ПВД «Планета» может включать от одного до двух серверов планирования и неограниченное количество рабочих станций, на которых могут выполняться задачи планирования, штурманского обеспечения, задачи ПДСП и экономики.

Количество рабочих станций ограничено лишь числом мест подключения в концентраторе ЛВС.

На рис.16.1 показана минимальная конфигурация КСА ПВД «Планета» для аэропорта с РЦ и АДП. В этой конфигурации сервер может использоваться как рабочее место. АРМ АФТН также может служить в качестве рабочего места.

Основным источником информации служит сеть АФТН. (На рис 16.2 показана связь КСА с сетью АФТН.) Преобразование информации, получаемой по каналу АФТН, осуществляет карта сопряжения с АФТН. Для подключения к ЦКС необходима трех- или четырехпроводная выделенная линия, включающая прием, передачу и «землю» (в случае четырехпроводной линии «земля» идет отдельно для приема и для передачи). Карта АФТН обеспечивает скорость обмена данными с ЦКС от 50 до 2400 бод в коде МТК2.

### 16.1.2. Автоматизированные рабочие места

Рабочее место диспетчера АДП — АРМ диспетчера АДП предназначено для работы по предварительному, суточному и текущему планированию на основе центрального расписания, повторяющихся планов полетов и рейсов, выполняемых вне расписания (заявок типа ППЛ). Предусмотрены соединение АРМа с линией АФТН, автоматизация основных процедур по составлению, получению и обработке исходящих и входящих телеграмм. АРМ АДП осуществляет обработку сообщений сети АФТН и распределение планов полетов. АРМ диспетчера АДП позволяет:

- \* осуществлять предварительное планирование движения ВС на основе центрального расписания и повторяющихся планов полетов;
- \* составлять расписание движения ВС на заданную дату по данным центрального расписания и заявок;
- \* осуществлять суточное планирование на основе расписания движения самолетов и заявок типа ППЛ;
- \* автоматически составлять расписание движения самолетов на текущие сутки с разделением на вылет и прилет;
- \* создавать предварительные планы полетов в полуавтоматическом режиме в виде таблицы или путем заполнения экранной формы;
- \* производить обработку повторяющихся планов полетов и автоматическую активизацию планов;
- \* создавать гибкие выходные формы поданным центрального расписания, суточного и текущего плана полетов;
- \* передавать заранее подготовленные и оперативно составленные телеграммы по сети АФТН

согласно Табелю сообщений о движении воздушных судов, а также телеграммы в произвольной форме;

- \* принимать по сети АФТН и обрабатывать телеграммы в целях коррекции существующих планов полетов и заявок;

- \* создавать архивы текущих планов полетов на вылет и прилет, принятых и переданных телеграмм с указанием выходной формы архива;

- \* создавать выходные формы поданным архивов.

Рабочее место диспетчера планирования РЦ — АРМ диспетчера по планированию РЦ выполняет те же функции, что и АРМ АДП, и, кроме этого, позволяет:

- \* рассчитывать текущую и прогнозируемую загрузку секторов и зон УВД;

- \* контролировать наличие разрешений ПЛН на выполнение полетов в зоне УВД;

- \* представлять в визуальном виде маршруты планируемых полетов;

- \* составлять выписки планируемых полетов для сектора УВД;

- \* составлять отчеты о фактическом полете ВС.

## 16.2. Программное и информационное обеспечение

### 16.2.1. Программная оболочка системы планирования «Планета»

Программная оболочка обеспечивает работу приложений, выполняющих различные функции в комплексе. Приложения разделяются на обязательные (работающие постоянно, т. е. пользователь не имеет возможности их закрыть) и приложения пользователя (эти программы пользователь может запустить, а также может выйти из них). Программная оболочка дает возможность перезапускать комплекс, осуществлять его администрирование.

Основу системы составляют электронные *таблицы* (базы данных описаны в главе 4). Таблицы данных и связи между ними иллюстрируются рис. 16.3.

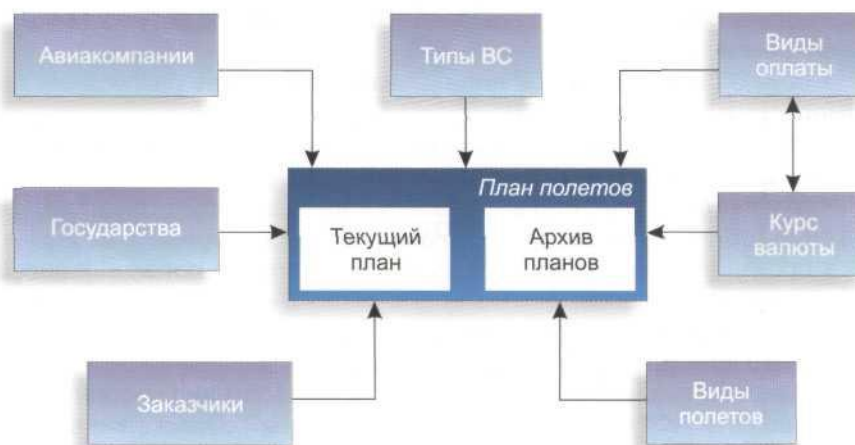


Рис. 16.3. Таблицы данных и связи между ними

### 16.2.2. Таблицы данных

*Основные данные.* К основным данным относятся таблицы аэропортов, авиакомпаний, типов ВС, точек и участков воздушных трасс. Эти данные используются программами комплекса при обработке поступающей плановой информации и при передаче информации потребителям.

Для поиска, просмотра и редактирования данных используются таблицы, имеющие возможность установки фильтров для поиска и последующей распечатки информации. Просмотр таблиц осуществляется через меню.

Данные могут редактироваться вручную или автоматически после обработки форматной информации, поступающей по каналам связи.

*Оперативные данные.* Их источниками являются центральное расписание, телеграммы и текущие планы полетов.

*Центральное расписание.* Центральное расписание, или повторяющиеся планы полетов (РПЛ), заводятся в комплекс автоматически по каналам связи или вручную. Существует возможность ввода РПЛ с дискет.

*Телеграммы.* Основная часть информации поступает по каналу АФТН, все принятые и переданные телеграммы хранятся в таблицах.

Таблица телеграмм разделена на две части: принятые и переданные. Отображаемые поля таблицы:

- \* срочность телеграммы;
- \* имя телеграммы;
- \* вид телеграммы;
- \* отправитель;
- \* время обработки телеграммы;
- \* номер телеграммы;
- \* статус;
- \* ошибка.

С принятой или переданной телеграммой можно сделать следующие операции:

- \* просмотреть; сохранить в шаблоне; распечатать;
- \* переадресовать;
- \* ответить;
- \* изменить тип.

*Возможности поиска:*

- \* по каналному номеру;
- \* имени телеграммы;
- \* адресу получателя;
- \* адресу отправителя;
- \* тексту (контекстный поиск).

*Диапазон поиска:*

- \* за дни;
- \* за промежуток дат.

*Настройки фильтров просмотра:*

- \* выбор типов отображаемых телеграмм;
- \* установка количества просматриваемых телеграмм;
- \* за дни;
- \* за промежуток дат.

*Заявки (ППЛ).* В этой таблице находятся данные, переданные с рабочих мест комплекса, а также ППЛ и изменения к ним, пришедшие от других АДП или служб планирования авиакомпаний. Из меню таблицы отправляются телеграммы, касающиеся суточного планирования.

*Текущий план полетов.* Отображаются три таблицы — вылет, прилет и транзит. Из меню имеется возможность отправлять информацию, касающуюся текущего планирования.

В текущем плане полетов собирается вся обработанная информация о фактических вылетах и посадках ВС, их задержках, изменениях текущих планов. Источниками информации являются:

- \* ручной ввод;
- \* информация с рабочих мест системы УВД;
- \* информация, поступающая по АФТН или иным каналам связи из других АДП, ЗЦ и прочих источников плановой информации.

*Техническая годность.* В эту таблицу попадают обработанные телеграммы типа АПВ и АПЗ о временах открытия и закрытия аэропортов. Информация этой таблицы используется в текущем плане для индикации открытия/закрытия аэропортов.

## 16.3. Функции и работа системы

### 16.3.1. Работа с окнами просмотра и редактирования записей

В КСА ПВД используется многооконный интерфейс. Он имеет следующие страницы: «Рейс», «ВС», «Аэропорты», «ДЕП/ДЕСТ», «Адреса», «Тексты телеграмм», «Загрузка», «ПДСП», «Точки», «Даты».

Интерфейс программы не предполагает производить изменения непосредственно в строках таблиц. Для просмотра дополнительных данных и ввода изменений предназначены окна просмотра и редактирования записей. Окна реализованы в виде закладок, расположенных в нижней части экрана. При изменении данных загораются значки индикации сохранения или отмены изменений. На рис. 16.4 показано рабочее окно АРМ АДП.

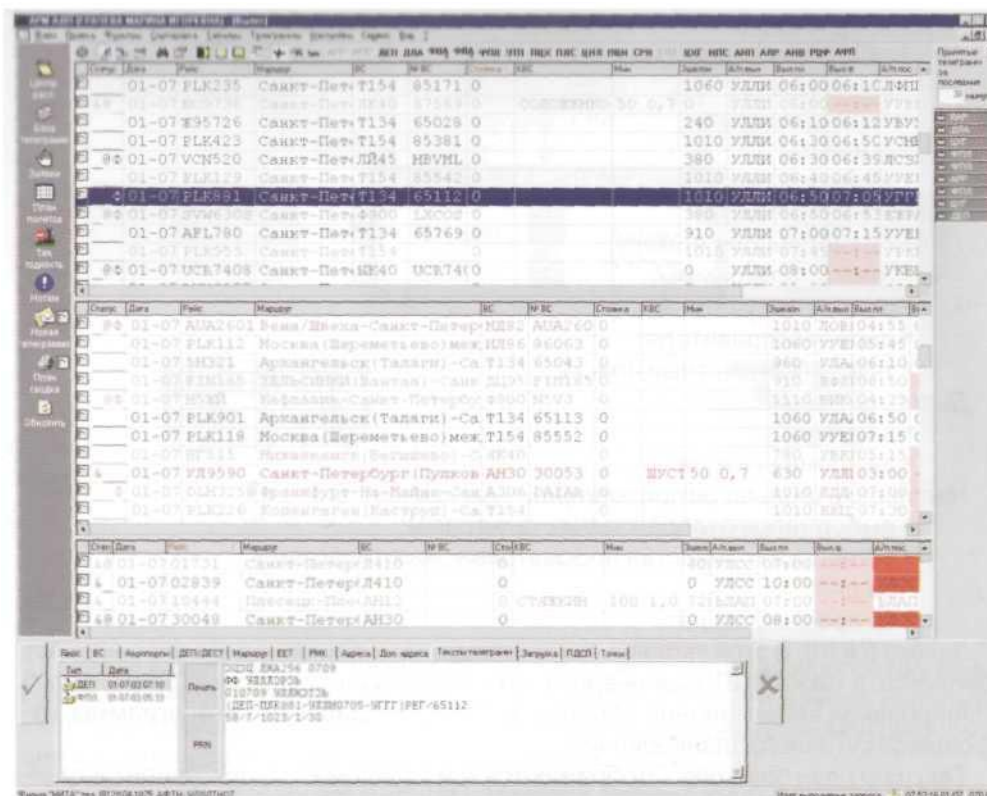


Рис. 16.4. Рабочее окно АРМ АДП

### 16.3.1. Введение текущего и суточного плана

Текущий и суточный планы ведутся непосредственно диспетчером, путем отправки телеграмм и ввода изменений, на основе информации, полученной от диспетчеров других АДП, осуществляющих текущее планирование, а также от АС УВД, установленной в данном районе.

В меню текущего плана есть шаблоны телеграмм, которые диспетчер АДП обязан передавать согласно руководящим документам (Табель сообщений). Передача телеграммы осуществляется путем выбора рейса и нажатия кнопки с типом телеграммы, необходимой для отправки.

Планы полетов могут быть переданы из таблицы заявок нажатием кнопки с типом ППЛ или из заранее заготовленного шаблона.

Подготовка адресов рассылки телеграмм может осуществляться вручную, при помощи шаблонов, автоматически. Для автоматического заполнения адресов необходимо указать маршрут полета в виде зон РЦ в поле ЕЕТ.

План-сводка распечатывается отдельно по вылетам, по посадкам, по транзиту. Варианты распечатки плана-сводки:

- \* вчера;
- \* сегодня;
- \* завтра;

- \* большой план;
- \* малый план.

Имена и количество колонок в сводке можно варьировать, и, таким образом, можно составить варианты различных сводок под разными именами. Кроме распечатки, подготовленную сводку можно передать по АФТН заинтересованным службам аэропорта.

### 16.3.3. Архивы данных

Срок хранения архивов устанавливается в соответствии с административными задачами.

Архивируются следующие данные:

- \* телеграммы принятые, переданные;
- \* текущий план;
- \* журнал, где регистрируются действия пользователей.

Телеграммы архивируются в текстовом виде и в формате баз данных.

Текущий план хранится в формате баз данных. Кроме того, раз в сутки выполняется полное сохранение базы и раз в 5 мин текстовое сохранение основных таблиц базы данных.

Поиск необходимой информации в архивах осуществляется путем создания запросов.

Программа контроля работы диагностирует состояние машины (загрузка процессора, используемая память), работоспособность обязательных приложений. При нестабильной работе какого-либо из них срабатывает звуковая и световая сигнализация.

## 16.4. Взаимодействие с источниками данных

«Телекс» — программа взаимодействия с ЦКС. «Телекс» выполняет прием, передачу телеграмм и обмен служебными телеграммами с центром коммутации сообщений (ЦКС).

Он сопрягается с телеграфным каналом при помощи телеграфного адаптера и обеспечивает возможность работы по телеграфным каналам и/или физическим линиям со следующими параметрами:

- \* приемник — от  $\pm 14$  до  $\pm 60$  В, 20 мА, четырехпроводная линия, состояние покоя +20 мА;
- \* передатчик —  $\pm 24$  В, 20 мА, четырехпроводная линия, состояние покоя + 20 мА;
- \* входное сопротивление 1000 Ом, входной ток от 7 до 30 мА; выходной ток в линию —  $20 \pm 5$  мА.

Выполняется контроль линии (индикация) на обрыв по приему и передаче. При неисправности линий выдается звуковая и световая сигнализация. Обеспечивается индикация приема/передачи.

Код телеграфных сообщений — пятиэлементный код МТК-2 (латынь и кириллица). Скорости обмена по каналам связи 50, 75, 100, 150, 200, 300, 600, 1200, 1800, 2400 Бод.

Телекс выполняет в автоматическом режиме следующие основные функции:

- \* контроль состояния каналов связи на нарушение и восстановление работоспособности (обрыв);
- \* передачу (в 0, 20, 40 минут каждого часа) и контроль приема (в периоды от 56 до 4, от 16 до 24, от 36 до 44 минут) контрольных канальных сообщений — ЦХ;
- \* посылку служебных сообщений (МИС ЦХ ЛР) при отсутствии на приемных каналах ЦХ сообщений;
- \* синтаксический и семантический контроль принимаемых сообщений;
- \* ведение порядковой нумерации принятых сообщений, анализ обозначения передачи (строки заголовка), автоматическое формирование и передачу в канал соответствующих служебных сообщений и запросов при несовпадении ожидаемого и принятого обозначения передачи (обеспечивающих их взаимосогласованную автоматическую подстройку порядковой нумерации приема/передачи и повтор пропущенных сообщений);
- \* автоматическое формирование и передачу в канал подтверждения получения сообщения категории срочности СС;
- \* присвоение каждому исходящему сообщению соответствующего обозначения передачи, порядкового номера и времени передачи, изменение нумерации при смене даты и при превышении номером числа 999 с ведением соответствующей серии;
- \* организацию очередности передачи сообщений в канал в соответствии с их категорией

срочности;

- \* обеспечение приоритетной передачи сообщений категории СС;
- \* автоматическую обработку, формирование и передачу служебных сообщений;
- \* архивирование принятых сообщений всех типов;
- \* хранение принятой и переданной информации с организацией текущего (суточного) и

долговременного архивов;

- \* автоматическое ведение статистической информации по каналу;
- \* автоматическое формирование и непрерывную передачу в канал, находящийся в тестовом режиме работы, серии тестовых сообщений для его проверки и настройки.

Подробное описание протокола «Телекс» приведено в приложении 29.

Обработчик телеграмм осуществляет обработку принятых и переданных телеграмм, классифицирует их по типам, ведет текущий и суточный планы, выявляет ошибочные телеграммы, отображает предполагаемую ошибку.

## **Глава 17. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ И ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

### **17.1. Принципы построения систем технологического управления**

#### **17.1.1. Задачи идентификации и управления состоянием системы**

Сложность автоматизированных систем управления воздушным движением обусловлена широким применением в них компьютерной техники, локальных вычислительных сетей и т. д., что приводит к необходимости автоматизации процессов технологического управления.

Автоматизация функций технологического управления позволяет облегчить сбор информации о функционировании систем, своевременно выявлять неисправности и отказы оборудования, управлять работой отдельных компонентов и системы в целом, а также решать другие задачи, возникающие в процессе эксплуатации. Решение задач технологического управления в системах может осуществляться двумя способами: реализацией таких функций в самих системах либо их сопряжением со специальными устройствами. В первом случае в состав существующих систем внедряют отдельные автоматизированные рабочие места (АРМ) управления, выполняющие функции технологического управления, и соответствующим образом модифицируют программное обеспечение в целях поддержки этих АРМов. Во втором случае параллельно с основными устанавливаются специализированные системы технологического управления, имеющие собственную автономную структуру.

К задачам технологического управления, как правило, относятся:

- \* сбор информации о параметрах работы оборудования и программного обеспечения (ПО);
- \* выявление сбоев и диагностика неисправностей;
- \* сбор, анализ и хранение статистических данных о работе системы в целом и ее подсистем;
- \* управление работой системы и отдельных компонентов (изменение режимов и параметров работы систем).

Подсистема, выполняющая функции диагностики и управления, относится к *активным* информационным системам. Тем самым она отличается от другой подсистемы АС УВД — справочно-информационной, которая хранит и выдает информацию лишь по требованию пользователя и поэтому может быть отнесена к *пассивному* типу информационных систем.

## 17.1.2 Специализированные системы технологического управления

Современные автоматизированные системы управления технологическими процессами относятся к классу многоуровневых человеко-машинных систем. Создание АСУ сложными технологическими процессами осуществляется с использованием информационно-вычислительных систем, которые постоянно совершенствуются.

Оператор в многоуровневой автоматизированной системе управления технологическими процессами считывает информацию с экрана монитора ЭВМ или электронной системы отображения информации и воздействует на объекты, находящиеся, как правило, от него на значительном расстоянии, с помощью телекоммуникационных систем, контроллеров, интеллектуальных исполнительных механизмов.

Концепция одной из таких систем — SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition — диспетчерское управление и сбор данных) предопределена всем ходом развития систем управления и результатами научно-технического прогресса. Применение SCADA-технологий позволяет достичь высокого уровня автоматизации в системах управления, сбора, обработки, передачи, хранения и отображения информации. В настоящее время SCADA является основным и наиболее перспективным методом автоматизированного управления сложными динамическими системами (процессами).

Станции управления предназначены для отображения хода технологического процесса и оперативного управления. Эти задачи и призваны решать SCADA-системы. SCADA — это специализированное программное обеспечение, ориентированное на поддержку интерфейса между диспетчером и системой управления, а также на коммуникацию с внешним миром.

Основные элементы SCADA-технологий используются в АС УВД нового поколения с учетом специфики этой предметной области.

Управление технологическими процессами на основе систем SCADA стало осуществляться в 80-е годы. Область применения охватывает сложные объекты электро и водоснабжения, химические, нефтехимические и нефтеперерабатывающие производства, авиационный и железнодорожный транспорт, транспорт нефти и газа и др.

Многие проекты автоматизированных систем контроля и управления для большого спектра областей применения имеют общую схему реализации.

Как правило, это двухуровневые системы. Специфика конкретной системы управления определяется используемой на каждом уровне программно-аппаратной платформой, набором источников информации и особенностями объекта управления.

*Нижний уровень* — это уровень объекта (контроллерный). Он включает различные датчики для сбора информации о ходе технологического процесса, электроприводы и исполнительные механизмы для реализации регулирующих и управляющих воздействий. Датчики поставляют информацию локальным программируемым логическим контроллерам (PLC — Programming Logical Controller). В качестве локальных PLC в системах контроля и управления различными технологическими процессами в настоящее время применяются контроллеры, как отечественных производителей, так и зарубежных. На рынке представлены многие десятки и даже сотни типов контроллеров, способных обрабатывать от нескольких переменных до нескольких сотен переменных.

Информация с локальных контроллеров может направляться в сеть диспетчерского пункта непосредственно, а также через контроллеры верхнего уровня. В зависимости от поставленной задачи контроллеры верхнего уровня (концентраторы, интеллектуальные или коммуникационные контроллеры) реализуют различные функции. Некоторые из них перечислены ниже:

- \* сбор данных с локальных контроллеров;
- \* обработка данных, включая масштабирование;
- \* поддержание единого времени в системе;
- \* синхронизация работы подсистем;
- \* организация архивов по выбранным параметрам;
- \* обмен информацией между локальными контроллерами и верхним уровнем;
- \* работа в автономном режиме при нарушениях связи с верхним уровнем;
- \* резервирование каналов передачи данных и др.

*Верхний уровень* — диспетчерский пункт (ДП) — включает прежде всего одну или несколько станций управления, представляющих собой автоматизированное рабочее место



диспетчера/оператора. Здесь же могут быть размещены сервер базы данных, рабочие места (компьютеры) для специалистов и т. д. Часто в качестве рабочих станций используются ПЭВМ типа IBM PC различных конфигураций.

## 17.2. Подсистема диагностики и управления АС УВД

### 17.2.1 Структура подсистемы диагностики

АС УВД является сложным программно-аппаратным комплексом, к которому предъявляются высокие требования по надежности характеристик, таким как безотказность, непрерывность, целостность и пр. В качестве одной из подсистем в комплекс входит *подсистема диагностики и управления*. Она предназначена для обеспечения технического персонала, эксплуатирующего систему, полной информацией о текущем состоянии системы и управления ее работой. Под полной информацией следует понимать такой объем данных, который позволяет однозначно квалифицировать (идентифицировать) состояние системы в данный момент времени.

Общая структура подсистемы диагностики представлена на рис. 17.1.



Рис. 17.1. Общая структура подсистемы диагностики

Подсистема диагностики и управления состоит из трех уровней:

- \* уровень драйверов оборудования;
- \* уровень служб локальной диагностики;
- \* уровень представления (уровень диагностики/управления).

*Уровень драйверов.* На данном уровне осуществляется прямая диагностика устройств, имеющихся в компьютере: сетевых плат, сканконвертеров и т. д. Каждое такое устройство обслуживается собственным драйвером. Механизм диагностирования устройства, его полнота и периодичность задаются его драйвером.

*Уровень служб локальной диагностики.* На этом уровне осуществляется накопление диагностической информации, полученной с уровня драйверов устройств, а также из других источников, таких как операционная система и прикладное программное обеспечение, установленное на компьютере. К диагностируемому программному обеспечению относятся ПО отображения («Рабочее место диспетчера»), ПО сервера (поддержка сопряжения с источниками радиолокационной информации), ПО, устанавливаемое на серверах/групповом оборудовании АРМа АДП, и т. д.

*Уровень представления (уровень диагностики/управления системой).* Это уровень АРМа сменного инженера. Он выполняет следующие функции:

- \* сбор диагностической информации с других уровней локального компьютера;
- \* сбор диагностической информации со всех компьютеров локальной сети;
- \* диагностика локальной сети, а также устройств локальной сети, не диагностируемых на других уровнях (концентраторы ЛВС, кабели и т. п.);
- \* управление работой системы: запуск и останов программного обеспечения, подготовка к

выключению и перезапуск компьютеров;

- \* просмотр параметров работы системы и сигнализация текущих неисправностей;
- \* сохранение, просмотр и печать журнала работы системы.

На каждом компьютере ядром сбора и хранения диагностической информации является служба локальной диагностики (уровень служб локальной *диагностики*). Для получения диагностической информации это программное обеспечение использует различные механизмы: активный (прямой) опрос драйверов устройств и пассивный сбор данных. При прямом опросе служба локальной диагностики с определенной, зависящей от типа устройства периодичностью опрашивает его драйвер. Механизм и частота запросов определяются типом устройства, построением его драйвера и структурой получаемой от него диагностической информации. При пассивном же сборе данных диагностируемые программы самостоятельно передают блоки диагностической информации службе локальной диагностики для хранения и передачи на следующие уровни.

## 17.2.2 АРМ инженера ЛАЗа

В АС УВД основной средой, объединяющей различные компьютеры системы, является локальная вычислительная сеть. Верхний уровень работы ЛВС является уровнем *диагностики и управления системой*. Все основные задачи процесса обработки собранных данных диагностики решаются, как правило, программным обеспечением АРМа сменного инженера (АРМ инженера ЛАЗа).

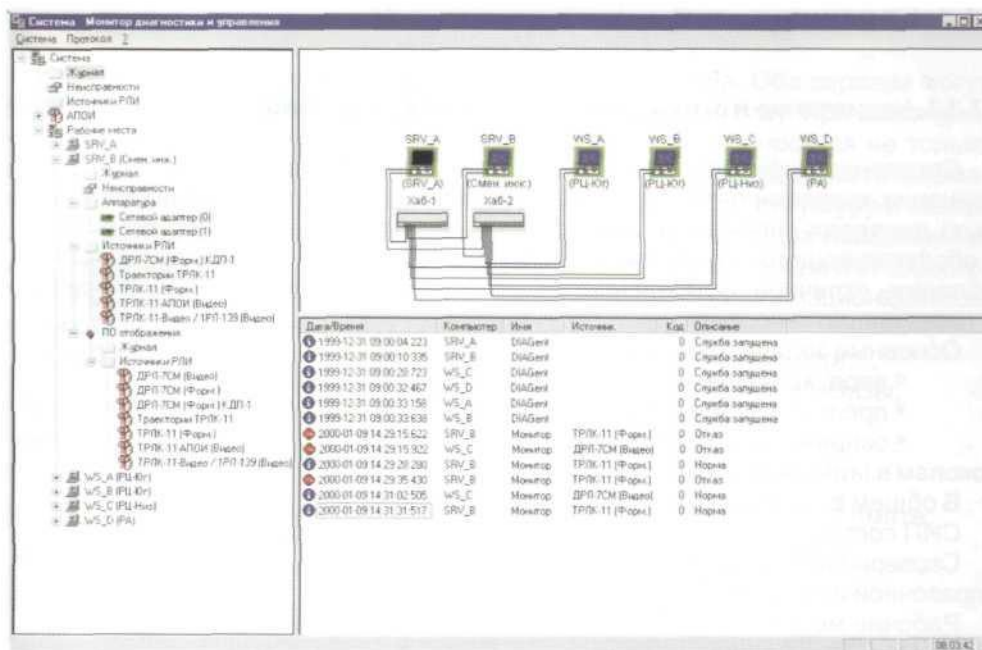


Рис.17.2. Примерный вид экрана АРМа инженера АС УВД «Альфа»

В целях решения задач диагностики локальных сетей на АРМ инженера ЛАЗа возложены следующие функции:

- \* сбор диагностической информации с компьютеров, входящих в локальную сеть;
- \* обработка и анализ полученных диагностических данных;
- \* визуальная и звуковая сигнализация обнаруженных неисправностей;
- \* сохранение, просмотр и печать журнала работы оборудования, входящего в состав локальной сети.

АРМ инженера ЛАЗа осуществляет сбор диагностической информации о компьютерах, входящих в локальную сеть, посредством периодического опроса служб локальной диагностики, установленных на каждом компьютере. На основе собранных диагностических данных о работе цепочек передачи данных всех доступных локальных сетей строится карта работоспособности элементов ЛВС. Если в сети обнаружены неисправности, то включается звуковая и визуальная сигнализация и делается запись в журнале работы системы.

Вид экрана АРМа инженера АС УВД «Альфа» показан на рис. 17.2.

Программное обеспечение АРМа сменного инженера выполняется на одном из компьютеров системы. Это может быть отдельная рабочая станция сменного инженера либо один из серверов системы. В последнем случае АРМ работает одновременно с другим программным обеспечением.

### 17.3. Справочно-информационная подсистема

#### 17.3.1. Назначение и структура справочно-информационной подсистемы

Справочно-информационная подсистема (СИП) предназначена для ввода, хранения, корректировки, поиска и отображения на автономных (или совмещенных) дисплеях справочной информации, необходимой для диспетчерского и обслуживающего персонала. Причем предоставляемая информация должна обладать отличной читабельностью, простотой и доступностью интерфейса, а также оперативностью.

Основные задачи, которые решает СИП, таковы:

ввод, хранение и корректировка справочной информации;

предоставление справочной информации на рабочих местах (АРМах);

сопряжение с другими системами и комплексами по оговоренным протоколам взаимодействия для обмена информацией.

В общем виде структурная схема СИП представлена рис. 17.3.



Рис.17.3. Структурная схема справочно-информационной подсистемы

СИП состоит из двух основных частей: серверная часть и рабочие места.

Серверы СИП предназначены для ввода, хранения и выдачи на рабочие места справочной информации.

Рабочие места СИП предназначены для отображения информации, размещенной в информационной базе.

Ввод и коррекция данных информационной базы СИП осуществляются с серверов, а также с рабочих мест, где предусмотрен ввод данных. Изменения в информационной базе СИП могут производиться либо вручную — путем ввода текстовой, графической и табличной информации, либо автоматически — по оговоренным протоколам взаимодействия с другими комплексами и средствами.

### 17.3.2. Функции серверов и рабочих мест СИП

Стандартная СИП имеет в своем составе два сервера. Оба сервера могут быть использованы для ввода данных в информационную базу. При вводе данных на любом из серверов информация автоматически заносится не только в свою, но одновременно и в информационную базу другого сервера. Информационная база на обоих серверах всегда имеет одинаковую структуру и содержание. Соответственно, в любой момент времени имеются два независимых источника получения информационной базы — от первого сервера и от второго. Таким образом, обеспечивается горячее резервирование информационной базы путем ее дублирования на двух серверах.

*Серверы СИП* имеют следующие функциональные возможности:

- \* обеспечение горячего резервирования информационной базы;
- \* создание резервных копий информационной базы;
- \* ввод, изменение и удаление данных информационной базы;
- \* корректировка структуры информационной базы;
- \* импорт данных в информационную базу в оговоренном формате;
- \* распечатка данных информационной базы;
- \* ведение, просмотр и распечатка журнала работы;
- \* диагностика работоспособности всех рабочих мест;
- \* обмен информацией с внешними источниками/реципиентами по оговоренным протоколам

взаимодействия.

*Рабочие места СИП* обладают следующими функциональными возможностями:

- \* отображение информационной базы;
- \* сигнализация об изменении информации в информационной базе.

Рабочие места СИП с возможностью ввода данных обладают следующими функциональными возможностями:

- \* отображение информационной базы;
- \* сигнализация об изменении информации в информационной базе;
- \* коррекция данных в разрешенных разделах информационной базы.

### 17.3.3. Информационная база СИП

Информация, предоставляемая СИП, должна полностью удовлетворять разнообразным потребностям пользователей в информационном обеспечении. Некоторые разделы информационной базы являются общими для любых служб УВД (например, основные документы по УВД — НПП ГА, табель сообщений и т. д.), другие разделы относятся к специфичным и подлежат заполнению по месту установки (например, ИПП в РА, различные навигационные схемы и др.). Можно определить лишь основные разделы, на базе которых будет построена информационная база.

Информационная база СИП построена по иерархическому принципу и может содержать следующие типы данных:

- \* текстовые данные;
- \* графические данные;
- \* табличные данные.

Основные разделы информационной базы, как правило, имеют описанный ниже состав.

*Раздел «УВД»* предназначен для хранения справочной информации, необходимой для работы диспетчерского персонала РЦ ЕС ОрВД. В этом разделе хранится такая информация, как НПП ГА, ИПП, карты и схемы.

*Раздел «Навигация»* предназначен для хранения справочной информации, относящейся к навигационным расчетам.

*Раздел «Справочники»* служит для хранения информации в виде структурированных электронных справочников. В данном разделе хранится следующая информация: справочники по типам воздушных судов, по аэропортам, телефонный справочник, справочник по авиакомпаниям.

*Раздел «Внутренние документы»* предназначен для хранения документов, инструкций и актов местного характера.

*Раздел «РТС»* предназначен для хранения справочной информации службы эксплуатации радиотехнических средств.

*Раздел «Руководство пользователя»* предназначен для хранения справочной информации, касающейся инструкций по применению различных средств.

*Раздел «Метеоинформация»* предназначен для хранения текстовой и графической метеорологической информации. В разделе хранятся данные о фактической погоде (фактическая погода по аэродромам), прогнозы (прогнозы по аэродромам), штормовые предупреждения (AIRMET, SIGMET), данные о ветре (ветровые режимы), о погоде по аэродромам (метеорологические данные, сгруппированные по аэродромам).

*Раздел «Режимы и ограничения»* предназначен для хранения информации о режимах и ограничениях, действующих на текущий момент времени.

Раздел *«Доска объявлений»* предназначен для хранения произвольной текстовой информации.

В подсистеме обычно предусматривается возможность ввода новых разделов и подразделов, а также изменения их содержательной части.

## **Глава 18. ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ**

### **18.1. Назначение аппаратуры документирования**

Под *документированием информации* понимают ее запись и сохранение в течение некоторого интервала времени, дающие возможность ее последующего воспроизведения в первоначальном виде, а также необходимой обработки.

Подобную задачу выполняют бортовые многоканальные регистраторы параметров полета (например, типа МСПП), которые известны под названием "черных ящиков". Системы документирования, используемые при управлении воздушным движением, значительно превосходят по своим характеристикам бортовые самописцы. Они позволяют воспроизвести динамическую картину воздушной обстановки в том виде, в котором ее наблюдал диспетчер, его действия, команды и переговоры с экипажем ВС, а также параметры, характеризующие работу систем наблюдения, связи, управления и другого оборудования.

Многочисленное воспроизведение и обработка документированной информации позволяют производить подробный анализ процесса УВД. Это особенно важно при расследовании летных происшествий (ЛП), когда необходимы объективные данные о том, как развивалась ситуация, какие команды отдавались диспетчером, как на них реагировал и что докладывал экипаж воздушного судна, и т. д. При этом желательно видеть воздушную обстановку в зоне УВД как непосредственно на момент происшествия, так и в динамике. Вся информация должна быть объективной, т. е. поступать из источника, независимого от непосредственных участников событий.

Основой организации объективного контроля является документирование — регистрация информации с привязкой ко времени.

Кроме расследования инцидентов и происшествий объективный контроль необходим для периодической проверки квалификации диспетчерского состава, ибо запись позволяет оценить действия диспетчера в конкретной ситуации.

Первым предметом документирования были переговоры диспетчера с экипажами воздушных судов по радиосвязи, а также переговоры диспетчера со смежными пунктами и центрами УВД по внутрицентровым и междугородним линиям наземной связи. Аналоговая аппаратура для многоканальной записи речевой информации на магнитную ленту появилась несколько десятилетий назад. С развитием цифровых систем обработки радиолокационной информации и отображения воздушной обстановки, с переходом на запись регистрируемых сигналов в цифровой форме появилась возможность документировать также радиолокационную обстановку и пультовые операции. К этому следует добавить, что в плановых и метеорологических подсистемах современных АС УВД также предусмотрено архивирование информации.

В настоящее время нормативными документами предусмотрено хранение записанной речевой и радиолокационной информации в течение 14 суток.

Особенностью аппаратуры документирования является необходимость записи одновременно большого числа источников (от 16 до 64, в некоторых случаях до 100-250). При этом необходимо

обеспечить привязку каждого источника к единой временной шкале и синхронность между различными видами записываемой информации (речевой, радиолокационной и т. д.).

## 18.2. Структура и характеристики системы документирования

### 18.2 1. Типы устройств хранения данных

Запись нескольких десятков каналов речевой информации и локационных данных в цифровой форме требует применения устройства хранения данных большого объема.

Современные *устройства хранения данных* можно классифицировать по нескольким признакам:

по способу записи:

- \* магнитные;
- \* магнитооптические;
- \* оптические;

по способу доступа к данным:

- \* с последовательным доступом;
- \* с произвольным доступом;

по конструкции носителя информации:

- \* со сменным носителем;
- \* с постоянным носителем.

Кроме того, различаются устройства с одно и многократной записью. В настоящее время наиболее часто применяются следующие устройства:

- \* жесткие диски (магнитные с произвольным доступом, с постоянным носителем);
- \* накопители на магнитной ленте — стриммеры (магнитные с последовательным доступом, со сменным носителем);
- \* накопители на магнитооптических дисках (магнитооптические с произвольным доступом, со сменным носителем);
- \* накопители на CD и DVD (оптические с произвольным доступом, со сменным носителем).

Особенностью аппаратуры документирования является необходимость *опечатывания* (ареста) записанной информации. Данная процедура применяется при возникновении происшествия, когда необходимо обеспечить сохранность записи от умышленного или непреднамеренного уничтожения (стирания). Возможны два механизма опечатывания: непосредственно носителя, на который записывалась информация, или изготовление специальной копии записи. Очевидно, что первый способ требует применения устройства хранения со сменным носителем информации. Второй способ позволяет применять любое устройство хранения данных, однако очевидно, что извлечение носителя надежнее, чем изготовление копии данных. Кроме того, возникает необходимость в дополнительном устройстве со сменным носителем.

Каждый вид устройств обладает своими достоинствами и недостатками. *Жесткие диски* имеют большой объем (достаточный для хранения записи за несколько суток), очень малое время доступа к информации и высокую надежность. В то же время опечатывание данных требует применения дополнительного устройства, на которое копируется нужный участок записи. Весьма перспективной является технология сменных жестких дисков, которая позволяет производить опечатывание носителя целиком. Ее недостатком является высокая стоимость самого диска, однако емкость выпускаемых устройств постоянно растет и удельная стоимость единицы хранения информации снижается, поэтому для обеспечения требований по срокам хранения информации достаточно иметь лишь несколько дисков.

*Накопители на магнитной ленте* широко применяются в цифровых магнитофонах. Эти устройства имеют объем, достаточный для хранения одних-двух суток записи. Сменный носитель обеспечивает удобную процедуру опечатывания. Компактность и невысокая цена позволяют использовать в одном центре УВД большое количество носителей и увеличить срок хранения записей. Существенным недостатком магнитной ленты является последовательный доступ к информации и, как следствие, — большое время поиска (порядка одной минуты) и считывания данных. Кроме того, срок службы носителя ограничен.



Устройства на магнитооптических дисках сочетают основное достоинство жестких дисков — малое время доступа к информации — с наличием сменного носителя и его слабой подверженностью внешним воздействиям. К сожалению, магнитооптические диски обладают малым объемом, поэтому их можно применять только в малоканальных (8-16 каналов) устройствах.

Накопители CD и DVD удобны для создания архивов и долговременного хранения информации, но малоприспособлены для записи в реальном масштабе времени.

## 18.2.2. Структура цифрового магнитофона

Вся информация в цифровом магнитофоне в процессе записи проходит по маршруту «устройство ввода — устройство чтения/записи (накопитель) — устройство хранения (носитель)», а в процессе воспроизведения — по маршруту «устройство хранения (носитель) — устройство чтения/записи (накопитель) — устройство ввода».

Современные цифровые магнитофоны включают следующие основные устройства (рис. 18.1):

- \* блок ввода (оцифровки) аналоговых сигналов и/или блок интерфейсов с цифровыми линиями связи (E1 или ISDN, описаны в главе 14);
- \* накопитель информации со сменными носителями или стационарный накопитель с дополнительным устройством опечатаывания записи;
- \* акустическую систему для прослушивания записываемой и воспроизведения записанной информации;
- \* устройство индикации и управления; процессорный модуль

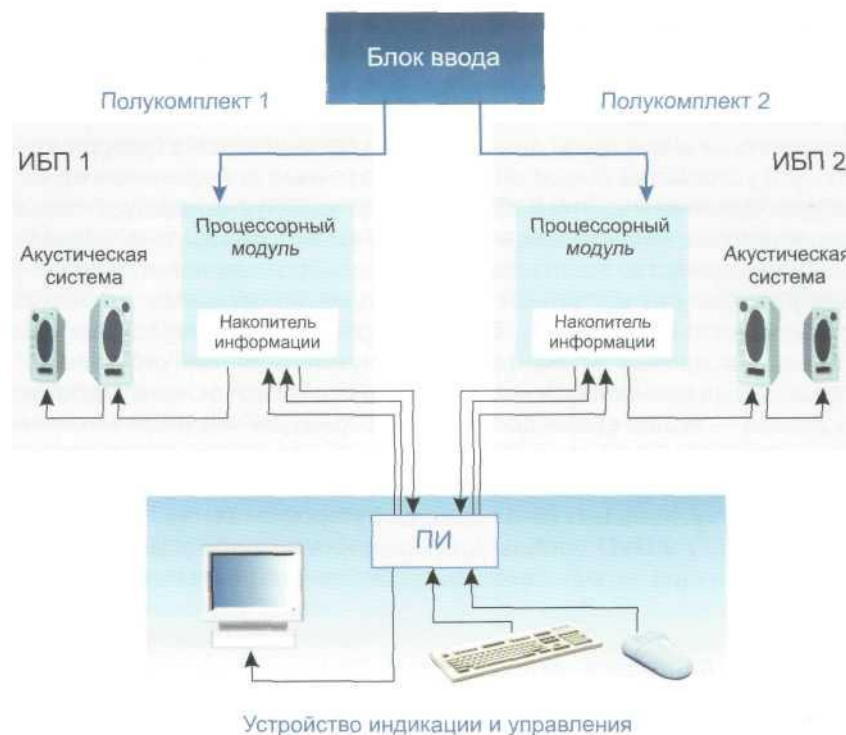


Рис. 18.1. Структурная схема аппаратуры записи

Процессорный модуль, как правило, строится на базе стандартных средств вычислительной техники (в промышленном исполнении). В его функции входят прием от устройства ввода оцифрованной речевой информации, ее обработка и запись на накопитель, отображение состояния магнитофона на устройстве индикации, а также прием и обработка команд пользователя.

В качестве устройства индикации и управления применяется либо небольшой монитор с размером экрана 3-6 дюймов в сочетании со специальной функциональной клавиатурой (например, клавиши «включить запись», «прослушивание канала», «воспроизведение» и т. д.), либо полноразмерный (15-17 дюймов) монитор со стандартной клавиатурой и манипулятором «мышь». В первом случае монитор, спецклавиатура и накопитель конструктивно объединены с процессорным блоком, во втором монитор и клавиатура располагаются отдельно.



Как правило, комплект, состоящий из блока ввода и процессорного модуля с накопителем, дублируется. Оба комплекта, акустическая система и устройство индикации и управления помещаются в единую стойку.

Для воспроизведения записанной информации со сменного носителя используется один из комплектов или дополнительный (третий) модуль, специально предназначенный для расшифровки (воспроизведения) записей.

## 18.3. Работа аппаратуры

### 18.3.1. Ввод информации

Цифровая форма хранения речевой информации обладает рядом достоинств: независимость данных от устройства хранения, возможность копирования информации без потерь, возможность применения различных методов обработки (частотные фильтры, очистка от шумов и т. д.), возможность сжатия.

Объектами записи могут быть как цифровые источники (например, цифровая линия наземной связи), так и аналоговые (например, выхода приемника радиостанции). Во втором случае возникает необходимость аналого-цифрового преобразования.

*Модуль ввода аналоговой речевой информации* состоит из двух частей — устройства согласования с линией связи, обеспечивающего гальваническую развязку и согласование уровней сигналов (входной сигнал должен попадать в динамический диапазон кодека), и устройства кодирования (оцифровки), преобразующего сигнал в цифровой код.

Оба устройства могут быть конструктивно объединены в одно целое с процессорным блоком (в виде установленных внутри него плат) или выполнены как отдельные блоки, в этом случае устройство оцифровки и процессорный блок соединяются внешней высокоскоростной шиной.

*Сжатие информации* производится либо процессорным модулем, тогда с блока кодирования поступает сигнал в виде ИКМ, либо непосредственно в самом блоке кодирования. Кодирование в процессорном модуле позволяет использовать различные алгоритмы для разных каналов, например, применять для более важных каналов алгоритмы с меньшей степенью сжатия, а для второстепенных — с большей.

Радиолокационная информация может поступать непосредственно с выхода аппаратуры первичной обработки радиолокатора или с АС УВД. Второй вариант предпочтительнее, так как в этом случае документируется не сигнал с радиолокатора, а информация, поступающая непосредственно к диспетчеру, что принципиально, поскольку при определении правильности действий диспетчера важно знать, что он видел на рабочем месте.

Кроме радиолокационной информации АС УВД может предоставлять для записи данные о своем функционировании: произведенные пультовые операции, протоколы работы, различную дополнительную информацию, циркулирующую в системе.

Взаимодействие между аппаратурой документирования и АС УВД осуществляется, как правило, по локальной вычислительной сети.

### 18.3.2 Воспроизведение записанной информации

Для воспроизведения записанной информации со сменного носителя используется один из комплектов записи или дополнительный (третий) модуль, специально предназначенный для расшифровки (воспроизведения) записей. Применение дополнительного модуля является более рациональным, так как:

- \* прослушивание информации на модуле записи ограничивает его возможности как резервного;
- \* доступ персонала в помещение, где установлены магнитофоны, целесообразно жестко ограничивать по соображениям безопасности;
- \* появляется возможность предоставления дополнительных сервисных функций.

Воспроизведение записанной информации может преследовать две разные цели: расшифровка речевых записей для изготовления текстовой формы и воспроизведение ситуации, т. е. просмотр

радиолокационной и других видов информации, полученной от АС УВД, с синхронным прослушиванием выбранных голосовых каналов. В последнем случае желательно, чтобы экран аппаратуры документирования максимально точно воспроизводил экран рабочего места соответствующего диспетчерского пункта.

При расшифровке записей предоставляются следующие сервисные функции:

- \* текстовый редактор;
- \* поиск участка по времени или по сделанной в процессе записи метке;
- \* произвольное позиционирование в пределах объема всего носителя;
- \* автоматический переход в начало и конец носителя;
- \* графическое отображение участка записи с указанием наличия или отсутствия полезного (речевого) сигнала;
- \* повторение последних 10-20 секунд записи;
- \* циклическое воспроизведение выбранного участка записи;
- \* изготовление фрагмента (копии участка записи) для продолжительной работы с ним;
- \* регулирование амплитудно-частотной характеристики воспроизводимого сигнала.

### 18.3.3 Разграничение прав доступа

Так как задокументированная информация может быть использована при разборе летных происшествий и для оценки профессиональной пригодности персонала, важно обеспечить защиту аппаратуры документирования от несанкционированного доступа. Для этого вводится *система уровней доступа и идентификации* обслуживающего персонала.

Как правило, применяются три уровня доступа:

- \* *гость*, какие-либо управляющие воздействия запрещены;
- \* *оператор*, можно включать/выключать систему, включать/выключать запись, устанавливать и снимать сменные носители;
- \* *администратор*, обладает правами оператора, а также имеет возможность изменять конфигурацию системы.

Для разграничения доступа используется система регистрации, когда для совершения каких-либо действий требуется предварительно ввести личный или групповой идентификатор и соответствующий пароль. При этом производится фиксация каждого входа в систему с указанием пароля и времени.

## Глава 19. ТРЕНАЖЕР

### 19.1. Структура и характеристики тренажеров

#### 19.1.1. Назначение тренажера и требования к нему

Диспетчерские тренажеры предназначены для профессиональной подготовки диспетчерского состава на всех пунктах УВД. Тренажеры обеспечивают индивидуальную и комплексную тренировку диспетчеров службы движения, позволяют отрабатывать действия в аварийных ситуациях, повторять тренировку необходимое количество раз, гибко изменять интенсивность тренировок, создавая максимально возможную нагрузку для испытуемого.

Тренажер предназначен для применения в учебных центрах и на предприятиях УВД, имеющих лицензии для обучения диспетчеров.

Диспетчерский тренажер - это эффективное средство выработки практических навыков контроля ВО и принятия решений при УВД. Высокому качеству современных диспетчерских тренажеров способствует ряд обстоятельств. Единообразие аппаратных и программных вычислительных средств АС УВД и тренажеров позволяет с максимальной подробностью воспроизвести рабочее место диспетчера и имитировать обстановку в воздушном пространстве. К существенным достоинствам тренажеров относится возможность воспроизведения особых случаев, аварийных, конфликтных и

иных опасных ситуаций, а также их повтор. Анализируя результаты, можно сформировать представительные статистики, которые невозможно получить в реальных условиях по соображениям безопасности. В результате можно рассчитывать характеристики загрузки диспетчера и оценить уровень безопасности в конкретных условиях. Рассматриваемый ниже тренажер использует идеологию «гибких» информационных технологий, позволяющих обеспечить максимальное разнообразие программ и их адекватность реальной обстановке в воздушном пространстве. Такие возможности предоставляются современными вычислительными средствами. Однако при реализации этих возможностей необходимо учитывать ряд ограничений технико-эксплуатационного и экономического характера.

Для повышения надежности, упрощения техобслуживания и сокращения финансовых затрат в течение срока службы тренажеры ориентированы на максимальное использование стандартных аппаратных и программных средств. Вычислительный комплекс тренажеров базируется на персональных компьютерах, объединенных в локальную сеть. Программное обеспечение построено на промышленных операционных системах Windows и Unix, на алгоритмических языках C и C++ и использует многооконный графический интерфейс, что гарантирует высокую пригодность, надежность и хорошие эксплуатационные показатели тренажера. Конструкция и интерфейс тренажера соответствуют действующим системам отображения воздушной обстановки и АС УВД в целом. Ядро тренажеров базируется на технологиях УВД, отвечающих российским стандартам, а также стандартам ИКАО и соответствует федеральным требованиям к тренажерам, используемым в центрах УВД для обучения диспетчеров.

Согласно ГОСТ 28304-89, тренажеры должны удовлетворять требованиям, перечисленным в табл. 19.1.

Таблица 19 1 **Функции и параметры диспетчерских тренажеров**

| № п/п | Функции   | Параметры                                  |
|-------|---|--|
| 1     | Моделируемая область воздушного пространства <ul style="list-style-type: none"> <li>• в горизонтальной плоскости</li> <li>• в вертикальной плоскости</li> </ul>               | Не менее 400 × 400 км<br>Не менее 30 000 м |
| 2     | Моделируемый сектор УВД   | Любой в районе аэродрома, РЦ, МДП          |
| 3     | Переход на давление аэродрома <ul style="list-style-type: none"> <li>• моделирование изменения высоты перехода</li> <li>• моделирование изменения эшелона перехода</li> </ul> |  |

| № п/п | Функции  | Параметры   |
|-------|--|-------------|
| 4     | Учет характеристик антенн РЛС  |             |
| 5     | Учет эффективной отражающей поверхности ВС   |             |
| 6     | Учет зон видимости РЛС   |             |
| 7     | Наличие моделируемых сообщений пилота для передачи обучаемому  |             |
| 8     | Количество аэродромов  | Не менее 1  |
| 9     | Количество типов ВС  | Не менее 5  |
| 10    | Количество одновременно имитируемых ВС   | Не менее 10 |
| 11    | Метеоусловия <ul style="list-style-type: none"> <li>• ветер по слоям</li> <li>• облачность</li> </ul>  |             |
| 12    | Аварии в РЛС   |             |
| 13    | Аварии в самолетных ответчиках   |             |
| 14    | Аварии в средствах радиосвязи  |             |
| 15    | Работа в режиме пилот—оператор—диспетчер   |             |
| 16    | Учет ЛТХ ВС при моделировании ВД <ul style="list-style-type: none"> <li>• учет зависимости скорость—высота</li> <li>• диапазон возможных скоростей полета, отрыва и посадки</li> <li>• допустимые углы крена</li> <li>• зависимость скорости разворота от скорости полета и угла крена</li> <li>• задание наклона траектории при наборе высоты и снижении</li> </ul> |             |
| 17    | Возможности имитации полета ВС <ul style="list-style-type: none"> <li>• полет по заранее заданной траектории</li> <li>• перевод ВС на другую траекторию</li> <li>• полет по командам пилота-оператора</li> <li>• возврат ВС на заранее заданную траекторию</li> <li>• имитация стандартных маневров таких как полет в зоне ожидания и уход на второй круг</li> </ul> |             |
| 18    | Имитация полета вертолета  |             |
| 19    | Возможность установки районов грозовой активности  |             |
| 20    | Наличие текущей информации по ВС, находящимся на управлении: <ul style="list-style-type: none"> <li>• курс</li> <li>• азимут</li> <li>• дальность</li> <li>• текущая высота</li> <li>• заданная высота</li> </ul>  |             |
| 21    | Имитация особых случаев в полете   |             |
| 22    | Оперативный ввод дополнительных ВС в процессе упражнения   |             |
| 23    | Запись и воспроизведение хода упражнения   |             |
| 24    | Наличие автономной системы ввода параметров <ul style="list-style-type: none"> <li>• построение описания траекторий</li> <li>• подготовка карт</li> <li>• ЛТХ ВС</li> <li>• навигационные точки</li> <li>• схемы захода на посадку</li> </ul>  |             |
| 25    | Наличие технической документации <ul style="list-style-type: none"> <li>• руководство оператора</li> <li>• руководство пользователя</li> <li>• руководство по вводу параметров упражнений</li> </ul>   |             |

### 19.1.2 Состав тренажера

В минимальной конфигурации тренажер состоит из рабочего места диспетчера и рабочего места инструктора. Для гибкой настройки и взаимозаменяемости рабочие места инструкторов и диспетчеров поставляются с идентичным программным обеспечением. Программное обеспечение тренажеров делится на несколько подсистем:

- \* модуль создания и редактирования зон УВД;
- \* модуль подготовки упражнений;
- \* модуль настройки и конфигурации рабочих мест;
- \* тренажерный модуль и модуль связи.

*Модуль создания и редактирования зон УВД* предназначен для создания новых зон, внесения изменений в параметры существующих зон, ввода картографии, описания характеристик пунктов,

участков, границ и маршрутов. Таким образом, редактор позволяет составить описание всех типов зон УВД: РЦ, Подхода, Круга, Старта, Руления, КДП и МДП, а также схем аэродромов.

При помощи *модуля подготовки упражнений* вводятся план полетов, метеоусловия, тактико-технические данные ВС. Планируются особые случаи в полете, отказы средств радиосвязи, пропадание локационной и пеленгационной информации. Программное обеспечение позволяет генерировать упражнения любого уровня сложности как для опытных диспетчеров, так и для проходящих первоначальное обучение.

Модулем *настройки и конфигурации рабочих мест* задается количество используемых компьютеров, указывается тип запускаемого программного обеспечения, настраиваются зоны управления, каналы радиосвязи. При помощи этого модуля осуществляются запуск тренажера и просмотр видеoinформации.

*Тренажерный модуль* занимается обработкой и отображением динамики полета ВС, метеoinформации, организацией каналов связи, записью звуковой и видеoinформации.

Максимальное количество одновременно работающих комплектов зависит от пропускной способности сети. Например, тренажер «Эксперт» поддерживает 50 комплектов, работающих в одной сети.

### 19.1.3 Программное обеспечение

Эффективность тренажера определяется не только объемом положительных навыков, полученных в результате тренировок. Она снижается, если у обучаемого появляются так называемые отрицательные навыки, проявляющиеся в неадекватном реагировании на имитируемую ситуацию. Можно отметить по крайней мере две причины. Первая состоит в неточности и неполноте описания воздушной обстановки и динамики ее изменения. Вторая причина кроется в способности обучаемого «разгадывать» сценарий тренировочного упражнения, в особенности тогда, когда он повторяется неоднократно. В связи с этим при разработке математического обеспечения тренажера следует достаточно скрупулезно воспроизводить объективные закономерности динамики изменения ВО, а при создании сценариев упражнений предусматривать разнообразие вариантов. Программное обеспечение тренажеров имеет гибкие настройки и позволяет оперативно менять конфигурацию модулей. В зависимости от потребностей тренировки на любом модуле можно запустить необходимое программное обеспечение. Например, при наличии шести модулей возможны следующие варианты использования тренажера:

- \* три диспетчера - три инструктора (пилота-оператора);
- \* три диспетчера - два инструктора (при тренировке начинающих диспетчеров);
- \* один диспетчер - два-три инструктора (для создания максимальной интенсивности полетов и загрузки диспетчера);
- \* три группы один диспетчер - один инструктор.

Главное различие современных тренажеров - возможность для инструктора (пилота-оператора) управлять не отдельным самолетом, а группой ВС одновременно. Причем инструкторы могут управлять воздушной обстановкой, разделяя ее как по зонам ответственности, так и по группам ВС.

Тренажерный модуль состоит из программного обеспечения сервера, мест инструкторов, пилотов-операторов и диспетчеров. Вычислительный комплекс позволяет обрабатывать более 300 ВС в одном упражнении.

Внешний вид рабочих мест диспетчеров и инструкторов соответствует действующим системам УВД. Интерфейс обладает необходимыми сервисными функциями, такими как измерители, векторы прогнозов, настройка картографии, настройка формуляров, просмотр плана полетов, фактической и прогнозируемой погоды.

### 19.1.4. Автоматизированные рабочие места и дополнительные блоки

Современные диспетчерские тренажеры позволяют проводить комплексные и индивидуальные тренировки на рабочих местах РЦ, Подхода, Круга, Старта, Руления, КДП, МДП, АДП и Посадки.

В качестве примера можно привести тренажер «Эксперт», разработанный фирмой «НИТА». Тренажер имитирует возможности аппаратуры отображения «Норд» и АС УВД «Альфа», особенности конкретных радиотехнических средств.

Он включает:

\* рабочее место диспетчера радиолокационного контроля (представление радиолокационной - цифровой и аналоговой - информации, пеленгационной информации, картографии, плановой и метеорологической информации);

\* рабочее место инструктора - пилота-оператора;

\* блок генерации структуры воздушного пространства;

\* блок подготовки упражнений.

*Рабочее место диспетчера радиолокационного контроля* использует интерфейс реальной автоматизированной системы УВД и предназначено для отработки всего комплекса технологических операций для диспетчерских пунктов РЦ, подхода, круга. Пользовательский интерфейс - многооконный, что позволяет на одном мониторе просматривать в разных окнах:

\* радиолокационную информацию в цифровом (формуляры сопровождения) и аналоговом (имитация круговой развертки) виде и информацию от радиопеленгатора о воздушной обстановке - в нескольких окнах одновременно;

\* прогнозируемую воздушную обстановку;

\* формуляры ожидания;

\* планы полетов;

\* текущую метеорологическую информацию.

При этом диспетчеру доступны все основные инструментальные средства АС УВД:

\* масштабирование и центровка изображения в различных окнах;

\* включение и выключение отдельных элементов картографии;

\* настройка параметров отображения первичной радиолокационной информации;

\* настройка информационного содержания, вида (одно-, двух- или трехстрочные) и размеров шрифта для формуляров сопровождения в различных секторах;

\* открытие дополнительных окон ДВО;

\* статический и динамический измерители;

\* вектор прогнозирования на оперативно задаваемое время;

\* подсветка траекторий ВС;

\* отображение конфликтных и потенциально конфликтных ситуаций;

\* работа с плановой информацией;

\* работа с метеоинформацией;

\* ввод в формуляры сопровождения заданных эшелонов, позывных ВС и других параметров;

\* электронное согласование;

\* прием и передача управления;

\* создание и вызов индивидуальных настроек рабочего экрана;

\* запись настроек;

\* настройка яркости для отдельных элементов отображения (картография, первичная и вторичная РЛИ, азимутально-дальномерная сетка, фон экрана).

*Рабочее место инструктора - пилота-оператора* поставляется в двух вариантах - на базе рабочего места диспетчера радиолокационного контроля и на базе рабочего места диспетчера КДП. В обоих случаях инструктору доступны все диспетчерские функции. Кроме того, имеются дополнительные возможности по управлению ходом упражнения в целом или отдельными ВС. Рабочее место инструктора включает модуль регистрации ошибок тренирующихся (рис. 19.1).

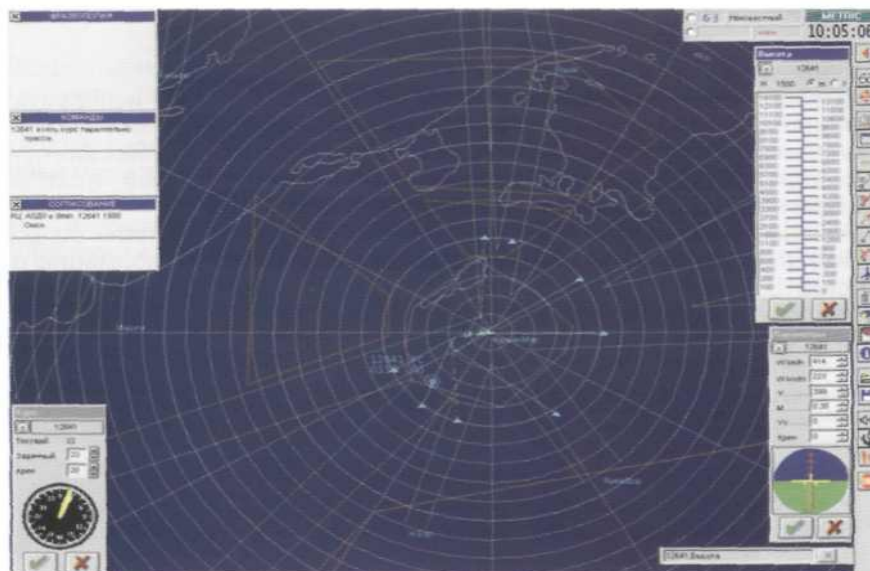


Рис. 19.1. Вид окна рабочего места инструктора

Помимо окон, имеющих в интерфейсе рабочего места диспетчера, для инструктора предусмотрены окна:

- \* стандартной фразеологии;
- \* поданных команд;
- \* согласования со смежными пунктами;
- \* управления вылетом ВС.

Для управления ВС инструктору - пилоту-оператору доступны следующие операции и команды:

- \* передача управления между операторами;
- \* разрешение/запрещение занятия исполнительного старта;
- \* разрешение/запрещение взлета;
- \* задание высоты;
- \* задание высоты на указанный пункт;
- \* задание курса;
- \* установка курса параллельно оси трассы;
- \* установка скоростей;
- \* отворот от маршрута;
- \* попет неуказанный пункт;
- \* полет в зону ожидания и выполнение полета в зоне ожидания;
- \* задержка разворота;
- \* изменение маршрута полета;
- \* выполнение полета ВС по траекториям SID/STAR.

Инструктор также имеет возможность управлять ходом выполнения упражнения и при этом:

- \* запускать, останавливать и приостанавливать упражнение;
- \* добавлять и удалять по ходу упражнения ВС;
- \* имитировать отказы оборудования;
- \* задавать особые случаи в полете.

Команды подаются при помощи клавиатуры или манипулятора «мышь».

В тренажере имитируются следующие особые случаи:

- \* пожар на воздушном судне;
- \* отказ двигателя;
- \* разгерметизация;
- \* потеря радиосвязи;
- \* потеря ориентировки.

*Блок записи хода выполнения упражнения.* В тренажере по ходу упражнения ведется запись воздушной обстановки. При этом фиксируются следующие ситуации:

- \* столкновение ВС с препятствиями или другими ВС;



- \* опасные сближения между ВС;
  - \* попадание ВС в зону грозы, обледенения или болтанки.
- Блок подготовки упражнений* включает:
- \* модуль генерации структуры воздушного пространства;
  - \* модуль генерации картографической информации;
  - \* модуль подготовки упражнений.

## 19.2. Функции и программы

### 19.2.1. Генератор упражнений

Для программирования тренировок служит генератор упражнений, представляющий собой интегрированную среду, предназначенную для создания и редактирования сценариев упражнений. Программа отображается в виде страниц, соответствующих разделам редактирования сценария.

*Страница «Схема»* предназначена для просмотра, проверки и быстрой коррекции воздушной и метеорологической обстановки на определенный момент времени от начала упражнения. При прокрутке программы упражнения изменяются динамическая воздушная обстановка и координаты очагов метеообразований. Для быстрой коррекции воздушной обстановки предусмотрена возможность переноса ВС по маршруту.

*Страница «План полетов»* предназначена для создания и редактирования плана полетов на основе загруженной схемы аэропорта. План полетов представляет собой таблицу, в которой данные сгруппированы по столбцам. Для заполнения строк плана вводятся параметры, указанные в табл. 19.2.

Таблица 19.2 Страница «План полетов»

| № п/п | Параметр            |
|-------|---------------------|
| 1     | Время               |
| 2     | Позывной            |
| 3     | Код ответчика       |
| 4     | Тип ВС              |
| 5     | Эшелон              |
| 6     | Маршрут             |
| 7     | Особые случаи       |
| 8     | Правила полетов     |
| 9     | Аэродром вылета     |
| 10    | Аэродром назначения |
| 11    | Аэродром запасной   |
| 12    | Метеоминимум        |

Маршрут можно выбрать из списка или задать произвольный маршрут, не определенный в схеме аэропорта. Для вылета и прилета задаются профили полета.

При вводе особых случаев задаются его тип, время наступления и вариант действий(реакция)экипажа.

Программа позволяет автоматически формировать план полетов с заданной интенсивностью. В зависимости от параметров программа может создавать конфликтный или бесконфликтный план полетов. Возможен и комбинированный вариант, например, создается упражнение с необходимым числом конфликтных и особых ситуаций, а после «разбавляется» автоматически созданной воздушной обстановкой заданной интенсивности.

*Страница «Типы ВС»* предназначена для редактирования ЛТХ ВС, добавления новых типов ВС и удаления неиспользуемых.

*Страница «Метеоусловия»* предназначена для ввода и редактирования метеоусловий на аэродроме (скорость и направление ветра у земли, на высоте круга и на эшелоне перехода и по эшелонам, дальность видимости, направление ветра, коэффициент сцепления, атмосферное давление, температура) и описания метеообстановки по высотам. Изменение погоды задается на любой отрезок времени.

Страница «Метеообразования» предназначена для ввода очертаний и характеристик гроз, зон обледенения и очагов болтанки. По каждому метеообразованию вводятся следующие параметры:

- \* нижняя и верхняя граница;
- \* интенсивность;
- \* время появления и время пропадания;
- \* скорость и направление перемещения.

### 19.2.2. Настройка рабочих мест и запуск тренажера

Программа предназначена для конфигурирования и запуска тренажера, обработки и просмотра видеоинформации. При помощи программы задаются количество запускаемых в данной конфигурации комплектов, типы рабочих мест (инструктор, пилот-оператор, диспетчер) и зоны УВД для каждого места. Кроме того, задаются доступ к сервисным функциям в тренажере и настройки каналов радиосвязи.

Перед запуском тренажера программа тестирует наличие компьютеров в сети, проверяет соответствие выбранного упражнения текущей конфигурации, выдает сообщения о корректности запуска тренажера на удаленных компьютерах.

При работе с видеофайлами программа выдает отсортированную информацию о тренировавшихся диспетчерах, фактическом времени тренировки, задействованных зонах УВД, оценке и замечаниях инструктора. Программа также позволяет запускать просмотр видеоинформации.

### 19.2.3. Модули генерации структуры воздушного пространства и картографической информации

Модуль генерации структуры предназначен для формирования базы данных, описывающих конфигурацию воздушного пространства. Модуль позволяет создавать упражнения для различных аэропортов и зон управления. Данные о воздушном пространстве включают:

- \* поворотные пункты (ППМ);
- \* трассы;
- \* схемы захода на посадку и выхода из района аэродрома;
- \* траектории движения ВС в плане и вертикальные профили;
- \* границы секторов управления в плане и по вертикали.

Модуль генерации картографической информации предназначен для формирования картографической картинке на рабочем месте диспетчера, и позволяет создать изображение, максимально близкое к используемому в повседневной работе.

## 19.3. Режимы

### 19.3.1. Настройка пунктов УВД и рабочих мест

Каналы ожидания настраиваются после определения зоны управления. Для удобства работы диспетчера обычно создаются один канал ожидания для вылетающих ВС и каналы ожидания, определяющие направление на точку входа ВС в зону. Таким образом, зона делится на несколько секторов, затем определяется, в какой сектор попадает точка входа ВС в зону.

Для гибкой настройки под стандарты конкретного аэропорта фразеология вынесена в отдельный файл, доступный для исправления. Фразы задаются в текстовом формате, для вставки текущих параметров упражнения введены макрокоманды, добавляемые в основной текст.

Встроенная связь позволяет организовать на каждом рабочем месте до 10 каналов связи. Одновременно может работать один канал на прием и один на передачу. В настройках канала связи указываются его название и список абонентов, которым будет передаваться звук при нажатии на кнопку канала.

Отображение пеленгационной информации настраивается следующим образом. Указываются зоны управления, общие для инструктора и диспетчера. При нажатии инструктором кнопки имитации АРП у соответствующего диспетчера отображается пеленгационная информация. Кнопки имитации пеленгатора и радиосвязи могут объединяться.

### 19.3.2 Работа инструктора

Движение ВС просчитывается согласно введенным тактико-техническим данным и заданному в плане полетов маршруту и профилю полета.

Для изменения траектории полета вручную имеются следующие функции:

- \* задание нового маршрута;
- \* полет в зону ожидания;
- \* уход на второй круг;
- \* отворот от маршрута;
- \* задание курса.

После задания нового маршрута ВС автоматически выполняет полет по введенной траектории.

При полете в зоне ожидания ВС выходит на плановый маршрут через указанное время либо по команде пилота-оператора.

При уходе на второй круг ВС следует по схеме, ожидая новую команду выполнения захода на посадку.

Отворот от маршрута используется для создания бокового интервала между ВС. После расхождения ВС дается команда выхода на плановый маршрут.

При изменении курса полета ВС следует заданным курсом до следующего изменения траектории.

Границы зон ответственности диспетчеров часто не совпадают с рубежами приема-передачи. В тренажере введен параметр, определяющий, на каком удалении от зоны может находиться рубеж приема-передачи управления. Если удаление пункта обязательного донесения от границы не больше заданного параметром, ВС докладывает о входе в зону над этим пунктом. Если на заданном удалении нет рубежей приема-передачи управления, то о входе в зону докладывается в момент пересечения границы.

Аналогичный алгоритм используется для доклада о выходе из зоны.

Инструкторы разделяют управление воздушной обстановкой либо по зонам, либо по воздушным судам. В первом случае ВС автоматически переходит на управление инструктора в момент входа в его зону. В случае когда зона закреплена за несколькими инструкторами, ВС движется в автоматическом режиме до взятия на управление одним из инструкторов. Для воздушных судов, находящихся вне зон управления, статус принадлежности инструктору прогнозируется по траектории.

Инструктор имеет возможность изменять упражнение в ходе тренировки в зависимости от того, как тренируемый справляется с упражнением. Для этого инструктору доступны функции добавления новых ВС в план полетов, удаления существующих ВС, изменения времени появления ВС на маршруте. При добавлении нового ВС в план полетов необходимо задать следующие параметры:

- \* время появления ВС;
- \* код ответчика;
- \* номер рейса;
- \* тип ВС;
- \* высоту полета;
- \* маршрут;
- \* скорость.

Маршрут выбирается из списка существующих маршрутов либо задается произвольно. Если тренажер запущен с имитацией рабочих мест ДПС-ДПР, то кроме маршрута полета необходимо указать маршрут руления и номер стоянки. Для оперативности ввода некоторые параметры заполняются автоматически, в зависимости от типа ВС и маршрута полета.

### 19.3.3. Учет тренировок

Кроме данных о воздушной обстановке в видеофайл записывается информация о зоне полетов, используемых типах ВС, командах управления и фразеологии. Запись хода упражнения возможна, как минимум, двумя способами. В первом случае пишется состояние всех объектов через определенный интервал времени (чаще всего период обзора локатора). Во втором случае записываются команды, влияющие на изменение параметров траектории объектов. Размер записываемых данных во втором случае на порядок меньше.

В заключение следует отметить, что подробное описание одного из реальных диспетчерских тренажеров, получивших наибольшее распространение в нашей стране, имеет целью продемонстрировать на его примере широкие возможности тренажеров, а также перспективы их дальнейшего развития. Действительно, идеология построения тренажера, модульная структура его программного обеспечения позволяют в дальнейшем кроме традиционных источников информации о ВО, таких как РЛС и АРП, имитировать и перспективные системы, такие как АЗН-В.

## Глава 20. ЭКСПЛУАТАЦИЯ КСА И АС УВД

### 20.1. Нормирование технико-эксплуатационных характеристик

#### 20.1.1 Определение объекта радиотехнического обеспечения полетов

Организация радиотехнического обеспечения полетов (РТОП) и авиационной электросвязи в гражданских центрах ЕС ОрВД регламентируется такими нормативными документами, как Воздушный кодекс, Федеральные авиационные правила (ФАП), руководства, инструкции и т. д.

Объект РТОП и связи представляет собой совокупность соответствующих средств, вспомогательного и технического оборудования (средства автономного электропитания, линии связи, передачи данных и управления и т. д.), размещенных в определенных пунктах в стационарном или мобильном вариантах, обслуживаемых инженерно-техническим персоналом и предназначенных для обеспечения полетов ВС, а также производственной деятельности предприятий ГА.

К объектам РТОП относят командно-диспетчерские пункты (КДП), приемно-передающие центры (ППЦ), радиолокационные системы посадки (РСП), инструментальные системы посадки (ИСП), обзорные радиолокаторы (ОРЛ), внутривоздушную связь и др. Особую группу составляют КСА и АС УВД.

Объектообразующими показателями являются функциональное назначение, территориальное расположение, тип основного средства объекта (радионавигация, радиолокация, связь и т. п.) и ряд других параметров.

Состав объекта определяется проектной документацией при строительстве или реконструкции (модернизации) аэропорта (центра УВД).

КСА и АС УВД, как и другие средства радиотехнического обеспечения полетов и авиационной электросвязи (средства РТОП и связи) — это техническое средство (изделие), изготовляемое и поставляемое в соответствии с техническими условиями и предназначенное для выполнения определенных функций по радиотехническому обеспечению полетов и/или авиационной электросвязи в ЕС ОрВД либо для обеспечения производственной деятельности предприятия ГА.

К средствам РТОП относятся радиостанции, радиолокаторы, радиопеленгаторы, системы отображения, магнитофоны, системы речевой связи и другие изделия, выполняющие конкретные функции в соответствии с техническими условиями на них.

Конструктивное исполнение КСА и АС УВД, как и других средств РТОП и связи, должно обеспечивать:

\* автоматический переход с основного комплекта на резервный без потери полноты и качества выполняемых функций;

\* возможность ручного перехода на резервный комплект;

- \* модульный принцип построения средства с разделением на рациональное число составных функциональных частей;
- \* размещение в стационарных помещениях, кузовах или контейнерах;
- \* возможность демонтажа средства, находящегося в контейнерах или кузовах, и установки его в стационарном помещении;
- \* возможность функционального наращивания средств;
- \* выполнение операций технического обслуживания и ремонта;
- \* эксплуатацию в соответствии с требованиями охраны труда, пожарной безопасности и промышленной санитарии;
- \* исключение возможности ошибочных действий инженерно-технического персонала при замене узлов, блоков и плат в процессе технического обслуживания.

### 20.1.2. Стандартизация и сертификация оборудования

Под *стандартизацией* следует понимать установление в государственных (и международных) масштабах единых норм требований, предъявляемых к оборудованию аэропортов, воздушных трасс и центров УВД. Само слово *стандарт* имеет, как известно, двойной смысл. С одной стороны, это норма, которой предписано следовать, с другой — типовой вид оборудования, который удовлетворяет определенным условиям в отношении качества материалов, компоновки и физических свойств. Стандартизация обеспечивает не только единые нормы и требования, но и *совместимость* различного рода оборудования за счет его *унификации* (приведения к единой норме и форме).

Для авиационного оборудования, в том числе средств РТОП, связи и технических средств УВД, важнейшими являются стандарты на интерфейс, включающие как эргономические требования (например, к пультам), так и нормы, относящиеся к форме передаваемой информации (сетевые протоколы). Система стандартов включает ГОСТы, нормы годности (НГ), технические условия (ТУ) и международные нормы (нормы ИКАО).

Вместе с тем очевидно, что стандарты не являются навсегда застывшими, они должны развиваться, изменяться по мере совершенствования оборудования и его функциональных возможностей (в мировой практике это отражено в специальном термине — SARPS).

Стандарты, таким образом, задают основные общепринятые нормы, а конкретная реализация оборудования того или иного типа для определенного разработчика-изготовителя определена специальным правом на его производство и поставку — *сертификатом*. Необходимым условием для допуска нового типа оборудования к эксплуатации на аэродромах, с которых осуществляются перевозки пассажиров, является наличие на данный тип оборудования сертификата, выданного в соответствии с установленными правилами уполномоченным органом.

Новым типом оборудования является вновь разрабатываемое, а также серийно производимое или импортируемое оборудование, ранее допущенное к эксплуатации на аэродромах, с которых осуществляются перевозки пассажиров.

В настоящее время на основании «Соглашения о гражданской авиации и об использовании воздушного пространства» стран-членов СНГ таковым является Авиарегистр Межгосударственного авиационного комитета (МАК).

Порядок сертификации определяется правилами, которые принимаются соответствующим постановлением Совета по авиации и использованию воздушного пространства и вводятся на территории каждого государства авиационными администрациями (правительственными органами). Целью разработки подобных правил является обеспечение разработчиков и изготовителей оборудования аэродромов руководящим материалом по правилам выдачи сертификата типа оборудования (сертификационных документов), а также по порядку и контролю за его серийным производством.

Правила по сертификации включают сертификационные требования к оборудованию аэродромов, которые направлены на обеспечение безопасности полетов. Перечень оборудования, на которое распространяются требования правил по сертификации, является приложением к ним. Сертификационными требованиями в общем виде являются требования основных руководящих документов, определяющих порядок организации и обеспечения полетов на аэродромах и в аэропортах. В настоящее время такими документами в России являются нормы годности к эксплуатации в СССР оборудования гражданских аэродромов и воздушных трасс, Федеральные

авиационные правила по различным направлениям организации и обеспечению полетов, руководства и т. п., а также введенные в действие международные стандарты ИКАО и других международных организаций.

Для получения сертификата на оборудование предприятие-разработчик (изготовитель) оформляет соответствующую заявку. Заявителем может быть любая разрабатывающая или производящая организация, имеющая соответствующий сертификат на производство данного типа оборудования, за исключением импортируемого оборудования.

Орган по сертификации в процессе рассмотрения заявки определяет соответствующую научно-исследовательскую организацию ГА, которая в дальнейшем участвует в процессе сертификации. Для оборудования систем УВД в настоящее время такой организацией является ГосНИИ «Аэронавигация».

Если к моменту подачи заявки отсутствуют сертификационные требования на данный тип оборудования, заявителем совместно с научно-исследовательской организацией ГА определяется состав и объем требований с учетом обеспечения соответствующего уровня безопасности полетов и представляется в Авиарегистр МАК для согласования в качестве проекта сертификационных требований, на основе которого осуществляется сертификация данного типа оборудования.

В процессе сертификации устанавливается соответствие оборудования сертификационным требованиям, действующим на момент подачи заявки.

Для установления соответствия оборудования сертификационным требованиям и подтверждения типовой конструкции заявитель проводит сертификационные испытания. О сроках и месте проведения сертификационных испытаний оборудования заявитель уведомляет Авиарегистр МАК.

До проведения сертификационных испытаний заявитель определяет типовую конструкцию оборудования и подготавливает проект эксплуатационной документации.

Объем сертификационных испытаний определяется программой, разрабатываемой заявителем совместно с научно-исследовательской организацией ГА, назначенной Авиарегистром МАК, и подлежащей согласованию.

В случае выявления в процессе сертификационных испытаний недостатков оборудования, связанных с невыполнением отдельных сертификационных требований, заявитель обязан устранить указанные недостатки до завершения сертификационных испытаний.

По результатам испытаний заявитель оформляет Акт сертификационных испытаний с заключением о соответствии оборудования сертификационным требованиям и подтверждении типовой конструкции оборудования, а также при необходимости уточняет проект эксплуатационной документации.

Акт сертификационных испытаний должен быть согласован с научно-исследовательской организацией ГА.

Владелец сертификата типа оборудования обязан:

- \* получать от Авиарегистра МАК одобрение на внесение изменений и эксплуатационную документацию при проведении усовершенствований или модернизации данного оборудования в части сертификационных требований;

- \* контролировать наличие у предприятия, на котором осуществляется (серийное производство данного типа оборудования, сертификата Авиарегистра МАК на этот вид деятельности;

- \* при изменении перечня предприятий, на которых осуществляется серийное производство данного типа оборудования, информировать Авиарегистр МАК;

- \* при реорганизации, перепрофилировании, ликвидации или других изменениях в деятельности владельца сертификата безотлагательно информировать Авиарегистр МАК.

Владелец сертификата ведет контрольный экземпляр эксплуатационной документации, внося необходимые изменения и дополнения, связанные с модернизацией данного типа оборудования.

Изменения в эксплуатационную документацию, связанные с модернизацией оборудования в части сертификационных требований, могут вноситься владельцем сертификата только после одобрения этих изменений Авиарегистром МАК.

### 20.1.3. Испытания средств радиотехнического обеспечения полетов

Новое оборудование разрабатывается в соответствии с техническим заданием, утвержденным специально уполномоченным органом Федеральной исполнительной власти в областях ГА по согласованию с профилирующими научно-исследовательскими организациями, заинтересованными министерствами и ведомствами.

Государственные и эксплуатационные, а также сертификационные испытания новых образцов средств РТОП и связи производятся на предприятиях ГА комиссией с участием представителей всех заинтересованных организаций.

Объем испытаний определяется соответствующими программами и методиками.

Предприятия, которым поручено проведение испытаний, обязаны:

- \* выделить специалистов по согласованию с предприятием-изготовителем и совместно с ним обеспечить их подготовку для технической эксплуатации испытываемых средств;
- \* обеспечить необходимыми техническими средствами для обслуживания;
- \* выполнять техническое обслуживание, предусмотренное программой и методикой испытаний;
- \* вести учет отказов и неисправностей, имевшихся в процессе испытаний;
- \* дать оценку эксплуатационной документации на достаточность данных и сведений, необходимых для диагностирования причин отказа, локализации места повреждения, вплоть до неремонтируемого элемента и выполнения работ по замене отказавшего элемента;
- \* выполнять по решению комиссии другие необходимые работы под руководством представителей предприятия-изготовителя.

Результаты испытаний средств РТОП и связи оформляются актами, в которых делается заключение:

- \* о принятии (не принятии) средства на оснащение предприятий ГА и передачу в серийное производство (по государственным испытаниям);
- \* о принятии (не принятии) технического средства в эксплуатацию. Ввод новых образцов технических средств в эксплуатацию осуществляется после завершения эксплуатационных испытаний и устранения замечаний.

## 20.2. Управление надежностью функционирования АС УВД

### 20.2.1. Факторы надёжности

Качество функционирования АС УВД, как и средств РТОП и авиационной связи определяется совокупностью их свойств, обуславливающих способность выполнять заданные функции в соответствии с назначением. Одно из важнейших свойств — надежность включает комплекс показателей, таких как безотказность, ремонтпригодность, контролепригодность, готовность, непрерывность, целостность, долговечность и сохраняемость.

Основные факторы, влияющие на показатели надежности, таковы:

- \* схемно-конструктивное исполнение блоков, приборов и модулей, качество используемых комплектующих элементов;
- \* уровень резервирования;
- \* степень автоматизации диагностики;
- \* уровень надежности электроснабжения;
- \* степень защиты информации;
- \* организация технической эксплуатации, качество технического обслуживания и ремонта;
- \* квалификация, профессиональная подготовка и дисциплина диспетчеров, операторов и инженерно-технического персонала;
- \* условия эксплуатации: электромагнитные поля, климатические и метеорологические факторы, ионосферные явления, аномалии в распространении радиоволн и пр.;
- \* условия транспортировки и хранения.

Важнейшими аппаратно-программными способами обеспечения надежности и безопасности в любых информационно-вычислительных системах сетевой структуры, к которым относятся АС



УВД, являются резервирование, автоматизация диагностики и защита от несанкционированного доступа к информации и ошибочных действий персонала.

Надежность средств вычислительной техники (процессоров, серверов, рабочих станций, мониторов, блоков бесперебойного питания и пр.) весьма высока. Поэтому при эксплуатации АС УВД определяющей становится роль человеческого фактора и конкретных условий.

## 20.2.2. Анализ эксплуатационных характеристик надежности

Известные аналитические методы расчета параметров надежности, основанные на вероятностном подходе и использующие экспоненциальные аппроксимации характеристик интенсивности отказов, позволяют получать достоверные оценки, как правило, при относительно большой частоте отказов, когда работает закон больших чисел. Значительные математические трудности возникают и при учете взаимозависимости отказов и неисправностей в больших системах со сложной структурой, к которым относятся АС УВД.

В связи с этим *структурно-аналитические методы* расчета надежности обладают большой погрешностью (обычно они дают пессимистический прогноз), и поэтому предпочтение следует отдавать прямому экспериментальному методу (Строго говоря, исключительно аналитических методов не существует, поскольку исходные данные, такие как характеристики надежности элементов аппаратуры и дискретных неделимых компонентов, получают в результате испытаний, т. е. эмпирически).

Прямые экспериментальные методы расчета характеристик надежности используют статистические данные испытаний, опытной проверки и эксплуатации в реальных условиях, а формулы непосредственно вытекают из соответствующих определений. Пожалуй, единственная трудность в последнем случае состоит в учете различных условий эксплуатации.

Приведем формулы для расчета основных параметров надежности, особо важных для АС УВД, так как они, как уже отмечалось, прямо и непосредственно влияют на уровень безопасности контролируемых полетов в ВП.

Определения базисных понятий непрерывности, готовности и целостности были даны в главе 3, для других же определения будут приводиться по ходу изложения.

Числовой характеристикой *непрерывности* может служить вероятность того, что оборудование будет работоспособно в течение определенного интервала времени. Другим способом оценки непрерывности является вероятность отсутствия прерываний. (Естественно, практически вместо вероятностей подсчитывают частоты наступления соответствующих событий.)

Количественной мерой такого свойства, как *готовность*, является отношение фактического времени выполнения заданных действий (от момента начала до завершения операций) к запланированному интервалу функционирования. (При расчетах с использованием опытных данных оперируют со средними выборочными временными интервалами или их максимальными значениями).

С характеристиками непрерывности и готовности связан *коэффициент оперативной готовности*, равный вероятности того, что система (или подсистема), находящаяся в режиме ожидания, окажется работоспособной в произвольный момент времени и будет функционировать безотказно в течение заданного временного интервала.

При оценке надежности аппаратуры используют среднее время наработки на отказ (безотказной работы).

Если оценивается готовность системы (подсистемы) в случае, когда вероятность отказа не зависит от момента начала функционирования, то коэффициент оперативной готовности принимают равным отношению интервала безотказного функционирования к сумме этого интервала со средним временем восстановления при отказе.

Время восстановления работоспособности включает интервал времени, затрачиваемого на отыскание причин отказа (повреждений) и устранение последствий отказа. Организационные задержки при этом учитываются отдельно (время, затрачиваемое на доставку блоков, узлов аппаратуры и пр.).

Наряду с отказами и неисправностями, нарушающими работоспособность, в вычислительных системах и средствах связи возможны *сбои*, выражающиеся в искажении информации, которые,

однако, не приводят к полному (или частичному) отказу и необходимости перехода на резервный канал, замене или ремонту (к этой категории относятся и самовосстанавливающиеся отказы).

В информационно-вычислительных системах (ИВС) сбои могут приводить к их «зависанию», когда система «рассыпается». Методы защиты информации и обеспечения безопасности в ИВС рассмотрены в главе 12.

*Целостность* системы, характеризующая степень доверия к результатам функционирования системы, оценивается вероятностями ложных тревог и правильного реагирования на входные воздействия (инициацию).

Обычно вычисляются такие показатели надежности, как среднее время наработки на отказ и коэффициент готовности.

Для последовательного соединения элементов (модулей):

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i;$$

$$T_o = 1/\Lambda; \quad (20.1)$$

$$T_B = T_o \sum_{i=1}^n \frac{T_{B_i}}{T_{O_i}} = T_o \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}; \quad (20.2)$$

$$\mu_i = 1/T_{B_i}; \quad \lambda_i = 1/T_{O_i};$$

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + T_B}, \quad (20.3)$$

где  $\Lambda$  — интенсивность отказов блока;  $\lambda_i$  — интенсивность отказов элемента (модуля);  $T_o$  — средняя наработка на отказ блока;  $T_B$  - среднее время восстановления;  $\mu_i$  - интенсивность восстановления;  $K_r$  — коэффициент готовности. При расчете делаются следующие допущения:

- \* распределение вероятностей отказов и восстановления подчиняется экспоненциальному закону;
- \* отказы элементов независимы;
- \* ограниченное восстановление;
- \* контроль работоспособности идеален.

Для случая дублирования, когда схему можно представить как параллельное соединение двух однотипных модулей ( $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$  и  $\mu_1 = \mu_2 = \mu$ ) в предположении, что при отказе одного из параллельно соединенных элементов не происходит перерыва в работе, среднее время наработки на отказ рассчитывают по формуле

$$T_o = \frac{\mu + 2\lambda}{2\lambda}.$$

Если система представляет собой последовательное соединение  $n$  восстанавливаемых элементов, то для расчета основных показателей надежности используют следующие соотношения:

$$T_o = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_{O_i}}}; \quad K_r = \prod_{i=1}^n K_{r_i}; \quad T_B = T_o \frac{1 - K_r}{K_r},$$

а коэффициент готовности  $i$ -го элемента  $K_{r_i}$  рассчитывают по формуле

$$K_{r_i} = \frac{T_{O_i}}{T_{O_i} + T_{B_i}} = \frac{\frac{1}{\lambda_i}}{\frac{1}{\lambda_i} + \frac{1}{\mu_i}}.$$

В этой формуле  $T_{O_i}$  и  $T_{B_i}$  — среднее время наработки на отказ и восстановления  $i$ -го элемента. Предполагается, что отказы независимы, а при восстановлении любого отказавшего элемента остальные работают в ненагруженном режиме.

Коэффициент оперативной готовности  $K_{ог}$  можно определить из соотношения:

$$K_{O_r} = \prod_{i=1}^n k_{r_i} e^{-\frac{t}{T_{O_i}}}$$

Если во время восстановления отказавшего элемента все остальные простаивают, то среднее время наработки на отказ и время восстановления следует рассчитать по формулам:

$$T_o = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_{O_i}}}; \quad T_B = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{T_{B_i}}{T_{O_i}}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_{O_i}}}$$

При анализе надежности КАС и АС УВД в их структурных схемах можно выделить последовательное соединение  $n$  основных элементов, каждый из которых при отказе может быть занесен на любой из  $m$  резервных. В этом случае для расчета надежности используют следующие формулы:

$$T_o = \frac{\sum_{i=1}^m C_N^i (\lambda T_{B_3})^i}{n \lambda C_N^m (\lambda T_{B_3})^m}; \quad T_B = \frac{T_{B_3}}{m+1}$$

где  $N = n + m$  — общее количество элементов;  $C_N^i$  — число сочетаний из  $N$  элементов по  $i$ .

При этом предполагается, что все элементы (как основные, так и резервные) имеют одинаковую интенсивность отказов  $\lambda$ , и время восстановления  $T_{B_3}$ . Полагается также, что время, затрачиваемое на обнаружение отказа и переключение на резервный элемент, пренебрежимо мало

Коэффициент оперативной готовности  $K_{O_r}$  в этом случае вычисляется по формуле:

$$K_{O_r} = K_r P(t),$$

где  $P(t) = e^{-\frac{t}{T_o}}$  — функция надёжности.

*Долговечность* системы (подсистемы) характеризуется наработкой (ресурсом) и продолжительностью эксплуатации (сроком службы) с начала эксплуатации или ее возобновления после ремонта и вплоть до списания.

Контролепригодность средств автоматизации характеризуется средней (или максимальной) продолжительностью поиска неисправной составляющей (блока, модуля, платы и т. д.).

В процессе эксплуатации показатели безотказности, контролепригодности и долговечности оцениваются по результатам анализа статистических данных об отказах, неисправностях, а также причинах их возникновения. Учет и анализ отказов и повреждений производится в целях:

- \* оценки надежности серийно выпускаемых средств автоматизации процессов УВД;
- \* установления причин их возникновения, разработки предложений по их устранению;
- \* уточнения сроков технического обслуживания;
- \* улучшения эксплуатационной технической документации;
- \* уточнения объемов и состава ЗИП;
- \* подтверждения технических ресурсов.

Вся информация об отказах и неисправностях хранится в банке данных системы диагностики и заносится в формуляр (паспорт) системы.

### 20.2.3. Учет условий эксплуатации

Еще недавно вопрос о применении универсальных аппаратных средств массового производства в системах УВД, которые являются системами жизнеобеспечения с максимальными требованиями к надежности и ремонтпригодности, казался спорным. Однако опыт ряда зарубежных и отечественных фирм и эксплуатация оборудования производства фирмы «НИТА» показали, что при выборе комплектующих категории «промышленная», а также аппаратуры производства непосредственно от разработчика (так называемая «белая сборка») обеспечивается достаточно высокий уровень надежности.

При переходе на микропроцессорную элементную базу важнейшим фактором, влияющим на устойчивость функционирования и надежность, становятся условия эксплуатации.

Микропроцессорная техника имеет более жесткие требования к климатическим условиям (температура и влажность воздуха, уровень радиации, пыльность, вибрации и т. п.), а также к защите от внешних воздействий по линиям электропитания и связи. В нынешних производственных условиях, когда объекты УВД, здания и сооружения, в которых размещается современное оборудование, проектировались и строились без учета резко возросших требований к условиям эксплуатации, эксплуатирующим предприятиям очень трудно обеспечить весь спектр климатических и технических условий. Высокое сопротивление заземления при наличии статического электричества приводит к сбоям в работе ПО, ОС ОП и выходу из строя плат и устройств (например, от случайного прикосновения человека, на котором скопился избыточный потенциал).

В этих условиях обязательными требованиями к проектированию и укомплектованию оборудования и объектов являются:

- \* организация электроснабжения с применением устройств бесперебойного питания в широком диапазоне параметров (как правило, не менее +10% по напряжению и +2% по частоте переменного тока);
- \* обеспечение сопротивления заземления в соответствии с нормами электробезопасности и условиями эксплуатации оборудования;
- \* обеспечение нормальных климатических условий эксплуатации в помещениях с применением систем кондиционирования и вентиляции;
- \* укомплектование систем электроснабжения и связи устройствами защиты от импульсных бросков токов и напряжений.

Изменение условий эксплуатации и способов поддержания эксплуатационной готовности связано со смещением уровня, на котором специалисты осуществляют управление и настройку оборудования, с аппаратного на программный. Объем работ по проведению диагностики и восстановительному ремонту аппаратной части сведен к минимуму. Эти работы выполняются методом поблочной замены из комплекта запасных частей (ЗИП). При отказах окончательная диагностика и ремонт осуществляются только специализированными и авторизованными производителем организациями.

Однако пользователю, имеющему соответствующую подготовку и санкционированный доступ к функциям (системный администратор), обеспечивается возможность с помощью встроенных систем диагностики и управления проанализировать происходящие процессы (зафиксированные события), приведшие к нештатному режиму, затем провести локализацию отказа для определения неисправного блока (модуля) и восстановить работоспособность в соответствии с инструкцией по эксплуатации. В этих условиях значительно повышаются требования к специалистам, обеспечивающим эксплуатацию и сопровождение оборудования, в области знаний и умения ориентироваться как в прикладной, так и системной частях ПО отдельных блоков и системы в целом.

Для обеспечения необходимого уровня подготовки эксплуатационного персонала и пользователей КСА и АС УВД фирмы-производители должны проводить их специальную подготовку перед вводом оборудования в эксплуатацию. Для несложных систем и комплексов обучение может проводиться и на месте их установки. Для больших комплексов и АС УВД требуется специальная подготовка инженерно-технического персонала на базе фирмы-разработчика (производителя) в целях углубленного изучения принципов организации и функционирования этого сложного оборудования.

## 20.3. Эксплуатационная документация

### 20.3.1. Виды эксплуатационных документов

Все оборудование, от опытных образцов до серийных изделий, поставляемое на предприятия, должно иметь в комплекте эксплуатационные документы (ЭД).

Таблица 20.1 Виды эксплуатационных документов

| Вид документа  | Определение  |
|--|--|
| Руководство по эксплуатации  | Документ содержащий сведения о конструкции принципе действия, характеристиках (свойствах) изделия его составных частей и указания необходимые для правильной и безопасной эксплуатации изделия (об использовании по назначению, техническом обслуживании, текущем ремонте хранении и транспортировании) и оценок его технического состояния при определении необходимости отправки в ремонт, а также сведения по утилизации изделия и его составных частей |
| Инструкция по монтажу, пуску регулированию и обкатке изделия             | Документ содержащий сведения, необходимые для монтажа, наладки пуска регулирования, обкатки и сдачи изделия и его составных частей в эксплуатацию на месте его применения  |
| Формуляр   | Документ содержащий сведения, удостоверяющие гарантии изготовителя значения основных параметров и характеристик (свойств) изделия, сведения, отражающие техническое состояние данного изделия сведения о сертификации и утилизации изделия, а также сведения которые вносят в период его эксплуатации (длительность и условия работы техническое обслуживание, ремонт и другие данные)   |
| Паспорт  | Документ, содержащий сведения удостоверяющие гарантии изготовителя, значения основных параметров и характеристик (свойств) изделия а также сведения о сертификации и утилизации изделия  |
| Этикетка   | Документ, содержащий гарантии изготовителя значения основных параметров и характеристик (свойств) изделия сведения о сертификации изделия  |
| Каталог деталей и сборочных единиц                                       | Документ содержащий перечень деталей и сборочных единиц изделия с иллюстрациями и сведения об их количестве расположении в изделии, взаимозаменяемости, конструктивных особенностях и материалах   |
| Нормы расхода запасных частей  | Документ, содержащий номенклатуру запасных частей изделия и их количество, расходуемое на нормируемое количество изделия за период их эксплуатации   |
| Нормы расхода материалов   | Документ содержащий номенклатуру материалов и их количество, расходуемое на нормированное количество изделий за период их эксплуатации   |
| Ведомость комплектов запасных частей инструмента и принадлежностей (ЗИП) | Документ, содержащий номенклатуру, назначение, количество и места укладки запасных частей, инструментов, принадлежностей и материалов расходуемых за срок службы изделия   |
| Учебно-технические плакаты   | Документы, содержащие сведения о конструкции изделия принципах действия, приемах использования, техническом обслуживании, областях технических знаний с необходимыми иллюстрациями   |
| Ведомость эксплуатационных документов                                    | Документ устанавливающий комплект эксплуатационных документов и места укладки документов, поставляемых с изделием или отдельно от него   |

Эксплуатационные документы предназначены для ознакомления с конструкцией изделий, изучения правил их эксплуатации (использования по назначению, технического обслуживания, текущего ремонта, хранения и транспортирования). В них отражаются данные, удостоверяющие гарантируемые изготовителем значения основных параметров и характеристик (свойств) изделия, приводятся сведения по его эксплуатации за весь период (длительность и условия работы, техническое обслуживание, ремонт и пр.), а также указания по его утилизации.

Виды и состав эксплуатационных документов определяются соответствующими стандартами — ГОСТами.

К эксплуатационным документам относят текстовые и графические рабочие конструкторские документы, которые в отдельности или в совокупности дают возможность ознакомления с изделием и определяют правила его эксплуатации.

Документы подразделяют на виды, указанные в табл. 20.1.

### 20.3.2. Комплектность эксплуатационных документов

Номенклатуру ЭД, необходимых для обеспечения эксплуатации изделия, устанавливают в соответствии с табл. 20.1. В ЭД на изделие включают в необходимых объемах сведения об изделии в целом и составных частях, установленных на изделии к моменту поставки его заказчику (потребителю). ЭД на составные части изделия допускается включать в ЭД на изделие по согласованию с заказчиком (при его наличии).

Описание и правила эксплуатации составных частей, в том числе покупных изделий, содержатся, как правило, в соответствующих эксплуатационных документах на изделие в качестве их самостоятельных разделов, подразделов и пунктов.

В зависимости от особенностей изделия, объема сведений по нему и условий эксплуатации допускается:

- \* разделять документ на части;
- \* разрабатывать объединенные ЭД (допускается выпускать на изделие один

эксплуатационный документ).

Объединенному ЭД присваивают наименование и код вышестоящего документа. Номенклатура эксплуатационных документов приведена в приложении 30.

Степень деления ЭД на части, разделы, подразделы и пункты определяет разработчик изделия в зависимости от объема помещаемых в ЭД сведений. Допускается отдельные части, разделы и подразделы ЭД объединять или исключать, а также вводить новые.

В ЭД, поставляемых с изделием, должна в обязательном порядке содержаться следующая информация:

- \* наименование и номер стандарта, обязательным требованиям которого должно соответствовать изделие;
- \* основные сведения, технические данные и потребительские свойства;
- \* правила и условия эффективного и безопасного использования, хранения, транспортирования и утилизации;
- \* ресурс, срок службы и сведения о необходимых действиях потребителя по его истечении, а также о возможных последствиях при невыполнении указанных действий;
- \* гарантии изготовителя (поставщика);
- \* сведения о сертификации (при ее наличии);
- \* сведения о приемке.

На конструктивно простейшие изделия, объем сведений по которым незначителен, эксплуатационные документы допускается не составлять, а необходимые сведения размещать (маркировать) на самом изделии или на фирменной табличке, прикрепляемой к нему.

Как правило, чем сложнее по конструкции и структуре изделие, тем больше степень деления документации на книги и разделы. Например, документация на КСАУВД «Альфа» состоит из следующих документов:

- \* руководство по эксплуатации;
- \* техническое описание;
- \* инструкция по монтажу, пуску и регулированию;
- \* руководство администратора;
- \* руководство пользователя (диспетчера);
- \* руководство оператора;
- \* руководство пользователя (сменного инженера);
- \* формуляр;
- \* ведомость ЭД;
- \* ведомость ЗИП.

Для системы точного времени «Метроном» первые семь документов объединены в «Руководство по эксплуатации».

### 2.3.3. Запасные части и принадлежности

Для каждого изделия, как правило, в комплект должны входить запасные части, принадлежности и материалы, требуемые для поддержания его в эксплуатационной готовности в течение определенного срока.

За основной норматив потребности в запасных частях (НЗЧ) принимают норму их расхода на срок службы одного изделия, исчисляемый наработкой (в часах, циклах, километрах, календарном времени и т. п.).

НЗЧ должны быть рассчитаны применительно ко всей номенклатуре запасных частей на основе показателей надежности изделия и его составных частей, результатов испытаний, опыта эксплуатации аналогичных изделий.

НЗЧ состоит из разделов:

- \* составные части собственного производства;
- \* покупные изделия и их составные части.

Раздел *Составные части собственного производства* содержит сборочные единицы и детали, изготовленные производителем изделия и другими изготовителями изделий в виде запасных частей. Раздел должен состоять из подразделов по видам изделий в порядке их записи в спецификации, наименования подразделов должны соответствовать наименованиям видов изделий.

Раздел *Покупные изделия и их составные части* содержит сборочные единицы и детали, которые не изготавливает производитель изделия или запасных частей. Они, как правило, являются покупными или поступают по кооперации.

По своему назначению комплекты ЗИП подразделяются на следующие виды:

- \* гарантийный;
- \* эксплуатационный;
- \* ремонтный.

*Гарантийный комплект* предназначен для обеспечения работоспособности изделия в период распространения условий гарантии производителя или поставщика этого оборудования.

*Эксплуатационный комплект* рассчитывается на весь период эксплуатации (ресурс).

*Ремонтный комплект* предназначается для проведения плановых и внеплановых ремонтных работ, которые предусмотрены руководством или инструкцией по эксплуатации, силами обслуживающего персонала.

Переход на микропроцессорную технику в целом изменил условия эксплуатации оборудования. Лишь незначительное количество блоков и модулей ремонтнопригодны в условиях эксплуатации. Основным методом восстановления работоспособности оборудования при отказах и неисправностях становится поблочная замена на исправный элемент из состава комплекта ЗИП. В этом случае роль инженерно-технического персонала сводится к оперативной локализации отказа (неисправности) с учетом данных системы диагностики с последующей заменой неисправного элемента. Таким образом осуществляется *обслуживание по состоянию*.

## 20.4. Взаимодействие поставщика с эксплуатантами

### 20.4.1. Этапы разработки и испытаний

При оснащении центров УВД сложными комплексами и системами, особенно такими, как АС или КСА УВД, необходимо тесное взаимодействие специалистов организации-заказчика (или получателя), которая в дальнейшем будет эксплуатировать это оборудование, с организацией-поставщиком (производителем). Взаимодействие начинается еще на этапе разработки технических документов, в которых должны быть предусмотрены все особенности конфигурации системы (изделия).

Основными документами такого рода являются:

- \* техническое задание (требования);
- \* технический проект;
- \* рабочий проект.



Как правило, техническое задание (или технические требования) разрабатывается на этапе заключения договора поставки оборудования.

Все сложные системы и комплексы, находящиеся в серийном производстве, имеют большой набор функций и вариантов взаимодействия с источниками и потребителями информации, так как еще на этапе их разработки задаются максимально высокие требования для данного класса (типа) оборудования.

Открытость архитектуры современных информационно-вычислительных систем обеспечивает возможности конфигурирования комплексов под конкретные условия объекта, на котором предполагается их эксплуатация. Специалисты должны установить основные конструктивные и технические параметры, которые и будут определять конфигурацию и решаемые задачи. Таковыми, например, являются:

- \* типы и количество источников и потребителей информации;
- \* места размещения оборудования;
- \* количество рабочих мест основного и технического персонала;
- \* схема электропитания;
- \* системы связи и передачи сигналов;
- \* схема резервирования.

Исходя из этого определяется комплектация оборудования и программного обеспечения.

Следующим этапом, как правило, являются заводские эксплуатационные испытания образцов оборудования, к которым привлекаются представители организации-заказчика (покупателя) оборудования. На заводских испытаниях проверяются комплектация оборудования, его основные технические характеристики, основные функции и режимы работы согласно техническому заданию. В заводских условиях в качестве источников и потребителей информации, а также систем, которые должны сопрягаться с поставляемой АС или КСА УВД, используются имитаторы сигналов, тестовые и контрольные записи информации и другие данные (сигналы реальных РЛС и пр.). Уточняются картографическая, аэронавигационная, плановая информация, схема абонентов системы связи и другие технические и структурные данные, необходимые для наладки комплексов и систем.

По результатам заводских испытаний дается заключение о готовности поставляемого оборудования к отгрузке на место его планируемой установки.

При выполнении монтажных и пусконаладочных работ на объекте также требуется тесное взаимодействие специалистов заказчика и поставщика. Безусловно, работы проводятся в соответствии с проектной документацией, однако в реальных условиях в процессе работы может возникнуть значительное число вопросов, которые должны решаться, в том числе и с участием специалистов эксплуатационной организации (заказчика). При организации АС УВД во вновь построенных или реконструированных помещениях специалисты заказчика, как правило, привлекаются при прокладке линий связи и электроснабжения, размещении оборудования в диспетчерских и аппаратных залах, а также для решения эргономических вопросов.

Особенно актуальным такое взаимодействие становится при модернизации центров УВД, когда новая система устанавливается и некоторое время работает параллельно с действующей (без прерывания процесса УВД). В этих условиях необходимо обеспечить монтаж сетей электроснабжения, пультового и другого оборудования без помех для действующих сетей и оборудования. В таких ситуациях работы проводятся в несколько этапов, предусматривающих развертывание нового оборудования и поэтапный ввод его в эксплуатацию.

По завершении монтажных и пусконаладочных работ проводятся приемосдаточные испытания, к которым привлекаются специалисты всех организаций, участвующих в заказе, поставке и вводе комплекса в эксплуатацию. Научное сопровождение испытаний осуществляет отраслевая научно-исследовательская организация (на сегодняшний день в отношении оборудования центров УВД такой организацией является ГосНИИ «Аэронавигация»).

В процессе приемосдаточных испытаний проверяется работа всех подсистем АС УВД в комплексе, а также их взаимодействие с источниками и потребителями информации. При испытаниях проводятся работы по проверке технических и эксплуатационных характеристик, уточняются параметрические настройки и заполнение баз данных актуальной информацией. Проводятся наземные и летные проверки радиолокационных и радиотехнических средств обеспечения полетов в целях уточнения их технических характеристик на местах установки в реальных условиях эксплуатации.

## 20.4.2 Ввод в строй и эксплуатация

Для ввода нового оборудования в штатную эксплуатацию необходим переходный период, в течение которого должен быть проведен комплекс мероприятий, исключающих риск снижения уровня безопасности полетов.

К таким мероприятиям относятся:

- \* обучение инженерно-технического персонала и специалистов УВД правилам и особенностями эксплуатации оборудования;
- \* организация резервных (или обеспеченных, если позволяет ОрВД) рабочих мест, линий связи, каналов передачи данных и т. п.;
- \* разработка и ввод в действие нормативно-распорядительной документации (описание структуры, схемы электропитания и резервирования, организации сети связи, технологии работы, должностные инструкции и т. п.);
- \* изменение структуры воздушного пространства, организация воздушного движения и обеспечения полетов, если это предусмотрено проектом оснащения (модернизации) центра УВД;
- \* организация взаимодействия со смежными органами УВД, аэропортами, ведомственными органами по контролю и обеспечению ВД района (зоны) и др.;
- \* другие мероприятия, связанные с обеспечением организационного и технологического взаимодействия модернизированного или вводимого вновь центра УВД.

Безусловно, на всех этапах проведения этих мероприятий специалисты поставщика и заказчика нового оборудования должны тесно взаимодействовать между собой.

Обучение персонала организуется в несколько этапов. Перед поставкой оборудования в эксплуатационную организацию передается комплект эксплуатационной документации для предварительного ознакомления с основными техническими и эксплуатационными характеристиками оборудования, требованиями к его установке и условиям эксплуатации, технологическими особенностями и функциональными возможностями. Условиями договора поставки может предусматриваться углубленное изучение нового оборудования несколькими инженерно-техническими специалистами на базе разработчика этого оборудования. В зависимости от сложности и функциональности комплексов и систем такое обучение может проводиться от двух-трех дней до одного и более месяцев.

На этапе монтажных и пуско-наладочных работ проводится ознакомление всего инженерно-технического персонала и пользователей с основными принципами работы поставляемых систем и оборудования, с их функциональными возможностями, действиями при возникновении нештатных ситуаций, основными методами диагностики неисправностей, реконфигурации, адаптации и другими правилами и особенностями эксплуатации оборудования в объеме руководства по эксплуатации, руководств пользователей и администратора системы.

При наличии технических средств обучения и тренажа в составе поставляемых комплексов и систем проводится практическая подготовка специалистов в объемах, определяемых разработчиком оборудования по согласованию с организацией-заказчиком.

В целях обеспечения перехода на штатную эксплуатацию вновь вводимого оборудования в течение переходного периода организуется работа действующего и нового оборудования в параллельном режиме. На первом этапе новое оборудование используется в качестве средства, на котором выполняются все возложенные на него функции, но без участия в реальном процессе ОрВД. На этом этапе производится так называемая «обкатка» оборудования, при которой персонал завершает его практическое освоение, а кроме того, выявляются все возникающие проблемы, недостатки и проводится уточнение конфигурации, настройки и отладки сопряжений с источниками и потребителями информации, а также с каналами связи и передачи данных.

После принятия решения о вводе нового оборудования в штатную эксплуатацию эксплуатант юридически берет на себя ответственность за обеспечение безопасности полетов и ОрВД. При этом оборудование остается на определенный период в качестве резервного. В зависимости от сложности зоны УВД, интенсивности воздушного движения, структуры потоков ВД могут сохраняться резервные пульты диспетчеров, за которыми находятся в дежурном режиме специалисты ОрВД либо на которые в случае необходимости могут оперативно перейти специалисты ОрВД дежурной смены.

Оборудование (технические средства), не требующее оперативного персонала при непосредственном использовании, эксплуатируется в параллельном режиме вплоть до принятия решения о выводе его из штатной эксплуатации.

Продолжительность переходного периода определяется особенностями и сложностью структуры АС УВД.

В одном центре, где зона ответственности охватывает 1-2 РЦ, этот переход может длиться от одного до трех месяцев. В сложных зонах, когда по результатам ввода АС УВД в эксплуатацию охватывается несколько крупных районных центров, этот срок может составлять от одного до трех лет.

После принятия решения о готовности оборудования и персонала к самостоятельной эксплуатации АС УВД старое оборудование исключается из штатной эксплуатации и демонтируется.

Как показывает практика, переходный период является самым интенсивным этапом взаимодействия специалистов поставщика (разработчика) и заказчика (эксплуатанта). На этапе освоения техники даются необходимые консультации по вопросам эксплуатации, диагностики и устранения неисправностей и неполадок в работе, а также ведется подстройка оборудования. В этот период основные проблемы, связанные с неисправностью аппаратной части оборудования и программного обеспечения, возникают по двум основным причинам: конструктивно-производственные недостатки (дефекты) либо несоблюдение условий и правил эксплуатации. Этот период совпадает со сроком действия гарантийных обязательств поставщика (производителя).

После окончания срока действия гарантийного обслуживания связь между поставщиком и эксплуатантом не прекращается. В течение срока эксплуатации оборудования, который составляет от 10 до 15 лет, могут возникнуть проблемы, для разрешения которых необходимо привлечение специалистов-разработчиков (например, доработка аппаратной части или ПО).

Это может быть обусловлено следующими причинами:

- \* изменение структуры воздушного пространства, организации ВД (открытие новых секторов, рабочих мест);
- \* изменение аэронавигационной обстановки в части сведений, задействованных на функциональные и технические параметры (процедуры, сигнализации и т. п.);
- \* реконфигурация комплексов при изменении качества рабочих мест и выполняемых функциональных задач;
- \* подключение новых источников и потребителей информации, а также информационных потоков данных, требующих специальной обработки;
- \* замена морально устаревшего оборудования;
- \* изменение нормативной базы, связанное с технологией функционирования АСУВД.

Эти работы выполняются в рамках послегарантийного обслуживания и сопровождения оборудования на договорных условиях между заказчиком и поставщиком.

Связь между эксплуатантом и разработчиком важна и для разработчика оборудования. Своевременная диагностика и выявление конструктивно-производственных недостатков в оборудовании и его программном обеспечении позволяют оперативно устранять их и производить соответствующие доработки на серийно выпускаемых изделиях.

В то же время решение возникающих задач по расширению функций, улучшению эргономических и технологических характеристик позволяет поддерживать АС УВД на современном технологическом уровне, а также вносить соответствующие изменения в конструкцию изделий, производить их поэтапную модернизацию и разработать новое поколение техники.

Для обеспечения данного процесса проводятся следующие мероприятия:

- \* сбор, обработка и анализ сведений об отказах и неисправностях;
- \* сбор, обработка и анализ замечаний и рекомендаций по улучшению технико-эксплуатационных параметров и функциональных возможностей;
- \* обмен опытом эксплуатации аналогичного оборудования;
- \* отслеживание нормативно-распорядительных документов, регламентирующих процедуры и технико-экономические параметры оборудования АС УВД;
- \* отслеживание тенденций развития подобных систем в мире (участие и выставки, семинары, конференциях и т. д.);
- \* повышение квалификации специалистов разработчика;
- \* подготовка кадров в учебных заведениях и своевременное изменение учебных программ, диктуемое развитием технологий создания перспективного оборудования.

Эти и другие мероприятия, обусловленные процессом эксплуатации, с одной стороны, и научно-техническим прогрессом, с другой, обеспечивают создание систем нового поколения, а также длительное поддержание на современном технологическом уровне действующего радиоэлектронного оборудования.

### 20.4.3. Организация постгарантийного обслуживания

После окончания гарантийного срока эксплуатации, техническое обслуживание и ремонт оборудования, как правило, выполняются силами обслуживающего персонала в соответствии с эксплуатационной документацией. При этом могут использоваться унифицированные элементы и комплектующие, имеющиеся на рынке.

Однако перечисленные выше аспекты существенно влияют на возможности эксплуатационного персонала самостоятельно проводить обслуживание оборудования и обеспечивать его работоспособность. Быстрая замена аппаратуры, моральное старение, постоянная модернизация операционных систем и прикладного программного обеспечения, необходимость в расширении функциональных возможностей и адаптации к различным изменениям в структуре системы и нормативно-информационной базы — все это требует постоянного контакта между производителем и эксплуатантом.

Наиболее распространенным видом взаимодействия по постгарантийному обслуживанию является работа по разовым заявкам, когда эксплуатант просит производителя поставить необходимые блоки или запасные части либо выполнить иные работы

Особенность работ по устранению неисправностей и отказов состоит в том, что они имеют случайный вид и их трудно планировать. При этом в силу различного рода причин (удаленность объекта, транспортная схема, необходимость предварительной оплаты и закупки комплектующих и т. п.) сроки их выполнения могут быть достаточно большими. Вследствие этих обстоятельств исполнитель работ не может точно планировать ни людские, ни материальные ресурсы для выполнения необходимого объема работ. Стоимость обслуживания повышается, а качество снижается.

Эксплуатант испытывает трудности в изыскании средств на разовые, внеплановые и зачастую отнюдь не дешевые работы. С другой стороны, резко возрастающая сложность оборудования требует привлечения специалистов высокой квалификации по различным типам оборудования, что также создает значительные трудности эксплуатационным предприятиям.

Выход состоит в создании специальных подразделений, выполняющих подобного рода функции. Это могут быть службы или отделы эксплуатации в структуре организации-производителя оборудования, специальные или авторизованные сервисные центры, обеспечивающие выполнение всего цикла работ, как это практикуется в отношении техники массового производства. Однако при мелкосерийном производстве наладить их работу не удастся, в том числе и по причине отсутствия постоянного и ритмичного потока заявок. Таким образом, сервисная служба становится рентабельной при снижении надежности оборудования, т. е. при возрастании числа отказов и неисправностей, что абсолютно не устраивает эксплуатанта, да и просто противоречит здравому смыслу.

В этой ситуации наиболее предпочтительным представляется метод абонентского обслуживания, при котором всю ответственность за поддержание оборудования в работоспособном состоянии берет на себя сервисная служба, получая на это регулярно абонентскую плату. В этом случае она может планировать выполнение работы, распределение специалистов по времени и месту обслуживания на основании заблаговременно составленного графика. Необходимое количество запасных частей и комплектующих в плановом порядке закупается и поддерживается в наличии на складе, что обеспечивает:

- \* выполнение работ по техническому обслуживанию в плановом порядке;

- \* устранение отказов и неисправностей в кратчайшие сроки;

- \* внесение изменений в настройки и базы данных по мере их поступления и другие преимущества

планово-предупредительного метода параллельного обслуживания нескольких десятков или сотен эксплуатационных предприятий.

Взаимные интересы в данной ситуации оказываются согласованными: исполнитель работ становится непосредственно заинтересованным в безотказной работе оборудования, так как в этом

случае его расходы минимизируются. Эксплуатант, внося регулярную абонентскую плату, снимает с себя большинство организационных проблем и в конечном счете выигрывает в качестве работы, надежности и готовности оборудования, существенно влияющего на поддержание высокого уровня обеспечения безопасности полетов.

В условиях высоких темпов научно-технического прогресса в области электроники и информационных технологий быстро меняется номенклатура элементов, на базе которых строится современная аппаратура. Темпы морального износа намного опережают физический износ, что приводит к необходимости проведения поэтапной модернизации оборудования в целях поддержания ее на современном технологическом уровне. На договорной основе сервисные службы могут взять на себя выполнение дополнительных объемов работ по «осовремениванию» оборудования, обеспечивая замену морально устаревших элементов аппаратуры и ПО с учетом возрастающих функциональных и сервисных возможностей. Таким образом, эксплуатант получает реальную возможность, имея современное оборудование, планомерно поддерживать его на высоком технологическом уровне.

При оснащении крупных центров УВД со сложной конфигурацией и большим количеством разнотипного оборудования, имеющего различные сроки службы и ресурс, в процессе эксплуатации возникают проблемы, связанные с необходимостью замены части аппаратуры или комплекса в целом. Это требует значительных капитальных затрат, а также вызывает необходимость построения новой структуры, начиная со зданий и сооружений, линий электропитания и связи и другой инфраструктуры. Опыт построения крупных центров в нашей стране и за рубежом показывает, что они должны проектироваться сразу с учетом наличия резервной системы. По своему назначению эта система должна обеспечивать в процессе эксплуатации центра УВД резервирование основной системы на случай серьезных сбоев и масштабных отказов, а также на период ее замены или модернизации.

#### 20.4.4. Перспективные интегральные информационные технологии

Первые попытки создания концепции интегрального сквозного информационного сопровождения заказа, разработки и поставки на вооружение сложных объектов военной техники были предприняты военным ведомством США еще в 80-х годах прошлого столетия. Теоретическую основу составляли формализованные методы логистики, предметом которой являлись информационные потоки данных на всех фазах жизненного цикла изделия. В связи с этим первоначальная расшифровка CALS-технологии как «Computer Aided Logistic System» была заменена на более адекватную содержанию — «Continuous Acquisition and Life Cycle Support» (в буквальном переводе — «непрерывная восприимчивость и поддержка жизненного цикла»). Смысл этого термина заключается в том, что речь идет о постоянном отслеживании и обновлении в электронном виде исчерпывающих данных об изделии на любом этапе его жизненного цикла: бизнес-план, разработка требований, проектирование, опытно-конструкторская разработка, серийное производство, материально-техническое обеспечение, технология выпуска изделия, испытаний, эксплуатации, обслуживания и ремонта и, наконец, утилизация. Таким образом, CALS — это «живая» система, представляющая собой совокупность взаимосвязанных баз данных, в которой обмен информацией осуществляется по стандартам и правилам в виде формализованных протоколов (ISO, STEP и пр.)

Использование CALS-технологий обеспечивает не только *внутреннюю* информационную интеграцию в корпоративной информационной среде предприятия, но и *внешнюю* интеграцию для всех участников жизненного цикла изделия. Целью CALS является решение следующей задачи: для любого изделия (особенно актуально это для сложных технических комплексов, таких как АС УВД) должна поставляться *электронная модель*. Она заменяет комплект документации, исполненной на бумаге в виде десятков томов, занимающих порой не одну комнату. Эта модель должна обеспечивать возможность получения всех данных, необходимых в процессе эксплуатации, как о самой системе и ее конструкции, технических характеристиках, параметрах диагностики и т. п., так и о всех регламентных, профилактических и ремонтных работах, предписанных к выполнению в процессе всего срока службы изделия. И такой подход должен распространяться применительно к любым сложным техническим комплексам и системам.

В процессе разработки и создания любого сложного изделия задействовано значительное количество участников, которым необходимо отслеживать информацию о ходе работ, результатах этапов испытаний и происходящих изменениях. При автоматизации процессов проектирования и

разработки, да и в ходе последующей эксплуатации и сопровождения изделий используются различные автоматизированные системы и прикладные программные средства (САПР, АСУП и др.). Значительное время при этом занимают процессы взаимного информирования о ходе работ и их увязывании в рамках единого проекта.

Для реализации концепции CALS необходимо все информационные системы обеспечить обменом данными на базе набора стандартных протоколов, в результате чего создается единое информационное пространство, доступ к которому гарантируется всем заинтересованным сторонам. Автоматизация процессов управления и контроля за информацией позволяет значительно сократить сроки выполнения работ, а значит, и выпуска изделий в производство.

Для решения подобных задач используются PDM-системы (Product Data Management) — системы управления проектными и инженерными данными предприятия. Задачей PDM-системы является аккумулирование всей информации об изделии, создаваемой прикладными системами, в единую информационную логическую модель. С помощью PDM-систем осуществляется отслеживание больших, постоянно обновляющихся массивов данных и инженерно-технической информации, необходимых на этапах проектирования, производства, а также поддержка эксплуатации, сопровождения и утилизации изделий. PDM-системы отличаются от БД тем, что интегрируют информацию, поступающую от различных источников, причем любых форматов и типов, представляя ее пользователям в структурированном виде. PDM-системы отличаются и от систем офисного документооборота, так как работают не только с текстовыми документами, но и с геометрическими моделями, функциональными схемами и данными.

На базе информации от PDM-систем, согласно концепции CALS, создается единое информационное пространство (ЕИП), доступное всем участникам жизненного цикла изделия (в том числе и эксплуатирующим предприятиям).

ЕИП обладает следующими свойствами:

- \* вся информация представлена в электронном виде;
- \* ЕИП охватывает всю информацию, созданную об изделии;
- \* ЕИП является *единственным* источником данных об изделии (прямой обмен данными между участниками исключен);
- \* ЕИП строится только на основе информационных стандартов (международных, государственных, отраслевых);
- \* для функционирования ЕИП используются имеющиеся программно-аппаратные средства участников;
- \* ЕИП постоянно развивается.

Основными преимуществами ЕИП являются:

- \* обеспечение целостности данных;
- \* исключение потерь данных между этапами ЖЦ;
- \* доступ к данным и их изменениям одновременно всех участников ЖЦ, в том числе и географически удаленных (с помощью сетевых технологий Internet и др.);
- \* повышение оперативности поиска требуемой информации и доступа к ней по сравнению с бумажной документацией;
- \* возможность использования различных информационных систем и комплексов для работы с данными.

ЕИП при этом может создаваться для организационных структур различного уровня, от отдельного подразделения до предприятия или корпорации. Поскольку потребитель (эксплуатационное предприятие) тоже является полноправным участником ЖЦ изделия, необходимо обеспечить его доступ в ЕИП. Однако у потребителя может находиться в эксплуатации значительное количество изделий различных производителей. Поэтому ему придется иметь дело в рамках ЕИП с различными PDM-системами. Учитывая, что потребителю необходимы только эксплуатационные данные об изделии, в качестве средства доступа к ЕИП используют интерактивные электронные технические руководства (ИТЭР). Они разрабатываются производителем, имеют стандартный интерфейс пользователя и обеспечивают доступ потребителя к эксплуатационной информации в ЕИП.

В обозримом будущем применение концепции CALS-технологии в эксплуатационных подразделениях авиапредприятий, и в частности служб ЭРТОС по эксплуатации оборудования систем УВД, безусловно создаст значительные преимущества, к которым относятся:

- \* планирование профилактического и регламентного обслуживания оборудования оперативным составом;

- \* быстрый поиск и локализация неисправностей и отказов оборудования, а также восстановление его работоспособности в кратчайшие сроки;
- \* сбор статистики о наработке изделия, надежности его элементов и прогнозирование уровня эксплуатационной готовности;
- \* возможность обмена данными об особенностях эксплуатации изделия с разработчиком и другими потребителями;
- \* облегчение освоения изделия в эксплуатации;
- \* возможность обучения персонала и постоянного повышения его квалификации (а не отставания, наблюдаемого при периодичном методе);
- \* получение однозначной и достоверной информации об изделии и изменениях в его конструкции и документации;
- \* оптимизация решений по модернизации на основании актуальной информации как о выпускаемых, так и разрабатываемых изделиях (вплоть до стадии их разработки и готовности к выпуску);
- \* систематизация сведений по ремонту, техническому обслуживанию, запасным частям и т. п.;
- \* унификация сведений для технических отделов по учету различной информации об эксплуатации оборудования, а также их передача в вышестоящие инстанции в виде отчетов и т. п.;
- \* другие преимущества сетевого учета и обмена информационными данными как внутри предприятия (между подразделениями), так и с внешними организациями.

Разработчик и производитель, осведомленные обо всех событиях, случающихся в процессе эксплуатации, получают бесценную информацию как для оперативного устранения конструктивных недостатков, которые не представилось возможным выявить на всех этапах испытаний, так и для модернизации изделий, а также создания новых систем.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

### *Приложение 1*

### **Нормы эшелонирования в воздушном пространстве**

Под эшелоном полета следует понимать установленную поверхность постоянного атмосферного давления, уровень которого отнесен к давлению 760,0 мм ртутного столба (1013,2 гектопаскаля), и отстоящую от других таких поверхностей на величину установленных интервалов

Приведем определение еще одного важного понятия

Эшелон перехода — это установленный эшелон полета для перевода шкалы давления барометрического высотомера со стандартного давления на давление аэродрома или на минимальное атмосферное давление, приведенное к уровню моря Эшелоном перехода является нижний эшелон полета в районе аэродрома (аэроузла)

Под нижним (минимально безопасным) эшелоном понимают ближайший к минимально допустимой высоте полета и расположенный выше этой высоты, гарантирующей от столкновения ВС с земной (водной) поверхностью или с препятствием на ней

Ниже приводятся выдержки из Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации, утвержденных Постановлением Правительства РФ № 1084 от 22 сентября 1999 г (источник Собрание законодательства РФ, 1999, №40, ст 4861)

В воздушном пространстве устанавливаются минимальные интервалы вертикального, продольного и бокового эшелонирования

Для вертикального эшелонирования устанавливаются следующие минимальные интервалы:



- \* 300 м — от эшелона 900 м до эшелона 8100 м;
- \* 500 м — от эшелона 8100 м до эшелона 12 100 м;
- \* 1000 м — выше 12 100 м

Минимальный интервал между воздушным судном, выполняющим полет на сверхзвуковой скорости, и воздушным судном, выполняющим полет на сверхзвуковой или дозвуковой скорости, должен составлять 1000 м

Между высотами полетов воздушных судов меньше нижнего эшелона устанавливаются следующие минимальные интервалы 150 м — при полетах по правилам визуальных полетов (ПВП) со скоростью 300 км/ч и менее, 300 м — при полетах по ПВП со скоростью более 300 км/ч

Минимальный интервал между нижним эшелоном и высотой полета по маршруту или при выполнении иной деятельности меньше нижнего эшелона должен быть 300 м

Вертикальное эшелонирование в воздушном пространстве осуществляется по полукруговой системе:

- \* в направлении от истинного меридиана от 0 до 179° (включительно) устанавливаются эшелоны 900, 1500, 2100, 2700, 3300, 3900, 4500, 5100, 5700, 6300, 6900, 7500, 8100, 9100, 10 100, 11 100, 12 100, 14 100 м и т.д.,

- \* в направлении от истинного меридиана от 180 до 359° (включительно) устанавливаются эшелоны 1200, 1800, 2400, 3000, 3600, 4200, 4800, 5400, 6000, 6600, 7200, 7800, 8600, 9600, 10 600, 11 600, 13 100, 15 100 м и т.д.

Регламентирующие документы ИКАО устанавливают нормы вертикального эшелонирования по той же схеме, но используют английскую систему мер. От высоты 1000 f (300 м) до высоты 43 000 f (13 100 м) эшелонирование осуществляется через 100 f, выше 43 000 f — через 2000 f.

В связи со все возрастающей интенсивностью воздушного движения в настоящее время вводится система сокращенного вертикального эшелонирования Reduced Vertical Separation Minimum (RVSM), предусматривающая использование половинных интервалов эшелонирования в воздушном пространстве от эшелона FL290 (29 000 f) до эшелона FL410 (41 000 f) включительно.

Для продольного эшелонирования при полетах по ПВП устанавливаются следующие минимальные интервалы:

- а) между воздушными судами, следующими по одному маршруту на одной высоте, или между воздушным судном и другими материальными объектами — не менее 2 км;
- б) между воздушными судами, следующими по пересекающимся маршрутам на одной высоте, или между воздушным судном и другими материальными объектами в момент пересечения воздушным судном маршрута полета другого воздушного судна или другого материального объекта — не менее 2 км для воздушных судов со скоростью полета 300 км/ч и менее и не менее 5 км для воздушных судов со скоростью полета более 300 км/ч.

Для продольного эшелонирования по правилам полетов по приборам (ППП) с непрерывным радиолокационным контролем устанавливаются следующие минимальные интервалы:

- а) между воздушными судами, следующими по одному маршруту на одном эшелоне (высоте):

- \* на воздушных трассах и маршрутах вне их — не менее 30 км;

- \* в районе аэродрома (в зоне подхода) — не менее 20 км, в районе аэродрома (в зоне подхода), оборудованного автоматизированными системами обслуживания воздушного движения (управления полетами) или средствами вторичной радиолокации, — не менее 10 км;

- \* при выполнении маневра по схеме захода на посадку — не менее 5 км;

- б) между воздушными судами при пересечении воздушным судном встречного эшелона (высоты), занятого другим воздушным судном:

- \* не менее 30 км в момент пересечения при вертикальной скорости набора высоты (снижения) 10 м/с и более;

- \* не менее 60 км в момент пересечения при вертикальной скорости набора высоты (снижения) до 10 м/с;

- в) между воздушными судами при пересечении воздушным судном попутного эшелона (высоты), занятого другим воздушным судном, — не менее 20 км в момент пересечения;

- г) между воздушными судами, следующими по пересекающимся маршрутам на одном эшелоне (высоте), — не менее 40 км в момент пересечения воздушным судном маршрута полета другого воздушного судна.

При полетах по ППП без радиолокационного контроля устанавливаются следующие временные интервалы продольного эшелонирования между воздушными судами

- а) следующими на одном эшелоне (высоте) по воздушной трассе, местной воздушной линии или по одному и тому же маршруту вне их, а также в район аэродрома (в зоне подхода) — не менее 10 мин;
- б) выполняющими маневр по схеме захода на посадку — не менее 3 мин,
- в) при пересечении воздушным судном в наборе высоты или на снижении попутного или встречного эшелона (высоты), занятого другим воздушным судном, — не менее 10 мин в момент пересечения;
- г) следующими по пересекающимся маршрутам на одном эшелоне (высоте) — не менее 15 мин в момент пересечения воздушным судном маршрута полета другого воздушного судна.

Для бокового эшелонирования при полетах по ПВП устанавливаются следующие минимальные интервалы:

- а) при обгоне впереди летящего воздушного судна на одной высоте — не менее 500 м,
- б) при полете воздушных судов на встречных курсах — не менее 2 км.

Боковое эшелонирование при выполнении полетов по ППП без непрерывного радиолокационного контроля запрещается.

## Приложение 2

### Принципы и стоимостная основа расчетов сборов за АНО

Общие принципы, заложенные в систему расчетов сборов, заключаются в следующем:

- 1) система должна быть, насколько это возможно, простой и универсальной;
- 2) сборы должны вводиться таким образом, чтобы не препятствовать использованию средств и служб, обеспечивающих безопасность;
- 3) сборы не должны носить дискриминационный характер в отношении иностранных пользователей;
- 4) некомпенсированные расходы, обусловленные предоставлением льгот, специальных скидок и т. д., не должны компенсироваться за счет других пользователей;
- 5) система сборов должна учитывать не только расходы, но и эффективность предоставляемого АНО, а также прямые последствия в отношении экономического и финансового положения пользователей, с одной стороны, и предоставляющего обслуживание государства, с другой;
- 6) система сборов не должна допускать того, чтобы плата дважды взималась за одно и то же пользование средствами или за обслуживание; в тех случаях, когда отдельное обслуживание (средство) имеет двойное применение (например, диспетчерское обслуживание подхода, аэродромное диспетчерское обслуживание, а также диспетчерское обслуживание на маршруте), связанные с ним расходы должны быть справедливо и объективно отражены в соответствующих сборах;
- 7) размер сборов, взимаемых с международной авиации общего назначения, должен определяться на разумной основе с учетом стоимости, необходимого и используемого оборудования, а также целей содействия рациональному развитию международной гражданской авиации в целом.

Из вышеизложенного следует, что, рассматривая вопрос о компенсации пользователями затрат на АНО, понесенных в интересах авиационных пользователей, ИКАО старается соблюсти разумный (справедливый) баланс между различными сторонами. В целях достижения справедливого определения и компенсации расходов на АНО Совет ИКАО рекомендует, чтобы соответствующие государственные органы:

\* производили сбор данных по использованию воздушного пространства и АНО, в том числе о количестве рейсов по категориям пользователей (воздушный транспорт, авиация общего назначения и т. д.) как по внутренним, так и по международным полетам, а также данные о пролетаемом расстоянии, типе и массе ВС и т. д.;

\* принимали во внимание инструктивный материал о распределении расходов, содержащийся в руководстве ИКАО по экономическим аспектам аэронавигационного обеспечения на маршруте и руководстве по экономике аэропортов.

*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 зависимостью, которая имеет вид либо таблицы, либо относительно простой алгебраической формулы. Последняя может быть представлена и 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

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

где  $C_{sm}$  — общая сумма платы за АНО, взимаемая за полет ВС по данной трассе, 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<sup>-1</sup> (или \$\*км<sup>-1</sup>). Ставка платы рассчитывается по формуле:

$$P_m = P_0 / (m/m_0)^3, \quad (\text{П.2.2})$$

Таблица П.2.1. Весовые коэффициенты, принятые в международных авиаассоциациях

| 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 |

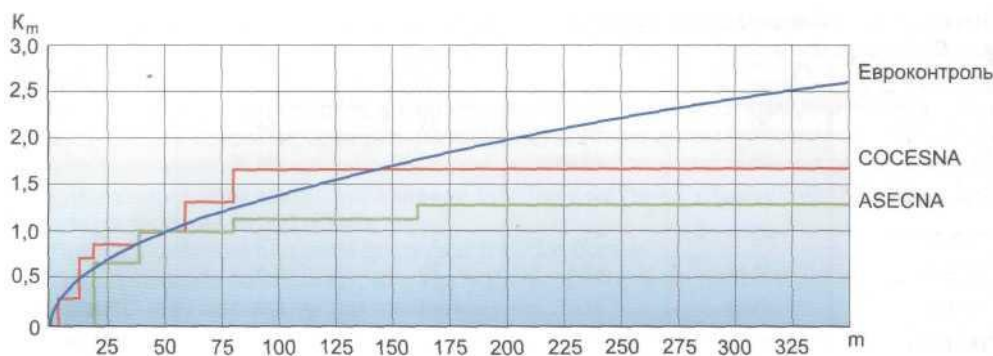


Рис. П.2.1. Весовые коэффициенты приведения, принятые в международных агентствах

где  $P_0$  — базовая тарифная ставка — тариф платы за АНО, взимаемый за полет по ортодромии на расстояние 100 км воздушного судна, имеющего  $m_0 = 50$  т;  $m$  — максимальная взлетная масса ВС, т;  $m_0$  — базовая взлетная масса, 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:

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

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  $I = 0,5$ , так что формула для весового коэффициента приведения имеет вид:

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

Таблица П.2.2. Весовые коэффициенты приведения, принятые в РФ

| 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...      |

Таблица П.2.3 Размер национальных ставок за АНО на маршруте (в долларах США на 100 км)

| Страна     | DC 9<br>(44,5Т) | B 727<br>(98 Т) | A 310<br>(150 Т) | B 747 SR<br>(268 Т) | B 747-200<br>(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                   |

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 пассажироместности, а в Центральной Америке — средней. Для ВС большой пассажироместности максимальные весовые коэффициенты в системе Евроконтроль

$$K_m = m/m_0.$$

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

### 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  $OgXgYgZg$ , скорости их изменения, а также ряд переменных (в частности, угловые координаты), динамикой изменения которых нельзя пренебречь

Полная система имеет следующий вид (штрих обозначает дифференцирование).

$$\left. \begin{aligned} x' &= V_x = V \cos \psi + W_x, \\ y' &= V_y, \\ z' &= V_z = -V \sin \psi + W_z, \\ \psi' &= -g/V \operatorname{tg} \gamma, \\ T_x V'_x &= V_{npz} - V_{np}, \\ T_y V'_y &= V_{y3} - V_y, \\ T_z \gamma' &= \gamma_3 - \gamma, \end{aligned} \right\} \quad (\text{П.3.1})$$

где  $x, y, z$  — координаты ВС в нормальной земной СК, а  $V_x, V_y, V_z$  — скорости их изменения,  $V_{np}, V_{npz}$  — приборная скорость и ее заданное значение;  $V_y, V_{y3}$  — вертикальная скорость и ее заданное значение;  $\psi$  — угол рыскания;  $\gamma$  и  $\gamma_3$  — 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:  $T_x = 10-30 \text{ с}$ ,  $T_y = 2-6 \text{ с}$ ,  $T_z = 2-4 \text{ с}$

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

$$F_{цб} = mV^2/R = mV\psi',$$

где  $R$  — радиус разворота.

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

-путевая скорость.

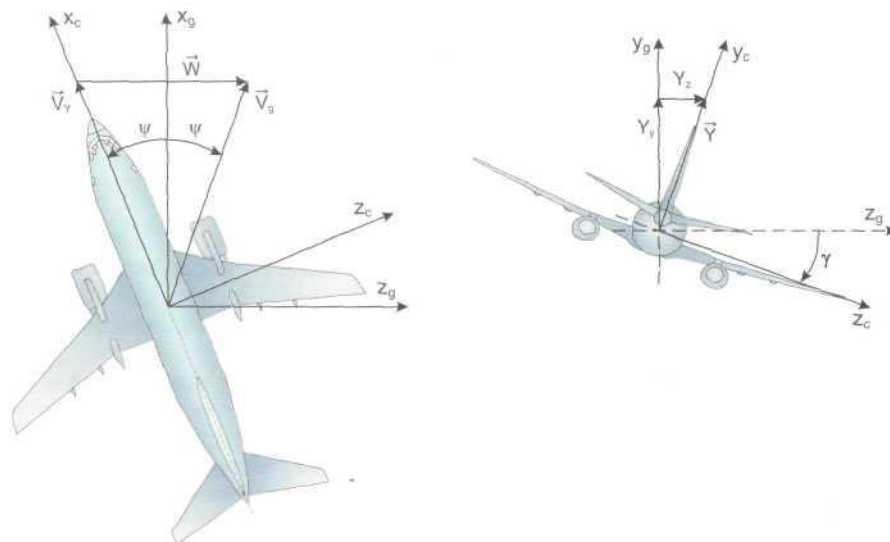


Рис. П.3.1. Параметры движения на воздушном участке

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:

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

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

где  $h$  — высота полета;  $M$  — число Маха;  $W$  и  $\delta_B$  — скорость и направление ветра;  $W_x$ ,  $W_z$  — его составляющие;  $A$  и  $B$  — коэффициенты, равные соответственно  $A = 2,2558 \times 10^{-5} \text{ м}^{-1}$ ,  $B = -2,128$ .

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  $d$ . Так, вместо  $x$  следует писать  $x_g$ , вместо  $V_x$  —  $V_{xg}$  и т. д. Поскольку (если не оговорено особо) в дальнейшем используется исключительно нормальная земная система координат, то нижние индексы, содержащие букву  $d$ , 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  $\gamma_3$ , вертикальной скорости  $V_{y3}$  и приборной скорости  $V_{пр3}$ .

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:

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

где  $\Delta \theta_3$  — заданное изменение угла тангажа;  $W_y$  — вертикальная составляющая скорости ветра;  $T_{y\theta} = \pi V C_y / (180 C_y^\alpha g)$  — постоянная времени;  $C_y$  и  $C_y^\alpha$  — коэффициент подъемной силы и его производная по углу атаки соответственно.

Значение постоянной времени  $T_{y\theta}$  можно оценить по формуле  $T_{y\theta} = K_\theta V$ , где  $K_\theta = 0,01 + 0,03 c^2/m$ .

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.

*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 и известна 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  $\psi$  — угол пути (или путевой угол);  $V$  — путевая скорость;  $a$  — продольное ускорение.

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

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  $V_{yg}$  из рассмотрения можно исключить; если к тому же пренебречь сжатием рессор и обжатием пневматиков шасси, то можно не учитывать малоизменяющиеся координаты  $\gamma, \omega_x, \nu$  и  $\omega_z$ .

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, в свою очередь, зависящей от углов крена и тангажа автомобиля. Силы сцепления не только обуславливают силы сопротивления движению (и торможения), но и влияют на «занос» автомобиля, при котором появляются углы увода  $\theta$  (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 0 на рис. П.3.3) и все точки подвижного объекта, рассматриваемого как твердое тело, имеют одинаковую скорость вращения вокруг центра осу а их линейные скорости различны.

В качестве скорости движения  $V$  подвижного объекта удобно принять скорость точки С, т. е. среднюю величину скорости задних колес  $V = (V_{зп} + V_{зл})/2$ ; в этом выражении  $V_{зп}$  и  $V_{зл}$  — скорости заднего правого и левого колес соответственно. Вектор  $V$  направлен по оси симметрии.

Из элементарных геометрических соотношений следует, что радиус разворота  $R$  точки С равен  $R = l \operatorname{tg} \delta_0$ , где  $l$  — база транспортного средства;  $\delta_0$  — 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

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

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

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.

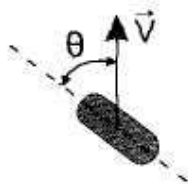


Рис. П.3.2. Угол увода колеса

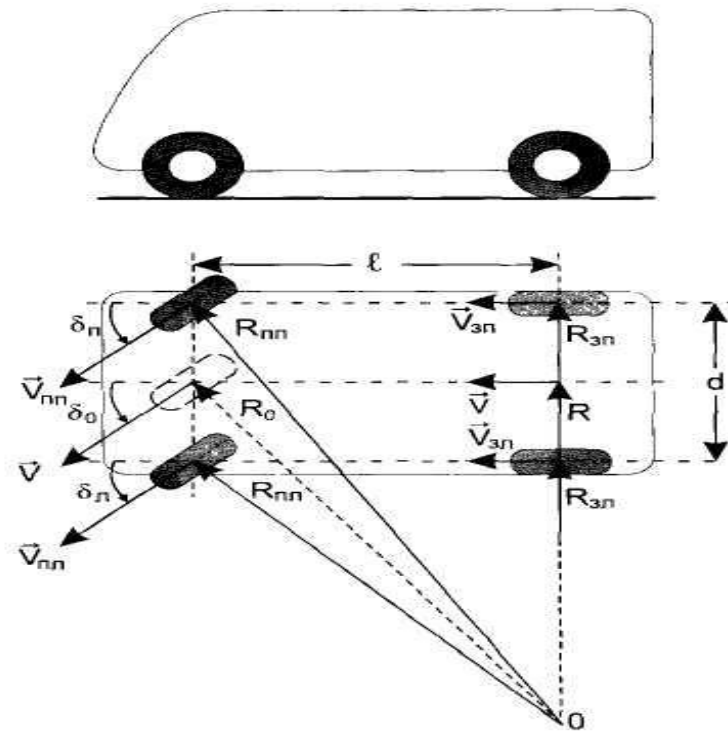


Рис. П.3.3. Параметры траектории наземного движения

Заметим, что путевой угол  $\psi$  представляет собой угол разворота вектора скорости  $V$ .

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  $\delta_0$ , определяются выражениями:

$$\delta_{п} = \text{arctg}(\text{ctg } \delta_0 + 0,5d/l), \quad \delta_{л} = \text{arctg}(\text{ctg } \delta_0 - 0,5d/l),$$

где  $d$  — колея шасси.

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

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

$$R_{пп} = l/\sin\delta_{п}, \quad R_{лп} = l/\sin\delta_{л}, \quad R_0 = l/\sin\delta_0, \quad R_{зп} = R + 0,5d, \quad R_{зл} = R - 0,5d.$$

Поступательные скорости получаются умножением соответствующих радиусов на угловую скорость разворота  $\omega_y$ .

#### Приложение 4

### 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  $I$ , содержащейся в 1-м сообщении, о наступлении одного из этих событий принята величина, вычисляемая по формуле:

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

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  $P_j$ ,  $i = 1, N$ ,

причем события образуют полную группу и, следовательно,  $\sum_{j=1}^N P_j = 1$ , 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  $\zeta_{l_0} = Nn = n \cdot 2^n$ .

Если алфавит состоит из  $m$  символов (основание системы равно  $m$ ), то выражения для количества информации в одном сообщении  $\zeta_i$  и общего объема информации  $\zeta_0$  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, измеряемую 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.

Характеристика сообщений при наблюдении за воздушным движением

Таблица П 5 1 Состав и длина сообщений при автоматическом зависимом наблюдении (данные Комитета FANS)

| № п/п                 | Параметры                           | Дисциплина передачи |            | Дискретность | Длина, бит |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------|------------|--------------|------------|
|                       |                                     | постоянно           | по запросу |              |            |
| <i>Основные</i>       |                                     |                     |            |              |            |
| 1                     | Координаты (широта, долгота), °     | +                   | -          | 0,0125       | 42         |
| 2                     | Высота, м                           | +                   | -          | 2,4          | 16         |
| 3                     | Время, с                            | +                   | -          | 0,125        | 15         |
| 4                     | Показатель качества                 | +                   | -          |              | 16         |
| 5                     | Опознавательный индекс              | -                   | +          |              | 48         |
| 6                     | Поле активизации                    | -                   | +          |              | 16         |
| <i>Расширенные</i>    |                                     |                     |            |              |            |
| 7                     | T-экстраполированные координаты, °  | -                   | +          | 0,0125       | 42         |
| 8                     | T-экстраполированная высота, м      | -                   | +          | 2,4          | 16         |
| 9                     | 2T-экстраполированные координаты, ° | -                   | +          | 0,0125       | 42         |
| 10                    | 2T-экстраполированная высота, м     | -                   | +          | 2,4          | 16         |
| 11                    | Курс, °                             | -                   | +          | 0,1          | 13         |
| 12                    | Приборная скорость, км/ч (число M)  | -                   | +          | 1 (0,001)    | 14         |
| 13                    | Вертикальная скорость, м/с          | -                   | +          | 0,08         | 12         |
| <i>Дополнительные</i> |                                     |                     |            |              |            |
| 14                    | Скорость ветра, км/ч                | -                   | +          | 2            | 9          |
| 15                    | Направление ветра, °                | -                   | +          | 0,7          | 9          |
| 16                    | Температура, °C                     | -                   | +          | 0,25         | 12         |

*Примечания* Кроме того, в состав сообщений входят оценка качества (точности и «достоверности»), регистрационный номер плана полета указание какие из параметров передаются по запросу

Таблица П 5 2 Периодичность передачи информации с бортов ВС при АЗН (по данным Комитета FANS)

| Приоритет | Ситуации   | Период, с | Доля в общем потоке, % |
|-----------|--|-----------|------------------------|
| I         | A <sub>7</sub> , A <sub>8</sub> , A <sub>9</sub> , A <sub>10</sub> | 5         | 9                      |
| I         | A <sub>2</sub> , A <sub>3</sub>                                    | 7         | 9                      |
| II        | A <sub>4</sub> , A <sub>5</sub> , A <sub>6</sub>                   | 30        | 6                      |
| III       | A <sub>1</sub>   | 180       | 76                     |

*Условные обозначения* A<sub>1</sub> — полет по прямолинейному участку трассы без тенденции к нарушению границ, A<sub>2</sub> — маневр в горизонтальной плоскости, A<sub>3</sub> — маневр в вертикальной плоскости (смена эшелона), A<sub>4</sub> — тенденция к нарушению границ трассы (установленного маршрута), A<sub>5</sub> — нарушение границы трассы, A<sub>6</sub> — тенденция к нарушению установленных норм эшелонирования, A<sub>7</sub> — нарушение установленных норм эшелонирования, A<sub>8</sub> — полет в особых условиях, A<sub>9</sub> — особые случаи в полете, A<sub>10</sub> — полеты, требующие специального контроля

План реализации стратегии CNS/ATM

Таблица П 6 1 Стратегические действия по этапам полета

| Цель   | Стратегические действия  | Сроки исполнения | Компенсация затрат   | Результаты   |
|--|--|------------------|--|--|
| <i>Стратегическое планирование</i>   |  |                  |  |  |
| Адаптация пропускной способности к потребности при согласовании затрат с выгодой                             | Адаптация пропускной способности УВД и АП в рамках приемлемых требований к безопасности и охране окружающей среды при планировании ИВП | Текущий до 2015  | Пользователи ВП и поставщики услуг (процедурные изменения)<br>Аэропорты (компьютерные устройства для дополнительного планирования слотов)<br>Некоторые инвестиции, необходимые для стандартизации информации AIS и улучшения связи | Средства достижения выгоды на других этапах полета |
|  | Предоставление данных о потребности соответствующим службам (CFMU и аэропорты)   | Текущий до 2010  |  |  |
|  | Предоставление вариантов маршрутов и финансовой информации пользователям ВП  | Текущий до 2015  |  |  |
|  | Предоставление соответствующих человеческих и технических ресурсов   | Текущий до 2015  |  |  |
|  | Раннее взаимодействие между поставщиками услуг, CRCO, аэропортами и пользователями ВП  | Текущий до 2010  |  |  |
|  | Стандартизация национальных AIP  | —                |  |  |
|  | Эффективные HMI и средства доступа к информации AIS  | Текущий до 2005  |  |  |
| <i>Предтактическое планирование</i>  |  |                  |  |  |
| Гарантии удовлетворения потребности и обеспечения гибкости для дополнительных или измененных потребностей ВП | Обеспечение адекватных человеческих и технических ресурсов для удовлетворения потребностей на день полетов                             | Текущий до 2015  | Эксплуатанты аэропортов для систем взаимодействия AIS, MET и ATEM  | Средства достижения выгоды на других этапах полета |
|  | Сотрудничество между АО, УВД, ATFM и администрациями АП для обеспечения гибкости управления пропускной способностью аэропортов         | К 2010           |  |  |
|  | Эффективный доступ к информации AIS  | К 2005           |  |  |

Продолжение табл. П 6.1

| Цель  | Стратегические действия   | Сроки исполнения | Компенсация затрат  | Результаты  |
|---|---|------------------|---|---|
| <i>Тактическое планирование</i>   |   |                  |   |   |
| Предоставление эксплуатантам ВС информации для облегчения планирования полета по маршруту оптимального профиля (траектории) | Объединение информации об ограничениях в ATCC и аэропортах с целью предоставить оптимальную информацию о графиках аэропортов  | Текущий до 2005  | Поставщики услуг и CFMU для повышения возможностей динамичной обработки планов полета<br>Поставщики услуг и аэропорты для улучшенной обработки данных с целью обеспечить гибкость при обработке изменений планов полета | Большая гибкость<br>Оптимальная пропускная способность АП<br>Лучшее качество для пользователей ВП   |
|   | Объединение информации УВД и ATFM со средствами принятия решений для обеспечения оптимальных профилей полета  | Текущий до 2010  |   |   |
|   | Улучшение возможностей FDP для ОДВ и УВД аэропорта — обеспечение оперативных изменений плана полета   | Текущий до 2010  |   |   |
|   | Согласование тактической организации ВП (ASM) и управления потоками воздушного движения (ATFM) с УВД для обеспечения необходимой пропускной способности   | Текущий до 2005  |   |   |
|   | Доступ пользователя ВП к объединенной полетной информации (AIS, MET, ASM и т.д.) меры для предотвращения нарушений при использовании пропускной способности   | Текущий до 2005  |   |   |
| <i>Перед вылетом</i>  |   |                  |   |   |
| Обеспечение летных экипажей оперативными данными, позволяющими подготовить оптимальный полет                                | Включение ATFM, аэропортов, AIS, MET, ATS, AOC и самолетов в диалоговую объединенную систему, представляющую полные данные в режиме реального времени   | Текущий до 2010  | CFMU поставщик услуг и АП для программ/аппаратных средств поддержки объединенной системы  | Оптимизация ресурсов АП (повторное использование пропущенных слотов)<br>Большая гибкость<br>Снижение затрат на полет для эксплуатанта<br>Уменьшение нагрузки на УВД |
|   | Дружественные пользователю HMI и средства доступа к объединенной системе, автоматизированные координация и средства принятия решения для планирования оптимального профиля (например, управление прибытием, вылетом и т.д.) | К 2010           |   |   |
| <i>Вылет — руление</i>  |   |                  |   |   |
| Максимальное использование ВПП для уменьшения времени руления и непрерывного перехода от выхода к взлету                    | Объединение управляющих прибытием, перрона и вылета   | Текущий до 2010  | Аэропорты и поставщики услуг для систем объединенной информации и A-SMGCS<br>Пользователи ВП по требованиям интерфейса системы  | Снижение нагрузки в кабине пилота<br>Лучшее использование пропускной способности АП<br>Лучшее использование ВПП   |
|   | Объединение УВД, ATFM, аэропортов и информации АОС  | К 2010           |   |   |
|   | Соответствующее наблюдение за аэропортом (A-SMGCS, ASDE), где это необходимо  | К 2012           |   |   |

| Цель   | Стратегические действия   | Сроки исполнения | Компенсация затрат   | Результаты   |
|--|---|------------------|--|--|
| <i>Вылет</i>   |   |                  |  |  |
| Плавный и оптимизированный переход от взлета к маршруту при наиболее эффективном профиле | Оптимальные маршруты прибытия и вылета в рамках согласованной экологической политики  | Текущий до 2005  | Поставщики услуг по компьютерным средствам   | Оптимизированные профили полета  |
|  | Лучшая доступность данных о полете в реальном времени от самолетов и АОС              | Текущий до 2010  | Аэропорты и поставщики услуг по системам сравнения информации смежных/близких аэропортов                                   | Повышенная интенсивность прибытия и вылета   |
|  | Средства предсказания и оптимизации профиля полета                                    | К 2008           |  |  |
|  | Средства разрешения конфликта   | К 2008           | Аэропорты по системам определения погоды и сдвига ветра  |  |
|  | Объединенные управляющие вылетом/прибытием в смежных и близких АП                     | Текущий до 2005  |  |  |
|  | Оптимизированный инструментарий АП для определения местных погодных условий           | К 2015           |  |  |
| <i>На маршруте</i>   |   |                  |  |  |
| Сделать этап полета на маршруте этапом непрерывного общего полета                        | Пересмотренная институциональная политика для облегчения работы на всех этапах полета | К 2010           | Поставщики услуг по пересмотренным/новым процедурам и т.д.   | Значительная экономия при эксплуатации совместное влияние улучшений на маршруте и других улучшений |
|  | Взаимодействующие политики ASM, ATS, ATFM и объединенные информационные системы       | К 2015           | Поставщики услуг по системам управления объединенной информацией   |  |
|  | Совместимость бортовых и наземных систем  | К 2010           |  |  |
|  | Динамическое регулирование пропускной способности                                     | Текущий до 2010  | Поставщики услуг по средствам планирования/контроля, поставщики услуг по улучшенным возможностям обработки полетных данных |  |
|  | Средства многосекторной работы и планирования   | К 2005           |  |  |
|  | Средства контроля траектории  | К 2015           |  |  |
|  | Автономное эшелонирование в особых зонах  |                  | Пользователи воздушного пространства по бортовым системам эшелонирования   |  |

| Цель  | Стратегические действия   | Сроки исполнения | Компенсация затрат  | Результаты                                   |
|---|---|------------------|---|--|
| <i>Прибытие</i>   |   |                  |   |  |
| Максимальное использование ВПП и обеспечение плавного и непрерывного перехода от маршрута к этапу прибытия с использованием самого эффективного профиля | Оптимизированные маршруты прибытия и вылета в рамках согласованной экологической политики             | К 2005           | Поставщики услуг по компьютерным средствам                      | Оптимизированные профили полета              |
|   | Лучшая доступность данных о полете и реальном времени от самолета                                     | К 2010           |   |  |
|   | Средства предсказания и оптимизации профиля полета  | К 2005           | Аэропорты по системам определения погоды и сдвига ветра         |  |
|   | Средства разрешения конфликтов  | К 2008           |   |  |
| Согласование различных приоритетов приземления ВС   | Объединенные управляющие вылетом/прибытием в смежных или близких аэропортах                           | К 2008           | Аэропорты по средствам приземления категории I/II/III           | Повышенная интенсивность прибытия и вылета   |
|   | Средства измерения и упорядочения   | К 2008           |   |  |
|   | Общность средств посадки  | К 2010           |   |  |
|   | Оптимизированный инструментарий аэропорта для определения местных погодных условий                    | К 2008           |   |  |
| <i>Прибытие — руление</i>   |   |                  |   |  |
| Обеспечение минимального времени руления и плавного перехода от ВПП к выходу  | Объединение управляющих прибытием, перрона и вылета   | К 2015           | Аэропорты и поставщики услуг для систем объединенной информации | Оптимизированные профили полета              |
|   | Объединение УВД, ATFM, аэропортов и информации АОС  | К 2012           |   |  |
|   | Соответствующее наблюдение за аэропортом (A-SMGCS, ASDE), где необходимо                              | К 2012           | Пользователи ВП по системам интерфейса                          |  |
| <i>После полета</i>   |   |                  |   |  |
| Обеспечение единого авторитетного источника данных о завершенных полетах  | Единая сетевая база полетных данных для архивных планов полета и изменения на основе реальных событий | К 2005           | Центральные органы (CFMU/CRCO)                                  | Снижение затрат в процессе назначения сборов |
|   | Обеспечение эффективной и последовательной системы сборов при самых низких возможных затратах         | К 2005           |   |  |
| <i>Примечание</i> Указанные в таблице сроки являются приблизительными и отражают последовательность осуществления этапов                                |   |                  |   |  |



Таблица П 6 2 Изменение ролей и ответственности

| Период    | Пилот   | Диспетчер  | Эксплуатант ВС   |
|-----------|---|--|--|
| До 2005 г | <p><b>Ответствен:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>за проведение полета и инициирование изменений в плане</li> </ul> <p><b>Обстановка:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>с навигацией, основанной на системах RNAV</li> <li>большой выбор располагаемых траекторий по свободным маршрутам в верхнем ВП при должном оборудованном самолете</li> <li>при RT используем как основная связь с диспетчером, и с начальными применениями канала связи борт—земля</li> <li>улучшенный HMI в кабине пилота с некоторыми автоматизированными вводами в FMS</li> </ul> | <p><b>Ответствен:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>за эшелонирование</li> <li>за определенный фиксированный сектор воздушного пространства</li> </ul> <p><b>Обстановка:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>в значительной степени неизменная команда управления</li> <li>автоматизированная координация и передача</li> <li>RT как основное средство связи с пилотом, но начальные применения канала связи борт—земля</li> <li>электронные ВПП во многих органах</li> <li>возросшая уверенность в компьютерных средствах для контроля и предупреждения КС</li> <li>растущий акцент на планирование с устранением конфликтов</li> <li>управляющий прибытием для упорядочения самолетов в основных аэропортах</li> </ul> | <p><b>Ответствен:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>за предварительное планирование полетов</li> </ul> <p><b>Обстановка:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>несколькими автоматизированными каналами с CFMU MET и AIS</li> <li>большой выбор при изменении маршрутов</li> <li>ранее CDM</li> </ul>  |
| До 2010 г | <p><b>Ответствен:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>за проведение полета и переговоры об изменениях траектории с диспетчером на земле, в ряде случаев совместно с АОС</li> <li>за эшелонирование в определенной обстановке (набор высоты, маршруты одного направления) при должном оборудовании самолета</li> </ul> <p><b>Обстановка:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>с меньшей уверенностью в RT и со многими стандартными сообщениями, обмениваемыми по каналу связи</li> </ul>   | <p><b>Ответствен:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>за эшелонирование самолета за исключением ограниченных и определенных обстоятельств</li> <li>за определенный фиксированный сектор воздушного пространства, но границы являются предметом изменения в соответствии со схемами движения</li> </ul> <p><b>Обстановка:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>с постепенным упором на планирование а не на тактическое вмешательство</li> </ul>   | <p><b>Ответствен:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>за предварительное планирование полетов и изменение маршрутов</li> </ul> <p><b>Включен:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>в выбор маршрутов и изменение траектории в полете</li> <li>в прямые переговоры с УВД и самолетом при динамических изменениях маршрута и расписания (некоторые эксплуатанты)</li> </ul> <p><b>Обстановка:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>с автоматизированными каналами с CFMU, MET, AIS и УВД и аэропортами</li> </ul> |

|           |  |   |   |
|-----------|--|---|---|
|           | <ul style="list-style-type: none"> <li>с большей уверенностью в методах траекторий полета 4D и навигации, использующей спутниковые системы</li> <li>с объединенной FMS с автоматизированными входными данными об изменении маршрута на многих самолетах</li> <li>с ранним вводом возможностей ASAS с улучшенными дисплеями осведомленности о положении на некоторых самолетах</li> <li>с большей уверенностью в системах кабины пилота для наземного движения в аэропортах</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>с меньшей уверенностью в RT и со многими стандартными сообщениями, обмениваемыми по каналу связи</li> <li>с автоматизированным обменом большинством данных между органами и с электронными ВПП в большинстве органов УВД</li> <li>с растущей уверенностью в средствах планирования и компьютерной консультации по разрешению проблем</li> <li>с диспетчером, полагающимся на автоматизированное упорядочение слотов для прибытия и вылета в большинстве аэропортов</li> </ul>  |   |
| До 2015 г | <p><b>Ответствен:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>за проведение полета и переговоры об изменениях траектории совместно с АОС</li> <li>за ведение собственного эшелонирования в определенном ВП свободных маршрутов, используя ASAS</li> </ul> <p><b>Обстановка:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>со стандартными сообщениями, передаваемыми по каналу связи со значительно меньшим использованием RT</li> <li>с контролем за изменением большинства траекторий, автоматизированным в рамках FMS</li> <li>с автоматизированными системами, используемыми для наземного движения в аэропорте</li> </ul> | <p><b>Ответствен:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>за эшелонирование самолетов в управляемом ВП</li> <li>за управление организацией движения для обеспечения плавного потока, особенно в пограничных зонах между свободным и управляемым ВП</li> </ul> <p><b>Обстановка:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>акцент на автоматизированное среднесрочное планирование по ряду секторов и контроль неконфликтующих траекторий</li> <li>со стандартными сообщениями, передаваемыми по каналу связи со значительно меньшим использованием RT</li> <li>с диспетчером, полагающимся на автоматизированное упорядочение слотов прибытия и вылета в основных аэропортах</li> </ul> | <p><b>Ответствен:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>за предварительное планирование полетов и изменение маршрутов</li> </ul> <p><b>Включен в прямые переговоры:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>с УВД и самолетом при динамических изменениях маршрута и расписания</li> <li>с УВД, CFMU и аэропортами об изменении времени посадки и взлета самолета</li> </ul> <p><b>Обстановка:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>автоматизированная передача параметров полетов с летящего самолета и динамическая оптимизация траекторий передачи прямо на самолет</li> </ul> |

**Примечание** Цель табличных данных — обратить внимание на ответственность за полет и работу УВД на отдельных этапах. В таблицу вошло лишь то, что непосредственно связано с осуществлением полета. Для более исчерпывающей картины потребуются учет и других составляющих (например, технический персонал), на которые также повлияет ввод новых систем.

## Обзор операционных систем

Рынок операционных систем в настоящее время представляет большой выбор. Условно ОС можно разделить на три группы.

Первая — операционные системы реального времени, такие как QNX, RTLinux. Надо отметить, что фиксированное и гарантированное время реакции на прерывание возможно только в системах реального времени.

Вторая — операционные системы, которые можно объединить под общим названием UNIX. Они сходны в реализации, идеологии построения и отвечают определенным стандартам, например POSIX, что гарантирует переносимость программ. Операционные системы этого типа созданы с учетом многолетнего опыта развития ОС, а также избавлены от многих недостатков операционных систем последней генерации. В качестве примеров таких ОС можно привести SUN Solaris, многочисленные дериваты BSD, Linux, IRIX, SCO Unix. Сходство архитектуры и появление многих ОС с открытым кодом привели к динамичному росту таких операционных систем, при этом повысились производительность и безопасность в плане защиты информации.

Третья группа включает операционные системы OS/2 Warp, Microsoft Windows, Windows NT, Windows 2000, Windows XP, NET. На внутреннем уровне они устроены различно, так как имеют разную генеалогию. Тем не менее в данном контексте они сгруппированы по причине большой распространенности и сходства архитектуры.

Операционные системы реального времени, несомненно, привлекательны. Их главная особенность позволяет несколько иначе взглянуть на проблемы проектирования задач, связанных с ответственными применениями. Пожалуй, лучший представитель — QNX имеет очень неплохую поддержку и производительность, а наличие графических интерфейсов (Photon) и хорошей многозадачности делает его одним из фаворитов. В то же время ему присущи недостаток средств разработки, особенно в графических приложениях, и очень высокая цена. RTLinux представляет собой вариант известной операционной системы с ядром, модифицированным для применения в системах реального времени. Он не отличается высокой ценой, но имеет значительно меньшую распространенность и поддержку.

«UNIX-совместимые» операционные системы в большинстве своем отвечают нашим критериям, однако надо заметить, что коммерческие системы хотя и достаточно дороги, но обеспечены хорошей поддержкой, а свободно распространяемые ее практически не имеют. В отношении графики существуют многочисленные реализации Windows старого и устоявшегося стандарта, в том числе коммерческие. Последние часто предоставляют большие возможности и лучше используют современные графические акселераторы. В данных операционных системах особенно остро стоит вопрос многозадачности и безопасности, ограниченность которых нередко приводит к падению производительности. Многие ОС этой ветви предназначены преимущественно для серверных применений. Надо признать, что из-за малой распространенности этих ОС на компьютерах IBM PC имеется недостаток средств разработки, а также далеко не всегда своевременно поддерживается новая аппаратура. Сетевые службы этих ОС очень хорошо развиты, хотя и достаточно сложно настраиваются. Следует отметить, что относительная сложность настройки и конфигурации операционных систем этого клона, равно как и предыдущего, играет свою негативную роль.

Однопользовательская операционная система OS/2 Warp фирмы IBM отличается хорошей производительностью и многозадачностью. Существует масса информации и программного обеспечения. Ввиду упавшей в последнее время популярности имеются задержки с драйверами. К сожалению, поддержка данной ОС не так давно закончена фирмой IBM, а планы на ОС AURORA пока не вполне ясны.

Windows NT, воспринявшая многие положительные качества от OS/2, Windows разных версий и UNIX, представляет несомненный интерес. Windows NT унаследовала от AT&T UNIX Version 7 и System V (XENIX) общую архитектуру, а впоследствии в сотрудничестве с DEC/VMX было написано ядро ОС, с тех пор претерпевшее мало изменений. Радикальное нововведение по сравнению с классическими UNIX-системами, а именно интегрированная графическая оболочка, дало много

плюсов этой операционной системе. Отметим и некоторые различия в порождении процессов и межпроцессном взаимодействии (IPC). Операционная система отличается достаточной устойчивостью и неплохой многозадачностью, в то же время сохранена совместимость с приложениями Windows/DOS, хороши и просты в настройке сетевые службы Велики объемы программного обеспечения информации о системе в силу распространенности ОС. Недостатка в средствах разработки не наблюдается, да и поддержка производителем осуществляется на высоком уровне. Некоторые недостатки производительности можно компенсировать повышением мощности аппаратного обеспечения.

### Приложение 8

**Таблица адресования стандартных сообщений о движении воздушных судов в центры ОрВД по их подчиненности**

| Зональные центры ЕС ОрВД |                      | Подчиненные центры ЕС ОрВД |                      |                   |                      |                  |                      |
|--------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|------------------|----------------------|
|                          |                      | Двухсекторный РЦ           |                      | Односекторный РЦ  |                      | ВРЦ с правом УВД |                      |
| Место-положение          | Адрес органа ЕС ОрВД | Место-положение            | Адрес органа ЕС ОрВД | Место-положение   | Адрес органа ЕС ОрВД | Место-положение  | Адрес органа ЕС ОрВД |
| Санкт-Петербург          | уллпзdzь             | Калининград                | УМККЗРЗЬ             | Амдерма<br>Котлас | УЛДДЗРЗЬ<br>УЛККЗРЗЬ | Лешуконское      | УЛАЛЗРЗЬ             |
|                          |                      | Архангельск                | УЛААЗРЗЬ             |                   |                      | Нарьян-Мар       | УЛАМЗРЗЬ             |
|                          |                      | Великие Луки               | УЛОЛЗРЗЬ             |                   |                      |                  |                      |
|                          |                      | Вологда                    | УЛВВЗРЗЬ             |                   |                      |                  |                      |
|                          |                      | Воркута                    | УУЫВЗРЗЬ             |                   |                      |                  |                      |
|                          |                      | Мурманск                   | УЛММЗРЗЬ             |                   |                      |                  |                      |
|                          |                      | Петрозаводск               | УЛПБЗРЗЬ             |                   |                      |                  |                      |
|                          |                      | Печора                     | УУЫПЗРЗЬ             |                   |                      |                  |                      |
|                          |                      | Санкт-Петербург            | УЛЛЛЗРЗЬ             |                   |                      |                  |                      |
|                          |                      | Сыктывкар                  | УУЫЫЗРЗЬ             |                   |                      |                  |                      |

### Приложение 9

#### **Пример организации базы данных системы планирования воздушного движения**

Рассмотрим пример организации базы данных для применения в ПП АС УВД. Для начала необходимо определить минимальный набор таблиц данных, необходимых для функционирования ПП АС УВД, куда входят:

- 1) таблица Центрального расписания — для хранения в ней записей о рейсах, выполняющихся регулярно,
- 2) таблица заявок — для хранения записей о рейсах, идущих вне расписания;
- 3) таблица текущего плана полетов — для хранения сборной информации от табл. 1 и 2.

Этих таблиц достаточно для исполнения минимальных требований, предъявляемых к ПП АС УВД. Однако данная БД оказывается замкнутой сама на себя, так как не имеет средств автоматизированного получения данных, и обновление информации в рабочих таблицах возможно только путем ручной коррекции данных. Необходимо обеспечить возможность связи БД с внешним источником информации для автоматического обновления данных. Этим источником может быть сеть АФТН, где циркулирует поток формализованной (ТС ГА) информации о движении воздушных

судов Соответственно для организации шлюза с сетью АФТН необходимо иметь таблицы данных о входящих и исходящих сообщениях:

- 4) таблицу входящих сообщений;
- 5) таблицу исходящих сообщений.

Теперь обновление информации в табл. 1, 2 и 3 будет происходить автоматически при обновлении табл. 4 и 5. Мы видим, что таблицы БД взаимосвязаны между собой. Для того чтобы уяснить логику прохождения информации внутри нашей БД, изобразим на рис. П.9.1 эти связи графически.

Рассмотрим примерную структуру таблиц БД ПП АС УВД.

Таблица Центрального расписания (ЦР) может содержать следующую информацию:

- \* идентификатор записи таблицы Центрального расписания;
- \* название рейса;

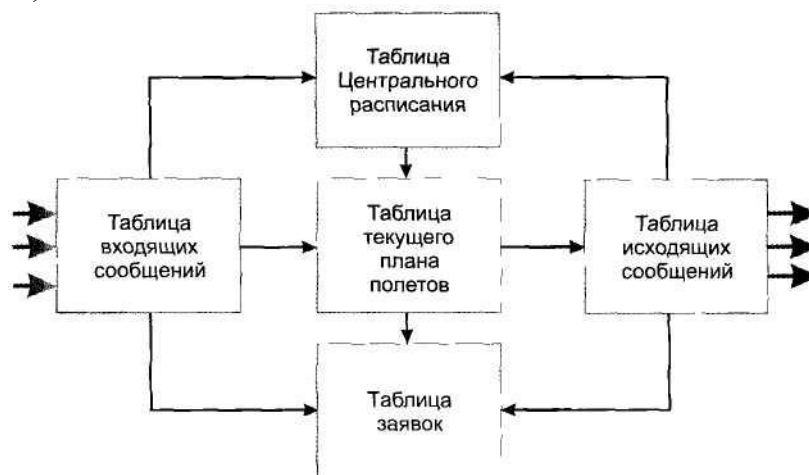


Рис. П.9.1. Логические связи между базами данных

- \* тип воздушного судна;
- \* аэропорт вылета,
- \* время вылета;
- \* аэропорт посадки;
- \* время посадки;
- \* скорость и эшелон полета;
- \* маршрут полета;
- \* даты начала и конца навигации.

Таблица заявок может содержать следующую информацию:

- \* идентификатор записи таблицы заявок;
- \* название рейса;
- \* бортовой номер;
- \* тип воздушного судна,
- \* аэропорт вылета;
- \* время вылета;
- \* аэропорт посадки;
- \* время посадки;
- \* скорость и эшелон полета;
- \* маршрут полета;
- \* дату выполнения.

Таблица текущего плана полетов должна содержать следующую информацию:

- \* идентификатор записи плана полета;
- \* идентификатор записи таблицы заявок;
- \* идентификатор записи таблицы Центрального расписания;
- \* название рейса;
- \* бортовой номер;
- \* тип воздушного судна;

- \* аэропорт вылета,
- \* время вылета;
- \* аэропорт посадки;
- \* время посадки;
- \* скорость и эшелон полета;
- \* маршрут полета;
- \* даты вылета и посадки,
- \* дополнительную информацию.

Таблица входящих сообщений может содержать следующую информацию:

- \* идентификатор записи таблицы входящих сообщений;
- \* идентификатор записи таблицы Центрального расписания;
- \* идентификатор записи таблицы заявок;
- \* идентификатор записи таблицы текущего плана полетов,
- \* информацию об атрибутах сообщения;
- \* текст сообщения.

Таблица исходящих сообщений может содержать следующую информацию:

- \* идентификатор записи таблицы исходящих сообщений;
- \* идентификатор записи таблицы Центрального расписания,
- \* идентификатор записи таблицы заявок;
- \* идентификатор записи таблицы текущего плана полетов;
- \* информацию об *атрибутах* сообщения;
- \* текст сообщения.

Рассмотрим основные принципы функционирования ПП АС УВД на основе предложенной конфигурации БД.

Таблицы связаны по ключевым полям — идентификаторам. Нетрудно заметить, что предложенные таблицы имеют ненормализованную форму, так как налицо избыточность информации в части повторяющихся в таблицах полей. Однако эта избыточность продиктована необходимостью иметь в таблицах, помимо главного ключа — уникального идентификатора, другой ключ — составной. Составной ключ служит для идентификации записи по информации, поступающей в формализованных сообщениях таблиц входящих и исходящих сообщений Набор информации составного ключа может быть достаточно большим, так как чем больше информации, тем с большей степенью вероятности идентифицируется запись Предложим минимальный набор информации составного ключа, который может содержать поля даты вылета, названия рейса и аэропорта вылета.

При поступлении сообщения из сети АФТН в таблицу входящих сообщений заносится новая запись, происходит ее разбор и определяется, к какому типу планирования она относится' регулярному (РПЛ), предварительному (ППЛ) или фактическому (ФПЛ, ДЕП, АРР и т д). Затем происходит распознавание указанных в сообщении даты вылета, названия рейса и аэропорта вылета и в зависимости от типа планирования выбирается необходимая для работы таблица (Центрального расписания, заявок или текущего плана полетов) Далее в выбранной рабочей таблице по составному ключу отыскивается запись, и в случае удачной идентификации происходит обновление найденной записи, а при неудачной идентификации новая запись добавляется в рабочую таблицу. И наконец, в таблицу входящих сообщений заносится прямой идентификатор записи рабочей таблицы, которая подверглась изменению по результатам обработки сообщения.

При передаче сообщения в сеть АФТН в таблицу исходящих сообщений заносится новая запись. Далее обработка происходит по аналогии с вышеописанной процедурой обработки таблицы входящих сообщений.

Записи таблиц Центрального расписания и заявок за текущие сутки переносятся в таблицу текущего плана полетов.

Кроме автоматического обновления таблиц по результатам обработки входящих и исходящих сообщений, необходимо предусмотреть возможность ручного ввода коррекции во все рабочие таблицы на случай обрыва связи с сетью АФТН или некорректной обработки сообщений.

Текущий план полетов, автоматически обновляемый по результатам обработки сообщений о планировании, в виде таблицы предоставляется диспетчеру УВД

Таким образом, диспетчер УВД, пользуясь информацией КСП АС УВД, будет постоянно информирован о текущем состоянии планирования воздушного движения.

## Управление и наблюдение в теории динамических систем

Для того чтобы лучше уяснить смысл и закономерности процессов управления воздушными судами и другими транспортными средствами, рассмотрим некоторые положения теории управляемых динамических систем, к которым относятся все управляемые подвижные объекты

Их движение соответствует вектор-функции времени  $x(t)$  соответствующей системы нелинейных дифференциальных уравнений (в общем случае), которые в векторной форме записываются в виде

$$\dot{x} = f(\bar{x}, \bar{u}, \bar{v}, t), \quad (\text{П.10.1})$$

где  $x$  —  $n$ -мерный вектор фазовых координат (переменных состояния);  $u$  — вектор управляющих воздействий (управлений);  $v$  — вектор возмущающих («мешающих») воздействий соответствующих размерностей.

Штрих означает дифференцирование по времени. Иными словами,  $x' = dx/dt$  означает первую производную от переменной  $x$  по времени (т. е. скорость ее изменения).

В состав компонент вектора  $x$  входят координаты местоположения подвижного объекта (обычно его центра масс), угловые координаты, скорости (линейные и угловые) и ряд других параметров, динамика изменения которых влияет на движение объекта.

Векторная запись — не что иное, как в компактной форме записанная система дифференциальных уравнений первого порядка, число которых равно размерности вектора  $x$  (равно  $n$ ).

*Управление*, по определению, есть воздействие на объект (или процесс), направленное на достижение заданной цели. Для подвижных объектов (таких, как самолеты, вертолеты, автомобили, и других транспортных средств) цель управления состоит в том, чтобы объект двигался по заданной (программной) пространственно-временной траектории  $x_3(t)$ , отклонение от которой может быть вызвано как начальным несоответствием (начальными условиями) в момент времени  $t_0$ , так и действием возмущающих (мешающих) факторов (учитываемых вектором  $v$ ). К примеру, для ВС роль возмущений играет ветер.

Управление движением осуществляется по *обратной связи*, т. е. на борту подвижного объекта замеряются фазовые координаты (или их часть), фиксируется отклонение от заданного движения и по определенному закону (алгоритму) в функции измеренных фазовых координат вырабатывается управление, направленное на устранение возникших отклонений.

Так функционирует бортовая автоматическая система (ВСУП и САУ), подобно этому действует пилот. По этой же схеме вырабатывает команды и диспетчер службы движения.

Процесс получения информации о реализовавшейся пространственно-временной траектории и параметрах движения называют *наблюдением*. Оно осуществляется путем обработки данных, полученных от измерителей. Для надежного и эффективного управления необходимо иметь представление о предыстории процесса. Это позволяет сделать *прогноз*. Однако для точного прогноза надо знать *математическую модель* динамической системы, т. е. систему уравнений (П.10.1) или их приближение. При выработке прогноза (экстраполяции) приходится учитывать факторы неопределенности, вызванные недостаточным числом измерителей, погрешностью измерений и влиянием неизмеряемых величин. Прогноз играет исключительно важную роль при управлении воздушным движением, так как позволяет своевременно обнаруживать потенциально конфликтные и устранять (разрешать) конфликтные ситуации.

## Приложение 11

### Определение информационного множества

Дадим строгое определение понятия информационного множества. Для того чтобы это определение было универсальным, сформулируем его для динамической системы общего вида в предположении, что  $u(t)$  и  $v(t)$  — известные функции, удовлетворяющие ограничениям.

Для такой, замкнутой системы можно полагать, что  $x' = f(x, t)$ , где  $x$  —  $n$ -мерный вектор переменных состояния (фазовых координат),  $f(\bullet)$  —  $n$ -мерная вектор-функция, такая, что для произвольного  $x_0$  существует единственное решение  $x(t)$ ,  $x(t_0) = x_0$ , определенное на отрезке  $[t_0, T]$ .

Пусть возможны измерение и запоминание на этом отрезке  $[t_0, T]$  функции:

$$\chi = g(t, x, \delta).$$

В этом выражении, как и прежде,  $\chi$  —  $m$ -мерный вектор,  $g(\bullet)$  —  $m$ -мерная вектор-функция,  $\delta$  — заранее неизвестный вектор погрешностей измерений.

Известно, что реализации помехи  $\delta(t)$  удовлетворяют некоторым ограничениям, которые оговариваются особо. (Для корректности предполагается также, что функция  $g(\bullet)$  непрерывно дифференцируема по параметру  $\delta$ .)

Пусть на отрезке времени  $[t_0, T]$  наблюдался сигнал  $\chi^*(t)$ .

*Определение.* Множество  $I(T, \chi^*(\bullet))$  называется информационным, если для каждого  $x \in I(T, \chi^*(\bullet))$  найдется такая функция  $\delta(t)$ , удовлетворяющая ранее заданным ограничениям, что решение  $x(t)$ ,  $t_0 \leq t \leq T$  замкнутой системы, найденное для  $x(T) = x$  и  $\delta = \delta(t)$  при всех (или почти всех, т. е. за исключением множества меры нуль)  $t \in [t_0, T]$ , удовлетворяет условию  $\chi(t) = \chi^*(t)$ .

Иными словами, под информационным множеством следует понимать совокупность состояний системы на интервале времени  $[t_0, T]$ , совместных с полученными замерами. Из всего сказанного следует, что информационное множество можно рассматривать в качестве обобщенного состояния. Это определение распространяется и на такие случаи:

\* функции  $u(t)$  и  $v(t)$  заранее не заданы и могут изменяться при  $t \in [t_0, T]$  произвольным образом в пределах ограничений;

\* есть неопределенность в начальных условиях:  $x_0 \in X_0$ ;

\* не все фазовые координаты доступны измерению:  $m < n$ .

Несмотря на кажущуюся простоту этого понятия, в конкретных случаях информационные множества могут иметь сложную структуру.

Для того чтобы получить ИМ, надо построить всевозможные фазовые траектории, совместимые с ограничениями. «Разброс» траекторий может быть достаточно велик, а информационное множество при этом может иметь сложную форму. Процесс построения ИМ связан с интегрированием системы дифференциальных уравнений, описывающих динамическую систему. Оболочку ИМ получают с помощью численных методов, строя ее по точкам или аппроксимируя выпуклыми многогранниками (на плоскости многоугольниками). В процессе построения ИМ опорные плоскости, образующие грани, передвигаются в соответствии с решением дифференциальных уравнений.

В результате получают *информационное множество прогноза* на определенный момент времени (МП), из которого при получении очередного замера «высекается» информационное множество на соответствующий момент времени.

Информационные множества, о которых шла речь выше, строятся в фазовом пространстве динамической системы и называются ИМ общего вида.

Информационные множества частного вида получают следующим образом. Рассмотрим одну из фазовых координат, обозначив ее буквой  $\zeta$ . Допустим, что ее изменение во времени можно в среднем описать некоторой функцией  $\phi(c, t)$ , где  $c$  — вектор ее параметров (она и называется описывающей). Пусть в результате наблюдения за изменением этой координаты в момент времени  $t_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ , получены замеры  $\chi_i$ . Эти замеры, как правило, отличаются от истинных значений координаты  $\zeta_i$ , которые она принимает в те же моменты времени. Отклонения  $\delta_i$ , определяющие разброс замеров, могут быть вызваны, вообще говоря, как погрешностями измерений, так и неточностью описания реального движения функцией  $\phi(c, t)$ . Таким образом, мы приходим к понятию информационного множества частного вида в пространстве параметров описывающей функции, а именно компонент  $c_0, c_1, \dots, c_m$  вектора  $c$ . Такие множества при геометрических ограничениях на величины  $\delta_i$  обязательно представляют собой многогранник, а строить их в пространстве параметров описывающей функции оказывается значительно проще, нежели ИМ общего вида в фазовом пространстве.



## Методы приближения функции измерений

Метод наименьших квадратов (м.н.к.) относится к классическим методам аппроксимации (приближения) функций и явился основой получивших наибольшее распространение в системах АС УВД алгоритмов сглаживания координат и параметров движения (составляющих путевой скорости).

Для функции измерений  $f_u(t)$ , заданной своими значениями (измерениями)  $f_u = \chi(t_i)$  в моменты времени  $t_i, i = 1, N$ , и описывающей функции известного вида  $\bar{\varphi}(\mathbf{c}, t) = \sum_{j=1}^m c_j \varphi_j(t)$  задается функция отклонений  $E_m$ :

$$E_m = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (f_{u_i} - \bar{\varphi}(\mathbf{c}, t_i))^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (\chi_i - \sum_{j=1}^m c_j \varphi_j(t_i))^2. \quad (\text{П.12.1})$$

Множитель 1/2 введен для упрощения вида уравнений, используемых в этом методе, что будет ясно из дальнейшего. Заметим также, что если этот сомножитель заменить на 1/N, то функция в правой части выражения (П.12.1) окажется ничем иным, как средним квадратом отклонений (невязок)

$$\Delta_j^2 = (\chi_j - \sum_{i=1}^m c_i \varphi_i(t_j))^2,$$

определенных на сетке измерений (на рис. П.12.1 невязки показаны как жирные отрезки).

Задача состоит в отыскании такого вектора неизвестных параметров  $\mathbf{c}^0$ , который обеспечивает *наименьшую* величину  $E_m$ :

$$\mathbf{c}^0 \rightarrow \min_{\mathbf{c}} E_m.$$

Таким образом, м.н.к. обеспечивает *наилучшее* приближение по минимуму с.к.п.

Из структуры выражения (П. 12.1) следует, что функция  $E_m(\mathbf{c})$  неотрицательна и строго выпукла вниз. Следовательно, она имеет единственный экстремум, а именно — точку минимума, где ее градиент равен нулю. В силу линейности вхождения в функцию  $E_m$  компонент вектора  $\mathbf{c}$  компоненты ее градиента составляют систему линейных алгебраических функций

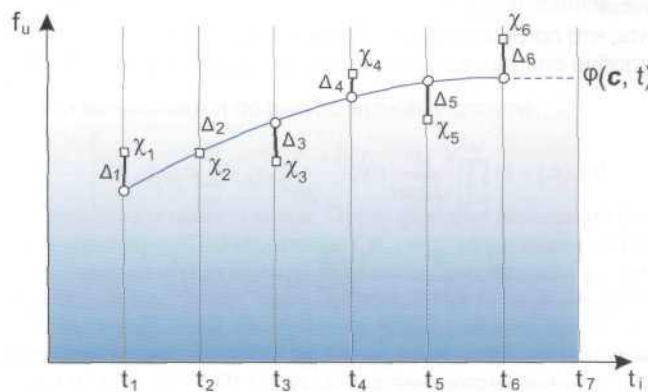


Рис. П.12.1. Приближение функции измерений

$$\frac{d}{dc_j} \left[ \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (\chi_i - \sum_{j=0}^m c_j \varphi_j(t_i))^2 \right] = \sum_{i=1}^N \varphi_j(t_i) (\chi_i - \sum_{j=0}^m c_j \varphi_j(t_i)), \quad j = 0, 1, 2, \dots, m.$$

Приравнивая каждую из компонент градиента функции  $E_T(c)$  к нулю, получаем систему линейных (относительно неизвестных  $C_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ ) уравнений:

$$\sum_{i=1}^N \varphi_j(t_i) (\chi_i - \sum_{j=0}^m c_j \varphi_j(t_i)) = 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, m. \quad (\text{П.12.2})$$

Пусть описывающая функция представляет собой полином первой степени  $\phi(c, t) = P_1 = c_0 + c_1 t$ . Тогда система (П.12.2) состоит из двух уравнений:

$$\begin{aligned} Nc_0 + c_1 \sum_{i=1}^N t_i &= \sum_{i=1}^N \chi_i, \\ c_0 \sum_{i=1}^N t_i + c_1 \sum_{i=1}^N t_i^2 &= \sum_{i=1}^N \chi_i t_i. \end{aligned}$$

Аналогичная система (но уже из трех алгебраических уравнений) может быть получена для полинома второй степени  $P_2 = c_0 + c_1 t + c_2 t^2$ .

Следует обратить внимание на тот факт, что метод наименьших квадратов не предполагает знания каких-либо вероятностных характеристик процесса измерения и поэтому обладает высокой степенью общности.

*Метод максимального правдоподобия (м.м.п.)* в отличие от м.н.к. исходит из предположения, что известны вероятностные свойства процесса наблюдения, а именно из того, что ошибки измерений представляют собой последовательность случайных, одинаково распределенных, независимых величин с плотностью распределения вероятностей  $p(\chi, \phi(c, t)) = p(\chi, c)$ , где  $c$  имеет смысл параметра сдвига.

По определению, *функция максимального правдоподобия*  $L(c)$  вычисляется по формуле

$$L(c) = \prod_{i=1}^N p(\chi_i, c).$$

Оптимальная оценка  $c^0$  должна доставлять *максимум* функции правдоподобия и называется *М-оценкой*.

Если допустить, что погрешности измерения подчиняются нормальному закону распределения, то удобно оперировать не самой функцией правдоподобия, а ее логарифмом:

$$\begin{aligned} \ln L(c) &= \ln \prod_{i=1}^N \left[ \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} (\chi_i - \sum_{j=0}^m c_j \varphi_j(t_i))^2\right) \right] = \\ &= N \ln \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N (\chi_i - c_j \varphi_j(t_i))^2. \end{aligned} \quad (\text{П.12.3})$$

где  $\sigma^2$  — дисперсия погрешности измерения, которая предполагается постоянной

Сравнивая полученные выражения с формулой (П.12.1), из м.н.к. легко установить их аналогичность (с точностью до постоянных множителей и дополнительного слагаемого, являющегося по условию константой).

Тем самым показана известная эквивалентность м.н.к. и м.м.п. в случае, если погрешность измерений распределена по нормальному закону. Содержательный смысл оценивания по методу максимального правдоподобия состоит в следующем построить описывающую функцию с минимальной вероятностью отклонений

В методе наименьших квадратов это условие имеет смысл минимума суммы квадратов этих отклонений

Оптимальные в указанном смысле оценки, найденные в результате решения системы уравнений для  $n$ -го ( $2 < n < N$ ) отсчета при замерах с постоянным периодом  $T_0$ , когда  $t_i = i T_0$ , имеют вид.

$$c_0 = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (2n+1-3i)\chi_i,$$

$$c_1 = \frac{6}{T_0 n(n^2-1)} \sum_{i=1}^n (3i-n-1)\chi_i,$$

$$\bar{c}_n = c_0 + c_1 n T_0 = \frac{2}{n(n+1)} \sum_{i=1}^n (3i-n-1)\chi_i,$$

где  $\zeta_n$  — оптимальная оценка координаты  $\zeta$  на момент времени  $t_n = nT$  (напомним, что под  $\zeta$  можно понимать одну из трех координат  $x$ ,  $y$  или  $z$ )

Оценка  $\zeta_n$  получила название *сглаженного* значения координаты на интервале времени  $[t_1, t_n]$ . При этом учитывались все предшествующие замеры, начиная с первого, а также и очередной,  $n$ -й замер.

Соотношения для коэффициентов сглаживания имеют вид:

$$\alpha = \frac{2(2q_T - 1)}{q_T(q_T + 1)}, \quad \beta = \frac{6}{q_T(q_T + 1)}, \quad \alpha_0 \leq \alpha \leq 1, \quad \beta_0 \leq \beta \leq 1,$$

где  $\alpha_0$  и  $\beta_0$  соответствуют ограничениям на максимальное значение.

При постоянном периоде обзора  $T_0$  точечные (сглаженные) значения координат вычисляются по формуле:

$$x_{c_k} = x_{e_k} + \alpha(\chi_k - x_{e_k}),$$

где  $\chi_k$  — замер на  $k$ -м обзоре,  $x_{c_k}$  — сглаженное значение координаты;  $x_{e_k}$  — экстраполированное значение координаты, вычисленное на предыдущем,  $k-1$ -м шаге:

$$x_{e_k} = x_{c_{k-1}} + V_{x_{k-1}} T_0.$$

Оценка скорости вычисляется по рекуррентной формуле

$$V_{x_k} = V_{x_{k-1}} + \beta(\chi_k - x_{e_k})/T_0.$$

*Наилучшее равномерное приближение.* Пусть функция измерений  $f_u(\bullet)$  задана лишь на сетке — узлами (замерами)  $\zeta_k$ . Таким образом  $f_u(t_k) = \zeta_k$ , а при значениях  $t$  между измерениями  $t_{k-1} < t < t_k$  ее поведение может быть любым, но согласованным с определенными заранее свойствами (которые выступают, таким образом, в роли ограничений разнообразия).

По определению, полином наилучшего равномерного приближения (п.н.п.) для функции  $f_u$  называется такой полином  $P_m^0$ , для которого имеет место соотношение:

$$E_m = \inf_c \left\| f_u - P_m^0 \right\| = \inf_c \max_{t \in T} \left| f_u(t) - \sum_{j=1}^m c_j \phi_j(t) \right|. \quad (\text{П.12.4})$$

Справедливо следующее *утверждение*. Если  $K = \left\{ \sum_{k=1}^n c_k \phi_k \right\}$  — чебышевское подпространство линейного нормированного пространства и максимальная величина погрешности измерений ограничена по модулю  $\max |\delta(t_i)| = \mu > 0$ , то для любой последовательности измерений  $f_u(t_i)$ ,  $i = \bar{1}, \bar{N}$  при  $N \geq n + 1$  полином наилучшего равномерного приближения задает траекторию, принадлежащую множеству допустимых, и притом единственную. Если же, кроме того, наилучшее приближение составляет  $E_m = \mu$  п.н.п. дает истинную траекторию, т.е.  $P_m^0 = f_u^0$ , где  $f_u^0$  — измерения при погрешностях  $\delta_i = 0$ ,  $i = \bar{1}, \bar{N}$ . При этом трубка допустимых траекторий состоит из одной траектории. Доказательство этого утверждения построено на следующем известном соотношении для любых  $k_i \in \mathbb{R}^1$ ,  $i = \bar{1}, \bar{N}$ :

$$\max_{1 \leq i \leq N} k_i = \inf \{ \eta : k_1 \leq \eta, k_2 \leq \eta, \dots, k_N \leq \eta \}.$$

Исходя из определения наилучшего приближения и учитывая это соотношение, сделаем следующие преобразования:

$$E_m = \inf_c \max_{i=1, N} |f_u(t_i) - c^T \varphi(t_i)| = \inf_c \inf_{f - c^T \varphi \leq \eta} \eta, \quad (\text{П.12.5})$$

где  $T$  – знак транспонирования.

Таким образом, задача построения п.н.п. сводится к задаче линейного программирования с целевой функцией  $\rho = \min \eta$  и ограничениями:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m (c)_j \varphi_j(t_i) \leq f_u(t_i) + \eta, \\ \sum_{j=1}^m (c)_j \varphi_j(t_i) \leq -f_u(t_i) + \eta. \end{cases} \quad (\text{П.12.6})$$

(Наилучшее равномерное приближение может быть осуществлено и с помощью других численных методов.)

## Приложение 13

### Метод I-оценивания

Подход к проблеме оценивания использует построение информационных множеств в пространстве параметров описывающей функции  $B$  связи с этим метод будем называть *методом I-оценивания*. Суть его состоит в получении оценок размеров информационной трубки, куда с необходимостью должны укладываться все траектории, называемые *допустимыми* (т. е. совместные с выборкой и априорными ограничениями). Заметим, что под траекторией очевидно следует понимать функцию  $\zeta(t)$  Полагая «равноправность» координат  $x$  и  $y$ , все выкладки будем делать для  $x$ .

Пусть истинное значение координаты  $x(t)$  изменяется во времени в соответствии с описывающей функцией известного вида, а именно с полиномом  $P_m$ :

$$x(t) = \varphi(c^0, t) = \sum_{j=1}^m c_j^0 \varphi_j(t) = P_m. \quad (\text{П.13.1})$$

Замер  $\chi_i$ ,  $1 \leq i \leq N$ , назовем *достоверным*, если выполняется включение:  $\varphi\{c^0, t_i\} \in N_j$ , т. е. истинное значение координаты  $x(t_i)$  входит в множество неопределенности. Будем полагать, что выборка состоит только из достоверных замеров.

Пусть поступили замеры  $\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_k$ ,  $k \leq N$ .

Систему неравенств запишем в следующей форме:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m c_j \varphi_j(t_i) \leq \chi_i + \mu, \\ -\sum_{j=1}^m c_j \varphi_j(t_i) \leq -\chi_i + \mu, \quad i = \overline{1, k}. \end{cases} \quad (\text{П.13.2})$$

Если система линейных неравенств (П. 13.2) совместна (состоит только из достоверных замеров), то при  $k \geq m$  она описывает многогранное множество.

Таким образом, информационное множество параметров  $I_k(c)$  на наборе  $[1, k]$  представляет собой непустое многогранное множество, координаты вершин которого могут быть найдены стандартными методами решения систем линейных неравенств

Справедливо следующее *утверждение*. Система линейных неравенств при  $k \geq m$  задает выпуклое многогранное информационное множество  $I_k(c)$  в  $m$ -мерном пространстве  $R^m$ , причем последовательность  $I_k(c)$ ,  $m \leq k \leq N$ , удовлетворяет включению  $I_k(c) \subseteq I_{k-1}(c)$ , и каждое из них содержит значение вектора  $c^0$ .

Действительно, каждое неравенство, входящее в систему (П. 13.2), задает в пространстве  $R^m$  гиперплоскость, отсекающую полупространство. Пересечение этих полупространств всегда выпукло.

Справедливость включения, гарантирующего невозрастание информационного множества по мере роста числа  $k$ , следует из того, что при каждом очередном измерении к системе (П. 13.2) добавляются два неравенства, задающие пару параллельных гиперплоскостей. Эти гиперплоскости могут только отсекают часть множества  $I_{k-1}(c)$ , но не расширить его.

Наконец, последнее утверждение справедливо, так как по условию выборка содержит только достоверные замеры.

Для того чтобы проиллюстрировать сказанное, рассмотрим типичный случай, когда описывающая функция представляет собой алгебраический полином

$$\varphi(c, t_i) = \sum_{j=1}^{m+1} c_j t_i^{j-1} = P_m. \quad (\text{П } 13.3)$$

Пусть  $T_0 = \text{const}$  (замеры заданы на равномерной сетке). При  $m = 2$  такой полином описывает движение на прямолинейном участке с постоянной путевой скоростью, а при  $m = 3$  — равноускоренное (равнозамедленное) движение, а также достаточно хорошо аппроксимирует разворот на небольшой угол.

Наиболее наглядные результаты получаются при  $m = 2$ , когда полиномописывающая функция имеет вид

$$\varphi(c, t) = c_1 + c_2 \tau, \text{ где } \tau = t - t_0$$

На рис. П.13.1 приведены график изменения функции  $\chi(t_i)$  и соответствующие множества неопределенности замеров, причем звездочками отмечены истинные значения измеряемой координаты  $x$ , точками — замеры  $\chi_i$ .

На рис. П.13.2, а—г показана последовательность построения ИМ на плоскости, из чего видно, что информационное множество для первого замера ( $k < m$ ) представляет собой неограниченную полосу между двумя вертикальными линиями (очевидно, при наличии на момент  $t_0$  данных о возможном диапазоне изменения скорости ИМ будет представлять собой прямоугольник)

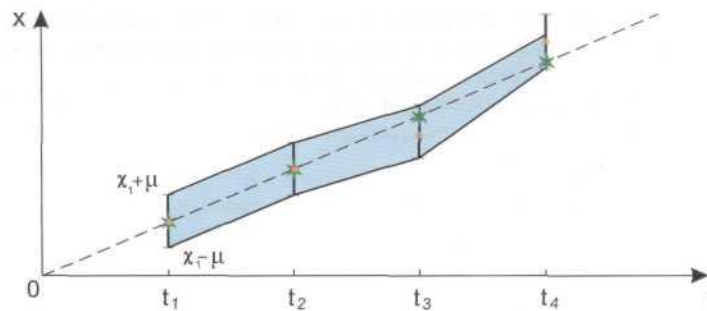


Рис. П. 13.1. Последовательное построение информационного множества для первых двух замеров

При  $k = 2$  второй замер дает наклонную полосу, пересечение которой с множеством  $I_1$  представляет собой параллелограмм. Третий замер отсекает от него часть. При этом с увеличением номера замера наклон полосы и ее ширина уменьшаются. Это происходит в связи с тем, что функция  $\phi_2(\tau_i) = \tau_i$  возрастает.

Перейдем к задаче построения информационной трубки и расчета ее размеров. Размер сечения трубки в момент  $t_k$  определяется верхней и нижней гранями множества  $\Xi_k$  :

$$\sigma_k^+ = \sup_{c \in I_k} \Xi_k; \quad \sigma_k^- = \inf_{c \in I_k} \Xi_k.$$

Таким образом, мы приходим к двум задачам линейного программирования:

1. Отыскать такой вектор  $c^+$ , который доставляет  $\max \varphi(c, t_k)$  при ограничениях (П. 13.2).
2. Отыскать такой вектор  $c^-$ , который доставляет  $\min \varphi(c, t_k)$  при ограничениях (П.13.2).

Задачи решаются стандартными методами линейного программирования.

Искомый размер трубки в момент  $t_k$  задается отрезком  $[\sigma_k^-, \sigma_k^+]$ , где

$$\sigma_k^- = \varphi(c, t_k), \quad \sigma_k^+ = \varphi(c^+, t_k).$$

Очевидно, что размер информационной трубки характеризует степень не снятой неопределенности и в этом смысле может рассматриваться как аналог доверительного интервала для оценки величины  $x(t_k)$ .

В дальнейшем будем предполагать, что функции  $\varphi_i(t)$  упорядочены таким образом, что:

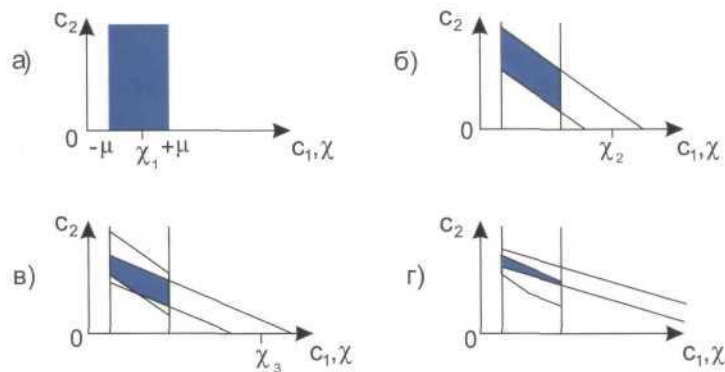


Рис. П.13.2. Шаги построения информационного множества

$$\varphi'_{j-1} \leq \varphi'_j, \quad 1 \leq j \leq m,$$

где  $\dot{\varphi}_j = d\varphi_j / dt, \dot{\varphi}_0 = 0$

Перейдем к исследованию метода построения информационного множества параметров движения.

*Ограниченность.* Если на первом шаге  $i = 1$  (какая-либо исходная информация отсутствует), то система ограничений состоит из двух неравенств, задающих в  $m$ -мерном пространстве  $R^m$  две параллельные гиперплоскости. В частности, когда полином  $\varphi^0(t)$  алгебраический, т. е. имеет вид, указанный выше, то можно момент первого измерения принять за нуль  $t_1 = 0$ , и тогда эти гиперплоскости окажутся ортогональными оси  $OC_1$  и, стало быть, параллельными остальным осям координат. Система двух неравенств при  $m \geq 2$  в этом случае имеет неограниченные решения. Дабы многогранное множество имело ограниченные решения, необходимо, чтобы система состояла из  $2m$  неравенств. Действительно, для каждого из моментов  $t_i, i > 1$ , наклон гиперплоскостей уменьшается в связи с возрастанием значений функций  $\varphi_i(t)$ . При этом рост тем выше, чем больше величина  $i$ . При  $n = 2$  четырехугольное информационное множество в пространстве  $R^2$  параметров в виде параллелограмма получается на втором ( $i = m = 2$ ) шаге, для  $m = 3$  многогранное множество получается на третьем измерении и т. д.

*Выпуклость.* Это общее свойство таких многогранников. Действительно, каждая гиперплоскость отсекает выпуклое полупространство, и, следовательно, их пересечение также выпукло. Такое свойство, как выпуклость множеств решений, оказывается весьма полезным.

*Сходимость.* После каждого нового измерения в момент времени  $t_k, k > m$ , к системе (П. 13.2) добавляются два новых неравенства. При этом от многогранного множества параметров могут отсекаются «лишние части». Таким образом, многогранник не может «расширяться», а способен только «сужаться». Степень этого «сужения», как нетрудно заметить, зависит от «разброса» помехи, иными словами, от интенсивности «перемешивания» (которое можно рассматривать как «слабый» чебышевский альтернанс).

Как можно показать, информационное множество  $I_k(c)$  содержит вектор  $c^0$ , задающий истинную траекторию, а также вектор  $c^*$  полинома наилучшего равномерного приближения.

Существование и единственность п.н.п. следует из сделанного предположения, что система образующих функций  $\{\varphi_k(\blacksquare)\}$  чебышевская, т. е. удовлетворяет условию Хаара. Из теоремы

Чебышева следует, что существует такой набор точек, называемый чебышевским альтернансом,  $t_p, t_q, \dots, t_r, t_1 \leq t_p < t_q < \dots < t_r \leq t_N$ , для которых выполняется равенство:

$$f_u(t_i) - P_m^0(t_i) = \alpha v_i |f_u - P_m^0|,$$

где  $V_i, i = p, q, \dots, r$  — знакопередающийся ряд,  $|V_i| = 1, v_p v_q = -1$ , а  $\alpha = 1$  или  $\alpha = -1$ .

Отсюда, учитывая ограничения, наложенные на погрешность измерения, следует, что для п.н.п.  $E_m \leq \mu$  и, таким образом,  $\min \eta \leq \mu$ . Следовательно, множество допустимых траекторий включает траекторию, задаваемую п.н.п. Если  $E_m(\hat{f}) \leq \mu$ , то  $\varphi^0(t_j) - P_m^0(t_j) + \delta(t_j) = \alpha v_j \mu$ , что возможно лишь тогда, когда помеха  $\delta(t_i)$  представляет собой знакопередающийся ряд  $\{\alpha \mu, -\alpha \mu, \alpha \mu, \dots\}$ . Отсюда и следует тождество  $P_m^0 \equiv \varphi^0$ .

Легко показать, что если на рассматриваемой сетке амплитуда помехи не превышает величины  $\lambda < \mu$  и имеет место чебышевский альтернанс, то п.н.п. также будет совпадать с траекторией  $\varphi^0$  (и при этом  $E_m = \lambda$ ). При этом размер трубки  $\Xi_k$  траекторий

$$\Delta \sigma = \sigma^+ - \sigma^- = 2(\mu - \lambda).$$

Для общего случая справедлива оценка

$$\Delta \sigma = 2(\mu - E_m).$$

Последнее означает, что чем слабее помеха в данной реализации по сравнению с максимально возможной, тем выше степень неопределенности.

## Приложение 14

### Оптимальные правила остановки

В условиях помех, ошибок измерений и отсутствия достоверной информации о факторах, возмущающих траекторное движение, в характере установления изменений содержится элемент случайности. В теории вероятностей и математической статистике такой ситуации соответствует известная задача о разладке. Двумя основными способами решения этой задачи являются корреляционно-спектральный и последовательный (потраекторный). Наиболее полное развитие и законченность ее решение нашло в разделе математической статистической теории, получившем название статистического последовательного анализа, в котором изучаются оптимальные правила остановки наблюдений. В их основе лежит байесовский подход и вальдовский последовательный анализ. Для этих правил характерны два отличительных свойства.

\* В отличие от классического метода различения двух простых гипотез, а именно метода Неймана—Пирсона (получившего широкое распространение в радиолокации и АС УВД), в котором число замеров (наблюдений) заранее фиксировано, в последовательных процедурах момент прекращения наблюдений (момент остановки, совпадающий с принятием решения) является случайным и определяется в процессе наблюдения.

\* Доказано, что последовательный анализ при проверке двух простых гипотез дает наибольший выигрыш в среднем числе наблюдений по сравнению с любым другим способом различения при тех же вероятностях ошибочных решений (необнаружения и ложной тревоги).

К этому надо добавить, что метод унаследовал полезное качество байесовского подхода, когда апостериорная вероятность (статистика) формируется в процессе наблюдений.

Достоинства метода сделали его крайне заманчивым для использования при обработке информации в системах навигации, наблюдения, измерения, радиолокации, связи и решения задач обнаружения, оценивания, классификации и т. д., что, в свою очередь, привело к появлению многочисленных работ теоретико-прикладного характера. Однако практическое использование математической теории последовательных оптимальных правил остановки ограничивалось трудностями как вычислительного, так и принципиального характера.

Введем необходимую формализацию и сделаем некоторые уточнения.

В соответствии с основной концепцией метода будем рассматривать две гипотезы:



$H_0^{t_k}$  : в момент времени  $t_k$  ускорение  $a = 0$ ,

$H_1^{t_k}$  : в момент времени  $t_k$  ускорение  $a = 1$ .

(Здесь число 0 понимается конкретно, а единица представляет величину  $1 \neq 0$ , которая оговаривается особо.)

Интервал наблюдения будем полагать ограниченным:

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_N\}, \text{ или } T = \{t_i, i = \overline{1, N}\}$$

Будем для простоты рассуждений считать, что в момент  $t_0$  априорная вероятность изменения характера движения  $\pi_0$ , а также априорное распределение момента  $t_0$  изменения характера (модели) движения  $P_\pi = \{\theta = k | \theta > 1\}$ , где  $\theta$  — номер отсчета (по времени), на котором происходит в действительности изменение характера движения; если ускорения до этого не было, то оно появляется (или наоборот). На интервале  $T$ , как будем полагать, это происходит лишь однажды.

В соответствии с теорией оптимальных правил остановки при поступлении каждого нового замера  $\chi_i$ ,  $i \in [1, N]$  необходимо принимать решение о том, какая из гипотез является правильной (т. е. выполняется в данный момент времени).

Для принятия решения следует использовать некоторое решающее правило  $\rho$ , представляющее собой функцию со значениями (0 и 1), соответствующими принятию той или иной гипотезы (теория допускает и наличие третьего значения, которому соответствует решение «не знаю», эквивалентное продолжению наблюдений).

Для выбора решающего правила вводится функция потерь (или выигрыша), позволяющая регулировать вероятность принятия неправильных решений (ложной тревоги и пропуска момента изменения характера движения).

Для нашей задачи в общем виде функцию проигрыша можно представить в виде:

$$w(k, \theta) = \begin{cases} g(\theta - k), & k < \theta; \\ f(k - \theta), & k \geq \theta, \end{cases}$$

где  $g > 0$  и  $f > 0$ .

Средний (байесовский) риск определим формулой:

$$B^p(\pi_0) = \inf M^p[w(k, \theta) + ck],$$

где  $M[\bullet]$  — знак математического ожидания;  $c$  — положительный коэффициент, имеющий смысл «стоимости» измерений.

Наша цель состоит в отыскании оптимального решающего правила  $\rho_0$ , которое, по определению, обеспечивает наименьший байесовский проигрыш (риск):

$$B^{p_0}(\pi_0) = \inf_{\rho \in K} M^p[w(k, \theta) - ck],$$

где  $K$  — множество допустимых правил.

Далее используется следующее свойство оптимальных правил остановки.

Наблюдения следует продолжать до тех пор (момент  $t_k$ ), пока вычисленный для данного подмножества  $[t_1, t_k]$  реализации  $\chi_1^k = \{\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_k\}$  выигрыш  $B_k(\chi_1^k)$  не сравняется со средним наибольшим выигрышем (наименьшим проигрышем)  $B_N(\chi_1^N)$ , который может быть получен от продолжения наблюдений на интервале  $[k, N]$ :

$$k_{opt} = \min[k : B_k(\chi_1^k) = B_N(\chi_1^N)].$$

Для того чтобы реализовать байесовское правило, необходимо в нашем случае решить следующие задачи:

- \* задать функции потерь (выигрыша);
- \* найти статистики, на которых заданы решающие правила, как апостериорные вероятности, вычисляемые на основе наблюдений (измерений) и априорной информации о распределениях момента изменения характера движения;
- \* построить границы, разделяющие области принятия решений.

*Замечание.* В соответствии с сущностью теории оптимальных правил остановки принятое решение следует считать окончательным, что формально может означать прекращение наблюдений. В

рассматриваемых нами задачах принятие решения означает переход на другой алгоритм обработки измерений (построение ИМ в пространстве другой, отличной от прежней размерности, за исключением, конечно, полного прекращения наблюдений за объектом, например, в связи с его выходом из зоны ответственности). После принятия решения процесс обработки вновь поступающей информации может начинаться «с нуля». Однако целесообразно предусмотреть некоторое «перекрытие». Это полезно также и для обнаружения ложных тревог и хотя бы частичной их нейтрализации.

## Приложение 15

### Нормы на тактико-технические характеристики обзорных РЛС АС УВД

Таблица П 15 1 Нормы СЭВ на ПОРЛ

| Параметры ПОРЛ  | Аэродромные РЛС |            | Трассовые РЛС |           |
|---|-----------------|------------|---------------|-----------|
|   | Вариант В2      | Вариант В1 | Вариант Б     | Вариант А |
| <b>Зона обзора РЛС</b>  |                 |            |               |           |
| максимальная дальность действия, км, не менее                                     | 100             | 160        | 250           | 400       |
| максимальная высота зоны обнаружения км не менее                                  | 7               | 12         | 20            | 20        |
| угол обзора в горизонтальной плоскости,   | 360             | 360        | 360           | 360       |
| максимальный угол обзора в вертикальной плоскости, °, не менее                    | 45              | 45         | 45            | 35        |
| дальность действия, км, не менее  |                 |            |               |           |
| на высоте полета 1000 м   | 70              | 90         | 110           | 120       |
| на высоте полета 4500 м   | 100             | 160        | 200           | 240       |
| минимальная дальность действия, км, не более                                      | 1,5             | 1,5        | 5             | 5         |
| Диапазон рабочих длин волн, см  | 23/10           | 23/10      | 23            | 23        |
| Период (темп) обновления информации, с, не более                                  | 4               | 6          | 12            | 12        |
| Средняя квадратическая погрешность изменения дальности по индикатору, м, не более | 350             | 500        | 1000          | 1000      |
| Средняя квадратическая погрешность измерения азимута по индикатору, °, не более   | 1,00            | 1,00       | 1,00          | 1,00      |
| Разрешающая способность по дальности по индикатору, м, не более                   | 350             | 500        | 1000          | 1000      |
| Разрешающая способность по азимуту на средней дальности, °, не более              | 2,0             | 2,0        | 1,5           | 1,5       |

Продолжение табл. П 15 2

| Параметр   | Значение   |            |           |           |
|--|------------|------------|-----------|-----------|
|  | Вариант В2 | Вариант В1 | Вариант Б | Вариант А |
| Вероятность получения координатной и дополнительной информации ВРЛ, не менее   | 0,95       | 0,95       | 0,95      | 0,95      |
| Вероятность искажения дополнительной информации ВРЛ, не более  | $10^{-3}$  | $10^{-3}$  | $10^{-3}$ | $10^{-3}$ |
| Вероятность дробления пакетов не более   |            |            |           |           |
| для ПРЛ  | 0,04       | 0,04       | 0,04      | 0,04      |
| для ВРЛ  | 0,05       | 0,05       | 0,05      | 0,05      |
| Вероятность объединения координатной и дополнительной информации от одного ВС первичного и вторичного каналов РЛК в строке размером 6 угловых дискретов по азимуту и 2 км по дальности, не менее | 0,09       | 0,09       | 0,09      | 0,09      |
| Разрешающая способность, не более  |            |            |           |           |
| для ПРЛ  |            |            |           |           |
| по дальности, м  | 350        | 500        | 1000      | 1000      |
| по азимуту,  | 2          | 2          | 1,5       | 1,5       |
| для ВРЛ  |            |            |           |           |
| по дальности, км   | 1          | 1          | 1         | 1         |
| по азимуту, °  | 1,2        | 1,2        | 1,2       | 1,2       |

Таблица П 15 3 Наземное оборудование РЛК

| № п/п | Параметр   | Значение                |                    |
|-------|--|-------------------------|--------------------|
| 1     | Максимальная дальность действия ВРЛ, км  | 120                     |                    |
|       | аэродромного   | 200                     |                    |
|       | аэроузлового   | 400                     |                    |
| 2     | Минимальная дальность действия км  | 2                       |                    |
| 3     | Зона обзора по углу места,   | 0,5 45                  |                    |
| 4     | Ширина ДНА в горизонтальной плоскости по уровню половинной мощности, °                   | 2,5 5                   |                    |
| 5     | Разрешающая способность ВРЛ, не хуже   | по дальности, км        | 1                  |
|       |  | по азимуту, °           | 1,2 <sub>0,5</sub> |
| 6     | Максимальная ошибка углового положения электрической оси антенны ВРЛ относительно ПРЛ, ° | при встроеном варианте  | 8                  |
|       |  | при автономном варианте | 30                 |
| 7     | Уровень боковых лепестков диаграммы направленности, дБ                                   | -22                     |                    |
| 8     | Подавление сигналов боковых лепестков по ответу в динамическом диапазоне, не менее дБ    | 70                      |                    |
| 9     | Максимальная частота повторения сигналов запроса, Гц                                     | 500                     |                    |
| 10    | Вероятность получения достоверной дополнительной информации, не менее                    | 0,9                     |                    |

Таблица П.15.4. Бортовое оборудование (СО)

| № п/п | Параметр  | Значение                   |                        |
|-------|---|----------------------------|------------------------|
| 1     | ДНА, °:   | в горизонтальной плоскости | Всенаправленная<br>±30 |
|       |   | в вертикальной плоскости   |                        |
| 2     | Мощность передатчика в импульсе, Вт   | 300...800                  |                        |
| 3     | Номинальная чувствительность на частоте 1030 МГц (по 90%-ному срабатыванию), дБ/Вт      | -104                       |                        |
| 4     | Подавление сигналов боковых лепестков по запросу в динамическом диапазоне, не менее, дБ | 50                         |                        |
| 5     | Точность передачи ответчиком показаний высоты пилотажных приборов, м                    | 37,5                       |                        |
| 6     | Наработка на отказ, не менее, ч   | 300                        |                        |

## Приложение 16

### Квантование непрерывных величин. Аналого-цифровое преобразование сигналов и цифровые фильтры

Под *квантованием* непрерывной величины  $x$ , которая может принимать любое значение из интервала  $[x_{\min}, x_{\max}]$ , понимают переход к *дискретной* величине  $\hat{x}$ , имеющей конечное число значений. Различают квантование по времени и по уровню.

*Квантование по времени* величины  $x(t)$  — непрерывной функции заключается в том, что ее отсчеты (замеры) производятся в дискретный момент времени  $t_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ ,  $N \leq \infty$ . Таким образом, функция  $x(t)$  оказывается заданной своими значениями на некоторой *сетке*, которая может быть неравномерной или равномерной. В последнем случае  $t_{i+1} - t_j = h_{ti}$  — дискрета по времени является постоянной и называется периодом отсчета  $T = h_t = \text{const}$ .

*Квантование по уровню* состоит в следующем. Интервал  $[x_{\min}, x_{\max}]$  (диапазон) изменения величины  $x$  с помощью  $M + 1$  уровней  $u_j$ ,  $j = \overline{0, M}$  (включая уровни, совпадающие с крайними значениями  $x_{\min}$  и  $x_{\max}$ ), разделяется на  $M$  непересекающихся отрезков (интервалов квантования)  $[U_0,$

$U_1], [U_1, U_2], \dots, [U_{M-1}, U_M]$ , каждому из которых ставится в соответствие дискретная величина (код)  $c_j$ . Сетка уровней квантования также может быть неравномерной (например, логарифмической) или равномерной. При равномерной сетке шаг называют *квантом* или *дискретой* по уровню

$$h_x = u_j - u_{j-1}, \quad j = 1, M, \quad h_x = \text{const.}$$

Когда величина  $x$  попадает в определенный интервал, квантованной величине присваивается соответствующий код *ближайшего* уровня:

$$\{x \in [u_{j-1}, u_j]\} \rightarrow \{\bar{x} + c_j\}.$$

Процесс квантования по времени и уровню непрерывной функции времени  $x(t)$  иллюстрируется рис. П.16.1.

Переход от непрерывной величины к дискретной, подобно «округлению» чисел, связан с появлением погрешности, которую называют *шумом квантования*. Действительно, используя алгебраическую терминологию, можно сказать, что квантование как переход от непрерывных к дискретным величинам не является взаимно-однозначным отображением, так как одному дискретному значению  $\hat{x}$  соответствует множество непрерывных величин, составляющих интервал квантования.

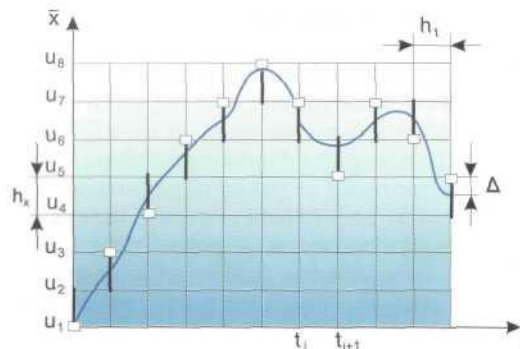


Рис. П.16.1. Квантование по времени и уровню

Формула для дисперсии шума квантования  $\sigma_{\text{кв}}^2$  выводится довольно просто, если предположить, что величина  $\Delta$  является случайной и в пределах дискреты распределена равномерно, т. е. функция плотности распределения  $p(\Delta) = 1/h_x$ .

Тогда, по определению, дисперсия погрешности квантования  $\Delta$  равна:

$$\sigma_{\text{кв}}^2 = \int_{-h_x/2}^{h_x/2} p(\Delta) x^2 dx = \frac{1}{h_x} \int_{-h_x/2}^{h_x/2} x^2 dx = \frac{h_x^2}{12},$$

а среднеквадратическое отклонение (с.к.о.)  $\sigma_{\text{кв}} = \frac{h_x}{2\sqrt{3}}$ .

Преобразование непрерывных (аналоговых) сигналов в дискретные эквиваленты называют *аналого-цифровым*, а электронные микросхемы, выполняющие эти функции, — *аналого-цифровыми преобразователями* (АЦП).

В самом простом случае *бинарного* квантования количество интервалов квантования по уровню  $M = 2$ . Уровень  $u_1$ , разделяющий эти интервалы ( $u_0 < u_1 < u_2$ , где  $u_0 = x_{\text{min}}$ ,  $u_2 = x_{\text{max}}$ ), называют *порогом*, а электронную схему — компаратором или пороговым устройством. На ее выходе имеет место дискретная величина  $\hat{x}$  в форме одноразрядного двоичного числа, принимающего значения 0 и 1.

При числе интервалов более двух ( $M > 2$ ) количество разрядов  $n$  двоичного числа (кода  $K_j$ , на выходе АЦП) определяется так:

$$n = \begin{cases} \lceil \log_2 M \rceil, & \text{если } \lceil \log_2 M \rceil = \log_2 M, \\ \lceil \log_2 M \rceil + 1, & \text{если } 0 < \log_2 M - \lceil \log_2 M \rceil < 1, \end{cases}$$

где  $\lceil \log_2 M \rceil$  — целая часть числа  $\log_2 M$ .

При равномерной сетке уровней ( $h_x = \text{const}$ ) их число определяется соотношением:

$$M \geq (x_{\text{max}} - x_{\text{min}}) / h_x.$$

Очевидно, что рационально выбирать  $h_x$  таким, чтобы число  $M$  было кратным 2. Тогда  $M = 2^n$  и  $n = \log_2 M$ .

В описанном выше аналого-цифровом преобразовании выделяются две операции:

\* квантование или дискретизация, т. е. переход от непрерывных (аналоговых) величин к дискретным;

\* кодирование, состоящее в сопоставлении дискретным объектам соответствующих имен (кодов).

Системы кодирования отличаются большим разнообразием. *Код* — это последовательность символов из конечного алфавита. (С этой точки зрения слова в естественных языках также можно рассматривать как коды.) В ЦВМ для кодирования чисел применяется наиболее простая *позиционная двоичная система*, в которой количество символов алфавита (*основание системы a*) равно двум (алфавит состоит лишь из пары символов — 0 и 1), в отличие от десятичной системы, используемой в повседневной жизни, где алфавит имеет десять символов — цифр.

В позиционной системе «вес» символа зависит от его положения (номера разряда) в коде числа, причем «вес» соседних разрядов различается в  $a$  раз (т. е. в число раз, равное величине основания системы). В двоичной системе в обыкновенном  $m$ -разрядном коде «вес» единицы в младшем разряде равен  $2^0$ , а в старшем он составляет  $2^{m-1}$ . Кроме простоты применению двоичной системы в ЦВМ способствует ее тесная связь с двузначной математической логикой (булевой алгеброй), где *функция истинности переменного высказывания* также может принимать два значения (0 и 1).

Обратное по отношению к аналого-цифровому преобразование называется соответственно цифроаналоговым (ЦАП). В случае, когда эти преобразования выполняются последовательно (например, при цифровой речевой связи), говорят о кодировании-декодировании (сокращенно — *кодек*).

*Цифровые фильтры.* Нерекурсивный цифровой фильтр — это вычислительная процедура без обратной связи, значение сигнала на выходе определяется его значениями на входе в этот и предшествующие  $m$  моменты времени (глубина памяти  $\tau = m$ ):

$$Y(k) = \sum_{i=0}^m B_i \chi(k-i),$$

где  $Y(k)$  — выходные отсчеты;  $B$  — весовые коэффициенты;  $\chi(k-i)$  — входные отсчеты.

Задавая различные коэффициенты  $B$ , можно получить реализацию фильтров с различными видами полиномиальных аппроксимаций. Импульсная характеристика такого фильтра (реакция фильтра на единичный импульс) имеет  $m+1$  отсчет, поэтому такие фильтры называют фильтрами с конечной импульсной характеристикой или КИХ-фильтрами.

Рекурсивный фильтр — это процедура с обратной связью. Значение сигнала на его выходе в любой момент времени определяется значением сигнала на входе в этот и предыдущие  $m$  моменты времени, а также  $n$  его предшествующими значениями:

$$Y(k) = \sum_{i=0}^m B_i \chi(k-i) + \sum_{j=0}^n A_j Y(k-j),$$

где  $\chi(k-i)$  — входные отсчеты;  $Y(k-j)$  — выходные отсчеты;  $A$  и  $B$  — вещественные коэффициенты.

Импульсная характеристика такого фильтра отлична от нуля в бесконечно большом числе точек, поэтому такие фильтры называют фильтрами с бесконечной импульсной характеристикой или БИХ-фильтрами. Применение этих фильтров позволяет в ряде случаев существенно улучшить соотношение сигнал/шум.

Примером рекуррентного цифрового фильтра служит процедура, получившая название  $\alpha$ - $\beta$ -фильтра. Она широко применяется для сглаживания и экстраполяции координат, полученных поданным радиолокационным наблюдением.

Фильтр реализуется относительно несложной компьютерной программой. Для наглядности его можно представить в виде структурной схемы соединений дискретных элементов, выполняющих отдельные операции. На рис. П.16.2 показаны суммирующие элементы (сумматоры), дискретный интегратор, или дигратор (ДИ), роль которого может выполнять накопительный сумматор, запоминающее устройство (ЗУ) — регистр. На схеме также показано умножение на коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$ , а квантование по времени символизирует ключ  $K$ . (Из сказанного следует, что при наличии соответствующих физически реализованных функциональных элементов виртуальная схема может быть воплощена в виде специализированного вычислителя — дискретного автомата.)

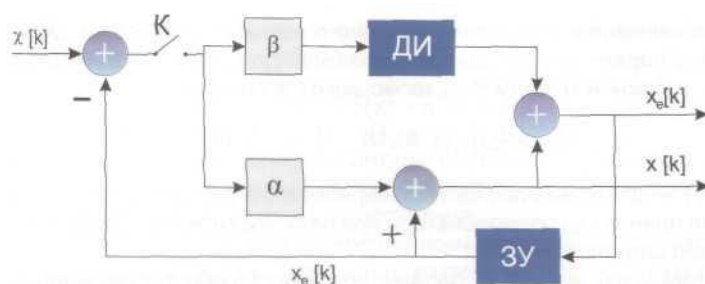


Рис. П.16.2. Структурная схема цифрового  $\alpha$ — $\beta$ -фильтра

В качестве входного выступает квантованный сигнал  $\chi[k]$  с входа АПОИ, где  $k$  — номер периода обзора ОРЛ, а на выходе цифрового фильтра получают сглаженную  $x[k]$  и экстраполированную  $x_e[k + 1]$  координату.

Период обновления информации (отсчета) в  $\alpha$ — $\beta$ -фильтре обычно равен периоду вращения антенны ОРЛ и составляет от 6 до 20 с.

Динамические свойства фильтра зависят от коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$ , причем  $0 < \alpha \leq 1$ ,  $0 < \beta \leq 1$ . Чем меньше  $\alpha$  и  $\beta$ , тем лучше сглаживание, т. е. снижение влияния помех, приводящих к появлению погрешностей измерений. Однако при малых значениях коэффициентов фильтр становится весьма инерционным. Это приводит к затягиванию переходных процессов, возникающих при вводе в сопровождение и изменении характера движения (скорости) наблюдаемого объекта.

Легко показать, что наименьшая длительность переходного процесса имеет место при  $\alpha = \beta = 1$ . При движении с постоянной скоростью точное отслеживание координат происходит уже на третьем отсчете (конечно, при отсутствии помех и погрешностей измерений).

Для постоянных значений коэффициентов  $\alpha = 0,5$  и  $\beta = 0,2$  переходный процесс при тех же условиях заканчивается за 10... 12 отсчетов (периодов обзора РЛС).

## Приложение 17

### Характеристики оптимального обнаружения пакета радиолокационных импульсов

Хорошо разработанные принципы оптимального обнаружения, основанные на статистической теории, позволяют получить решение в «замкнутой форме» лишь в частных случаях. В общем случае приходится применять численные методы с использованием ЭВМ.

Примем для двух основных характеристик — вероятности правильного обнаружения и вероятности ложной тревоги — обозначения  $P_{п.0}$  и  $P_{л.т}$  соответственно.

$$P_{п.0} = f_D(p_s(x, a), \bar{U}), \quad P_{л.т} = f_F(p_v(x), \bar{U}),$$

В дальнейшем рассматривается ситуация, относящаяся к наиболее сложным, когда случайная помеха представляет собой узкополосный шум и, следовательно, единственным ее отличительным признаком может служить функция плотности распределения амплитуд. Пусть задано решающее правило, позволяющее отделить соответствующие гипотезы о наличии или отсутствии полезного сигнала (отметки от цели). Обозначим через  $\bar{U}$  вектор параметров решающего правила. Для вероятностей правильного обнаружения  $P_{п.0}$  и ложной тревоги  $P_{л.т}$  записываются выражения:

где  $p_s(\bullet)$  и  $p_v(\bullet)$  — функции плотности распределения амплитуд сигнала на выходе видеоусилителя приемника радиолокатора при наличии сигнала  $s$  или при его отсутствии;  $a$  — отношение сигнал/помеха.

Вид функций  $f_D$  и  $f_F$  зависит от параметров способа обработки сигналов и их группировки (если речь идет, например, о пакете импульсов). Обычно в качестве основных технико-эксплуатационных характеристик аппаратуры первичной обработки информации (АПОИ) указываются заданные (т. е. обеспечиваемые) значения вероятностей  $P_{п.0}$  и  $P_{л.т}$ , если отношение сигнал/помеха не хуже определенной допустимой величины.

Исходя из этого формулируется задача оптимального обнаружения следующим образом: отыскать такой вектор  $\vec{U}_0$  параметров обнаружения, при котором обеспечивается наименьшее значение отношения сигнал/помеха  $a_0 = \min_{\vec{U}} a$  при выполнении ограничений:  $P_{лг} \leq P_{лг}^0$ ,  $P_{по} > P_{по}^0$ .

Очевидна аналогия с классической задачей оптимального управления. С другой стороны, такая постановка может рассматриваться как задача оптимального обнаружения по критерию Неймана—Пирсона.

Существенным является то, что функции плотности распределения предполагаются известными. Как уже отмечалось выше, в общем случае получить решение в явном виде не удастся. Поэтому рациональный путь решения задачи состоит в применении численных приемов оптимизации, в том числе поисковых алгоритмов.

Практический интерес представляют задачи обработки одиночного (флюктуирующего или нефлюктуирующего) импульса, безвесовой (субоптимальной) обработки пакета квантованных сигналов (при бинарном квантовании и прямоугольной огибающей пакета) и общий случай оптимальной обработки радиолокационного пакета.

Продемонстрируем особенности решения задачи на примере программы расчета параметров и характеристик оптимального безвесового обнаружения радиолокационного пакета импульсов с прямоугольной огибающей при бинарном квантовании. Оптимальная процедура включает определение двух параметров: уровня квантования  $U$  и порога обнаружения  $K$ , имеющего смысл наименьшего числа импульсов (при номинальном количестве импульсов в пакете  $N$ ), при превышении которого принимается решение о наличии цели. В противном же случае принимается решение об ее отсутствии (правило « $K$  из  $N$ »). Таким образом, вектор параметров решающей функции, можно полагать, имеет размерность, равную двум  $\vec{U} = (U, K)$ . Задача состоит в том, чтобы найти значения пары  $(U_0, K_0)$ , такие, при которых обеспечивается  $a = \min_{U, K} a$ .

Обозначим через  $P_s$  и  $P_v$  вероятности превышения уровня квантования смесью (сигнал амплитудой  $s$  с помехой) и помехи в отсутствие сигнала соответственно. Для этих величин в общем случае справедливы соотношения:

$$P_v = \int_U^{\infty} p_v(x) dx = 1 - \int_0^U p_v(x) dx,$$

$$P_s = \int_U^{\infty} p_s(x, a) dx = 1 - \int_0^U p_s(x, a) dx.$$

В качестве помех будем рассматривать собственные шумы приемного тракта или «шумоподобные» радиопомехи. В этом случае плотность распределения помехи  $p_v$  подчиняется закону Рэлея  $p_v(x) = x \exp(-0,5x^2)$ , а условная плотность распределения амплитуд суммарного сигнала (смеси шума с сигналом постоянной амплитуды) — обобщенному закону Рэлея (или закону Райса):

$$p_s(x) = x \exp(-0,5(x^2 + a^2)) I_0(ax),$$

где  $x = s/\sigma$  — нормированное значение амплитуды сигнала;  $\sigma$  — среднеквадратическое значение помехи;  $a = s/\sigma$  — отношение «сигнал—помеха»;  $I_0(\bullet)$  — функция Бесселя первого рода нулевого порядка чисто мнимого аргумента.

В частности, если плотность распределения помехи подчиняется закону Рэлея, то вероятность  $P_v$  превышения уровня  $U$  связана с величиной последнего соотношением:  $P_v = \exp(-0,5U^2)$ , откуда следует

$$U = \sqrt{-1/(2 \ln P_v)}. \quad (П.17.1)$$

В общем же случае для вычисления уровня квантования приходится решать соответствующее интегральное уравнение численными методами.

При сделанных допущениях о прямоугольности огибающей пакета импульсов и при отсутствии межпериодной корреляции справедлива частная теорема о повторении опытов, и вероятности  $P_{п. 0}$  и  $P_{л. т}$  следует вычислять по формулам



$$P_{п.о} = \sum_{j=K}^N C_N^j p_s^j (1-p_s)^{N-j}, \quad P_{л.т} = \sum_{j=K}^N C_N^j p_v^j (1-p_v)^{N-j}, \quad (П.17.2)$$

где  $C_N^j = \frac{N!}{j!(N-j)!}$  - число сочетаний из N элементов по j.

Для расчета  $C_N^j$  используется соотношение  $C_N^j = C_N^{j-1} (N-j+1)/j$ .

При численном решении в качестве начального значения а было принято значение, полученное для одиночного импульса (т. е. при N = 1). Далее используется замена уравнений (П. 17.2) при  $P_{п.о} = P_{п.о}^0$  и  $P_{л.т} = P_{л.т}^0$  неравенствами

$$\left| \sum_{j=K}^N C_N^j p_s^j / (1+p_s)^{N-j} - P_{п.о}^0 \right| \leq \varepsilon_D, \quad \left| \sum_{j=K}^N C_N^j p_v^j / (1+p_v)^{N-j} - P_{л.т}^0 \right| \leq \varepsilon_F,$$

где  $\varepsilon_F, \varepsilon_D$  — достаточно малые величины.

Для их решения удобно использовать модификацию поискового метода с автоматическим выбором шага. Заданная точность  $\varepsilon$  достигается за 10.. 20 итераций.

Для расчета функции Бесселя служит процедура, которая имеет рекуррентную структуру:

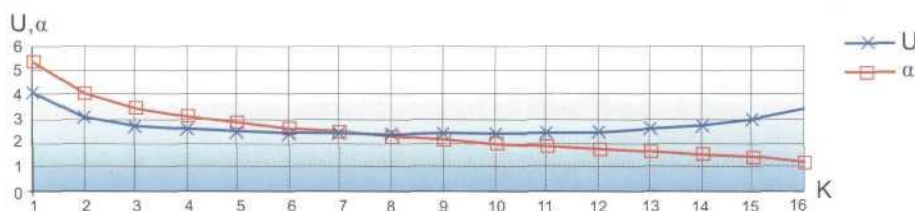


Рис. П.17.1. Зависимости между уровнем квантования U, обнаружения K и отношением сигнал/шум  $\alpha$  при заданных  $P_{п.о} = 0,9$ ,  $P_{л.т} = 10^{-6}$  и  $N = 16$

$$d \div d(0,5z/K)^2; \quad I_0 \div I_0 + d,$$

где  $\div$  — знак присваивания,  $z = ax$ , начальное значение  $d = 1$ , а цикл прерывается, если выполняется условие  $d/I_0 < \varepsilon$  ( $\varepsilon$  — наперед заданная малая величина, определяющая точность вычисления).

Этот же метод применяется при решении интегрального уравнения для расчета а. Результаты расчета при  $P_{п.о} = 0,9$ ,  $P_{л.т} = 10^{-6}$ ,  $N = 16$  приведены на рис. П.17.1.

## Приложение 18

### Пример построения множества прогноза

Рассмотрим процесс наблюдения за подвижным объектом (например, ВС), когда замеры его координат производятся в дискретные моменты времени, которые известны. В этом случае для того, чтобы получить информационное множество  $I(t^*)$  замера в момент времени  $t^*$ , сначала необходимо построить множество прогноза  $G(t^*)$  на этот момент. Множество прогноза (МП) представляет собой совокупность всех состояний в фазовом пространстве, которые могут быть достигнуты в момент времени  $t^*$  из любых точек информационного множества  $I(t^*)$  для предыдущего момента времени  $t^*$ . В свою очередь, это ИМ строится как пересечение МП  $G(t^*)$  с множеством неопределенности (МН) замера  $H(t^*)$ . Таким образом, мы имеем дело с рекуррентной процедурой. Заметим также, что МП следует рассматривать как обобщение понятия множества достижимости из теории динамических систем на случай информационной неопределенности.

Итак, предположим, что ИМ на предыдущий момент времени  $t^*$  найдено. Для построения МП  $G(t^*)$  следует найти всевозможные траектории, начинающиеся в любой точке из ИМ  $I(t^*)$ , и зафиксировать их концы в момент  $t^*$ . В соответствии с определением совокупность этих точек и составит МП  $G(t^*)$ . Процесс расчета траекторий движения в фазовом пространстве требует интегрирования дифференциальных уравнений с учетом факторов неопределенности, влияющих на



поведение объекта наблюдения. Очевидно, что выполнить интегрирование для всех точек ИМ просто невозможно, поэтому применяются способы приближенного построения. Можно, например, задать ИМ опорными плоскостями, которые передвигаются в соответствии с решением уравнений объекта. Однако и при этом велики трудности, вызываемые большой размерностью фазового пространства.

Множество прогноза для ВС должно строиться с помощью пошаговой процедуры в четырехмерном пространстве с координатами  $x$ ,  $z$ ,  $\psi$  и  $V$ . Один из способов заключается в введении сеток по координатам  $\psi$  и  $V$  с достаточным числом узлов. При этом МП строится «по слоям», соответствующим узлам этой сетки.

Для дальнейшего упрощения построений можно рассматривать лишь граничные точки множества  $I(t^*)$ , а затем построить выпуклую оболочку МП  $G(t^*)$ .

Пусть ИМ  $I(t^*)$  на момент времени  $t^*$  имеет вид многоугольника, как показано на рис. П.18.1. Из каждой его вершины выпустим пучок траекторий в направлении движения. Траектории представляют собой дуги и рассчитываются с учетом неточности определения путевого угла и ограничений на угловую скорость разворота, а также возможности изменения скорости движения.

Конечные точки траекторий образуют множества достижимости  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  и  $M_4$ , затем следует найти их объединение.

Аппроксимация МП  $G(t^*)$  состоит в построении выпуклой оболочки множества точек— всех траекторий на момент времени  $t^*$  (внутренние точки во внимание не принимаются). Таким образом, МП  $G(t^*)$  аппроксимируется, как показано на рис. П. 18.1, многоугольником ABCDEFGH. Отметим, что после получения в момент времени  $t^*$  очередного замера для него строится множество неопределенности МН, а информационное множество  $I(t^*)$  («ИМ после замера») находится как пересечение МП и МН.

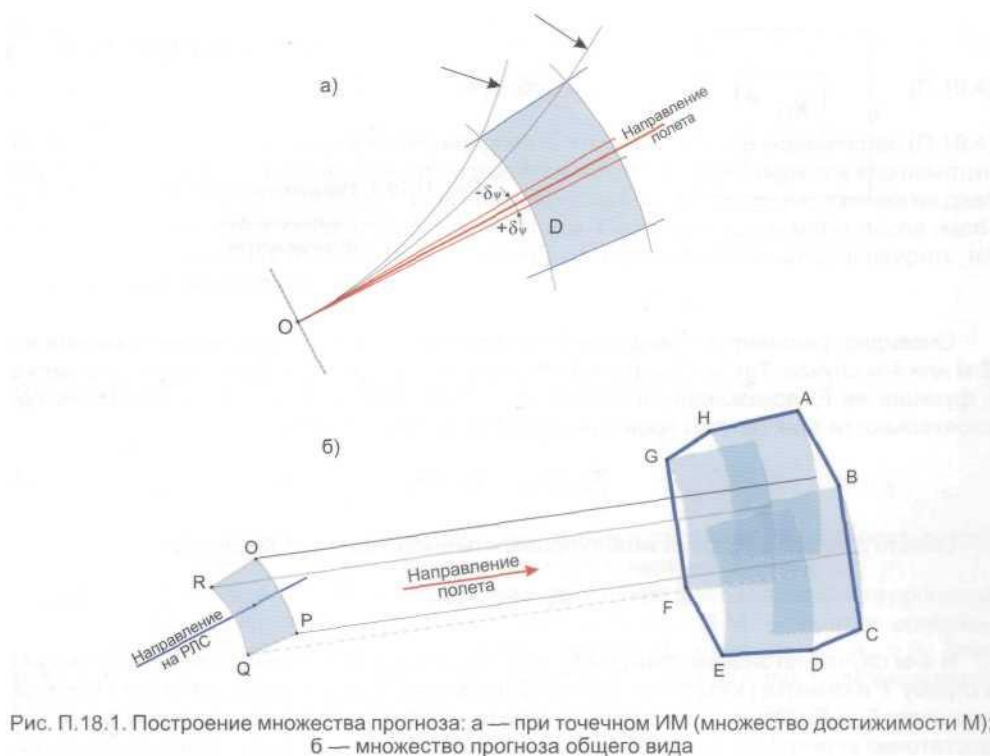


Рис. П.18.1. Построение множества прогноза: а — при точечном ИМ (множество достижимости М); б — множество прогноза общего вида

### Ситуации наложения стробов

В случае когда один самолет проходит над другим, стробы каналов автоматического сопровождения частично или полностью накладываются друг на друга (рис. П. 19.1). При этом две отметки  $i$  и  $j$  могут одновременно попасть в два строба  $k$  и  $l$ . Необходимо определить, какая из отметок относится к одному и какая к другому стробу.

Естественно воспользоваться тем же методом, что и при разрешении более простой спорной ситуации.

Составим решающие функции

$$F_k = R_{ki}^2 - R_{kj}^2, \quad F_l = R_{li}^2 - R_{lj}^2,$$

где  $R_{ki}$  и  $R_{kj}$  — расстояния от центра строба  $k$  до отметок  $i$  и  $j$  соответственно;  $R_{li}$  и  $R_{lj}$  — расстояния от центра строба  $l$  до отметок  $i$  и  $j$ . Возможны следующие варианты знаков:

$$\begin{array}{llll} 1) F_k < 0; & 2) F_k < 0; & 3) F_k > 0; & 4) F_k > 0; \\ F_l < 0; & F_l > 0; & F_l > 0; & F_l < 0. \end{array}$$

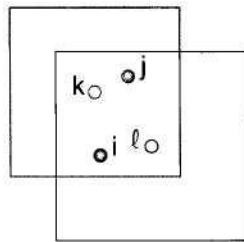


Рис. П.19.1. Наложение стробов:

$k, l$  — центры стробов,  
 $i, j$  — отметки целей

Очевидно, решение о принадлежности отметок к стробам проще всего принять во 2-м или 4-м случае. Так, во 2-м функция  $F_k$  показывает, что к стробу  $k$  относится отметка  $i$ , функция же  $F_l$  показывает, что к стробу  $l$  относится отметка  $j$ . Для определения состоятельности этих гипотез проверяется соблюдение условий:

$$|F_k| \geq F_0; \quad |F_l| \geq F_0.$$

Вместо этих двух условий можно проверять выполнение неравенства

$$|F_k - F_l| \geq 2F_0. \quad (\text{П.19.1})$$

В 4-м случае по знакам функций  $F_k$  и  $F_l$  можно судить о принадлежности отметки  $i$  к стробу  $l$  и отметки  $j$  к стробу  $k$ . В 1-м и 3-м случаях судить о принадлежности отметок по знакам  $F_k$  и  $F_l$  нельзя. Тем не менее если разность  $F_k - F_l$  по абсолютному значению достаточно велика [справедливо неравенство (П.19.1)], то по знаку этой разности можно идентифицировать отметки. Действительно, если  $F = F_k - F_l > 0$ , то с учетом неравенства (П.19.1) либо

$$|F_k| \gg |F_l|, \quad (\text{П.19.2})$$

и тогда можно проводить идентификацию по знаку  $F_k$ , либо

$$|F_k| \ll |F_l|, \quad (\text{П.19.3})$$

и тогда идентификация проводится по знаку  $F_l$ . Очевидно, при соблюдении условия (П.19.2) знак разностной решающей функции  $F$  совпадает со знаком  $F_k$ , т. е.

$$\text{sign } F = \text{sign } F_k \quad \text{при } F_k > F_l;$$

при выполнении условия (П.19.3) знак  $F$  определяется как противоположный знаку  $F_l$ , т. е.

$$\text{sign } F = (-1)\text{sign } F_l \quad \text{при } F_l > F_k.$$

Таким образом, при  $F > 0$ ,  $|F| \geq 2F_0$  либо  $F_k > 0$ ,  $F_l \approx 0$ , и тогда отметка  $j$  относится к стробу  $k$ , либо  $F_l < 0$ ,  $F_k \approx 0$ , тогда отметка относится к стробу  $l$ . Естественно при этом неидентифицированную отметку отнести к другому стробу

Путем аналогичных рассуждений нетрудно прийти к выводу, что при  $F < 0$ ,  $F \geq 2F_0$  отметка  $i$  относится к стробу  $k$ , а отметка  $j$  — к стробу  $l$ .

$$F = F_k - F_l = R_{ki}^2 - R_{kj}^2 - R_{li}^2 + R_{lj}^2,$$

Приведенные рассуждения тем более справедливы при разных знаках функций  $F_k$  и  $F_i$ , так что можно не проверять знаки этих функций в отдельности, а сразу вычислять одну решающую функцию

После проверки условия

$$|F| \geq 2F_0 \quad (\text{П.19.4})$$

по знаку этой функции можно идентифицировать отметки. Если же неравенство (П. 19 4) несправедливо, идентификация не производится и стробы перемещаются «по памяти» (см. рис. П. 19.1). Ясно, что такой способ идентификации отметок при наложении не дает полной гарантии, что стробы не будут перепутаны. Пассивные цели могут после наложения обменяться стробами, поэтому после их расхождения необходимо проверить, не произошел ли такой обмен.

## Приложение 20

### Достаточные статистики

В качестве теоретической основы для достаточных статистик примем построения, относящиеся к известной задаче принятия решения о наличии сигнала.

Запишем сначала в общей форме основные уравнения для наблюдаемого процесса  $\chi_1^N (\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n, n \leq N)$  конечной длительности. Пусть  $\theta_a \in [1, N]$  — момент времени, когда впервые появляется ускорение, которое принимает значение  $a = a_m > 0$  ЭТОТ момент будем называть моментом появления сигнала. Тогда для апостериорной вероятности начала маневра на реализации  $\chi_1^n$  справедливы соотношения:

$$P\{\theta_a | \chi_1^k\} = \begin{cases} \varphi_0 \frac{1 - \pi_k}{P(\theta_a > k)} P(\theta_a), & \theta_a \leq k, \\ \frac{1 - \pi_k}{P(\theta_a > k)} P(\theta_a), & \theta_a > k, \end{cases}$$

где  $k (1 \leq k \leq n)$  — некоторый рассматриваемый момент дискретного времени  $P\{\theta_a | \chi_1^k\}$

- апостериорная вероятность появления сигнала;  $\pi_k = P\{\theta_a \leq k | \chi_1^k\}$  - апостериорная вероятность появления сигнала не позже момента  $k$ , причем обе эти вероятности рассматриваются как условные, что

отмечено знаком «|»:  $\varphi_0 = \frac{dP\{\chi_1^k | \theta_a = k\}}{dP\{\chi_1^n | \theta_a > k\}}$  - отношение правдоподобия, которое представляет собой

производную меры процесса  $\chi_1^k$ , содержащего событие  $\{a \neq 0\}$  (появление сигнала), по мере протекания процесса, не содержащего этого события;  $P(\theta_a)$  и  $P(\theta_a > k)$  – априорные вероятности наличия и отсутствия указанного события.

Ключевой является статистика  $\pi_k$ . Используя формулу Байеса, для нее можно составить рекуррентное соотношение (которым мы воспользуемся в дальнейшем).

Теперь укажем отличие конструируемой нами последовательной процедуры от рассмотренного выше подхода, носящего общий характер. Оно состоит в использовании нами процедур построения информационных множеств и трубок траекторий. Это дает возможность рассматривать не все замеры из множества  $\chi_1^k$ , а только те из них, которые составляют последовательности, начинающиеся с несовместных замеров  $\chi_i^*$ . Если  $m$  замеров являются выбросами, то образуется последовательность  $\chi_{1-m}^*$  =

$$\chi_1^*, \chi_2^*, \dots, \chi_m^* = \{\chi_n^*, 0 \leq m \leq N\}.$$

Для каждой из таких последовательностей, стало быть, можно составить рекуррентные соотношения для статистик. Они представляют собой апостериорные вероятности события, заключающегося в начале маневра, т. е. первого момента времени, когда ускорение переходит от

нулевого значения к значению  $a_m$ . Такая трактовка подчеркивает аналогию с задачей обнаружения разладки для одиночного сигнала. Однако есть одно существенное различие, также связанное с методом информационных множеств. По сути дела, речь идет об обнаружении не начала изменения параметров движения вообще, а таких (вызванных маневром), при которых становится невозможным использование прежней модели движения (описывающей функции).

Сделав это важное замечание, приведем выражения для статистик, которые будут использованы в алгоритме принятия решения о смене модели.

Прибегнем к прежней сетке отсчетов, однако вычислять статистики будем в тех узлах сетки, где есть несовместные замеры.

Введем следующие обозначения:

$\pi_n = P\{\theta_a \leq n | \chi_1^{*n}\}$  — апостериорная вероятность того, что маневр начался не позже момента  $i = n$ ;

$\pi_n^- = P\{\theta_a < n | \chi_1^{*n}\}$  — апостериорная вероятность того, что маневр начал до момента  $i = n$ ;

$\pi_n^0 = P\{\theta_a = n | \chi_1^{*n}\}$  — апостериорная вероятность начала маневра в момент  $i = n$ ;

$\pi_n^+ = P\{\theta_a > n | \chi_1^{*n}\}$  — апостериорная вероятность того, что маневр начал после момента  $i = n$ .

Очевидно, полную группу образуют те события, для которых (учитывая, что  $\pi_n = \pi_n^- + \pi_n^+$ ) справедливы тождества:

$$\pi_n + \pi_n^+ = 1,$$

$$\pi_n^- + \pi_n^0 + \pi_n^+ = 1.$$

Как видно из этих тождеств, достаточно иметь статистики  $\pi_n$  и  $\pi_n^0$ , чтобы вычислить остальные. Для них справедливы следующие рекуррентные соотношения:

$$\pi_n = \frac{P(n)(1 - \pi_{n-1})\varphi_n + P(\theta_a > n - 1)\pi_{n-1}}{P(n)(1 - \pi_{n-1})(\varphi_n - 1) + P(\theta_a > n - 1)},$$

$$\pi_n^0 = \frac{P(n)\pi_{n-1}^0\varphi_n}{P(n)\pi_{n-1}^0(\varphi_n - 1) + P(n - 1)\varphi_{n-1}}.$$

Здесь мы полагаем, что  $n$ -й отсчет является несовместным замером, а  $n - 1$  — предыдущий несовместный замер.

Отношение правдоподобия  $\varphi_n$ , входящее в эти выражения, вычисляется в момент наличия выброса как отношение вероятности его появления вследствие начала маневра (регулярного выброса)  $P_r$  и вероятности появления случайного аномального выброса  $P_b$ :

$$\varphi_n = P_r(n) / P_b(n).$$

Для того чтобы производить вычисления по этим рекуррентным соотношениям, следует задать начальные значения величин  $\pi_n$  и  $\pi_n^0$  при  $n = 0$ .

Действительно, это позволит вычислить указанные величины при  $n = 1$  (т. е. при появлении первого несовместного замера) и т. д. Фактически речь идет о вероятностях до замера, т. е. априорных.

Поэтому следует положить:

$$\pi_0^0 = P(\theta_a = n - 1), \quad \pi_0 = P(\theta_a \leq k - 1).$$

Таким образом, статистики определены полностью.

## Модели графических данных

Модели графических данных являются расширением картографической модели, что является естественным, так как последняя может входить как составная часть в компьютерное отображение воздушной обстановки.

Множество объектов, предъявляемых в составе изображения и отличающихся друг от друга по своему информационному содержанию, характеру обработки и визуализации, обозначим через  $U = \{u_i, I \in I\}$ , где  $u_i$  — элемент указанного множества объектов, а  $I$  — множество индексов. Элементу  $u_i$  сопоставим его описание в виде кортежа (иными словами, представим его в векторной форме):  $U_i = (U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{in})$ .

Для  $n$ -го элемента кортежа запишем отношение включения  $U_{in} \in D_{om}(A_{in})$ . Здесь  $A_{in}$  — имя атрибута, соответствующего  $n$ -му элементу кортежа, а  $D_{om}(A_{in})$  — область значений атрибута с именем  $A_{in}$ . Атрибуты отражают свойства объектов изображения.

Обычно все объекты изображения разделяют на два класса: статические  $S$  и динамические  $D$ :  $U = S \cup D$ . К первому относятся картографические объекты, изображения границ зон, коридоров и пр.; ко второму — отметки ВС, треки, формуляры и т. д. Следует отметить, что с позиций компьютерной графики такое разделение условно, так как карта может перемещаться, изменяется взаимное расположение ее элементов (например, при масштабировании или смещении центра).

Среди множества объектов  $U$  (или в его подмножествах  $S$  и  $D$ ) выделим объекты трех типов (классов): тематические  $T$ , графические  $G$  и пространственные  $P$ . Тематические данные характеризуют смысловое (семантическое) содержание информации, графические составляют язык отображения, использующий условные знаки и естественный язык; пространственные данные отображают геометрическую структуру графической модели. Соответствующее разбиение исходного множества объектов на смежные классы описывается своими подмножествами атрибутов.

Смежные классы  $T$ ,  $G$  и  $P$ , по определению, не пересекаются:  $T \cap G \cap P = \emptyset$ . Они составляют инфологическую основу базы данных компьютерной графики.

Эти объекты проецируются на графическую модель  $G$ , в состав которой входят соответствующие графические элементы (образы тематических объектов). При отображении ВО используются немасштабные, линейные, площадные и текстовые графические элементы. Привязка элементов (расположение и ориентация) осуществляется с помощью пространственной модели данных  $P$ . Для этого в  $G$  вводится регулярная сетка в земной системе координат (в ней строится картографическая проекция мировой системы координат). На тематическом множестве объектов  $T$  задан набор правил и определен механизм отбора объектов.

Функционирование интерактивной компьютерной графической системы обеспечивается соответствующим инструментарием, в основе которого лежит набор функций (отображений), заданных на множествах объектов.

Наиболее предпочтительной представляется операционная среда Windows, предоставляющая удобный и универсальный многооконный интерфейс. С его помощью реализуется широкий набор функций и операций.

Широкие возможности операционной среды, поддерживающей графический режим, реализуются не только в виде предварительных настроек (установок), но и в предоставлении оператору определенной свободы выбора.

## О развитии технических средств автоматизации УВД нового поколения

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 элементную 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.

Таблица П.22.1. Основные характеристики КСА наблюдения за ВО и УВД

| № 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 бесстриповых 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.

## Приложение 23

### Зарубежные АС УВД

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 минимально безопасных 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 воспроизведения 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.



Рис. П.23.1. Типовая структура АС УВД

Таблица П.23.1. Основные характеристики зарубежных АС УВД

| № п/п | Функции и параметр                      | Eurocat 2000<br>(Thales, Франция)          | Letvis<br>(Ales, Чехия)  | Skyline<br>(Lockheed Martin, США)               | SACTA<br>(Indra, Испания)                       | AUTOTRAC<br>(Raytheon, США)                     |
|-------|---|--|--|---|---|---|
| 1     | Сопряжение с РСТ (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                | Open Step  | UNIX  | UNIX  | UNIX  |
| 7     | Локальная вычислительная сеть           | 100%-ная резервированная ЛВС, TCP/IP       | Дублированная ЛВС  | Дублированная ЛВС                               | Дублированная ЛВС                               | Дублированная ЛВС                               |

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%-ного 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.

## Приложение 24

### 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, X.25;
- \* протоколы TCP/IP, X.25;
- \* операционная система UNIX;
- \* графика: X.WINDOWS, 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 поясняются 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.

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;



Рис. П.24.1. Структура системы EUROCAT 2000

- 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;
  - пульта руководителя полетов (за исключением центров типа 4);
  - пульта технического руководителя;
  - пульта обучения диспетчеров, одновременно служащие в качестве резервных;
  - АРМ пилота-оператора (для тренировки диспетчеров).
- Другие АРМ (для РЦ специальных типов):
- пульта метеоспециалистов;
  - пульта ОПВД (АТФМ), связанные с главным центром ОПВД;
  - пульта ОБП (АСМ), связанные с зональным центром, за которым закреплен данный РЦ.
- Пульта ОрВД распределяются следующим образом:
- пульта суточного планирования;
  - пульта текущего планирования;
  - пульта руководителя;
  - пульта 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.

## *Приложение 25*

### **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 не-модифицируемым.

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.

В ОС UNIX используются четыре типа файлов: обычные, специальные, каталоги, а в некоторых версиях ОС и FIFO-файлы. Обычные файлы содержат данные пользова-



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

телей. 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 каталогах (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.

*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.



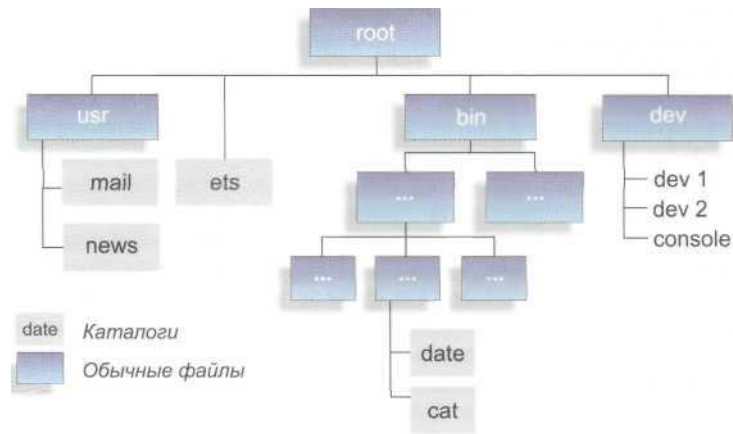


Рис. П.25.2. Схема файловой системы ОС UNIX

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 на 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).

Владелец файла обладает одними привилегиями на доступ к нему, члены группы, в которую входит файл, — другими, все остальные пользователи — третьими.

Каждый файл содержит код защиты, который присваивается файлу при его создании. Код защиты располагается в индексном дескрипторе файла и содержит десять символов, причем первый символ определяет тип файла, а последующие девять — право на доступ к нему. Три вида операций (чтение, запись и выполнение) и три категории (уровни привилегий на доступ: владельцев, групп и прочих пользователей) дают в совокупности девять возможных вариантов разрешений или запретов на доступ к файлу. Первые три символа определяют возможности чтения (r), записи (w) и выполнения (e) на уровне владельца, следующие три — на уровне группы, в которую входит владелец, и последние три — на уровне остальных пользователей. Наличие символов r, w и e указывает на соответствующее разрешение.

Если процесс требует доступа к файлу, то сначала определяется категория, в которую по отношению к этому файлу он попадает. Затем из кода защиты выбираются те три символа, которые соответствуют данной категории, и выполняется проверка: разрешен ли процессу требуемый доступ. Если доступ не разрешен, системный вызов, посредством которого процесс сделал запрос на доступ, отвергается ядром ОС.

По соглашению, принятому в ОС UNIX, привилегированный пользователь имеет идентификатор, равный нулю. Процесс, с которым связан нулевой идентификатор пользователя, считается привилегированным. Независимо от кода защиты файла привилегированный процесс имеет право доступа к файлу для чтения и записи. Если в коде защиты хотя бы одной категории пользователей (процессов) есть разрешение на выполнение файла, привилегированный процесс тоже имеет право выполнять этот файл.

С помощью специальных команд владелец файла (и привилегированный пользователь) может изменять распределение привилегий. Команда Change mode позволяет изменить код защиты, команда Change owner меняет право на владение файлом, а команда Change group —

принадлежность к той или иной группе. Пользователь может изменять режимы доступа только для тех файлов, которыми он владеет.

*Защита хранимых данных.* Для защиты хранимых данных в составе ОС UNIX имеется утилита `stupt`, которая читает данные со стандартного ввода, шифрует их и направляет на стандартный вывод. Шифрование применяется при необходимости предоставления абсолютного права владения файлом. Зашифрованный файл можно прочитать лишь по предъявлении пароля.

*Восстановление файловой системы.* Операционная система UNIX поддерживает три основных набора утилит копирования: программы `volcopy/labelit`, `dump/restor` и `сrio`. Программа `volcopy` целиком переписывает файловую систему, проверяя с помощью программы `labelit` соответствие меток требуемых томов. Программа `dump` обеспечивает копирование лишь тех файлов, которые были записаны позднее определенной даты (защита накоплением). Программа `restor` может анализировать данные, созданные программой `dump`, и восстанавливать отдельные файлы или всю файловую систему полностью. Программа `сrio` предназначена для создания одного большого файла, содержащего образ всей файловой системы или какой-либо ее части.

Для восстановления поврежденной файловой системы, например, в результате сбоев в работе аппаратуры используются программы `fsck` и `fsdb`.

За сохранность файловой системы, адаптацию программного обеспечения к конкретным условиям эксплуатации, периодическое копирование пользовательских файлов, восстановление потерянных данных и другие процедуры ответственность возложена на администратора системы.

*Усложненное управление доступом.* В составе утилит ОС UNIX находится утилита `сгоп`, которая предоставляет возможность запускать пользовательские программы в определенные моменты (промежутки) времени и, соответственно, ввести временные параметры для ограничения доступа пользователей.

Для управления доступом в ОС UNIX также применяется разрешение установки идентификатора владельца. Такое разрешение дает возможность получить привилегии владельца файла на время выполнения соответствующей программы. Владелец файлов может установить такой режим, в котором другие пользователи имеют возможность назначать собственные идентификаторы режима. Аналогичным образом разрешение установки идентификатора группы позволяет лицу, выполняющему программу, приобретать привилегии члена группы, в которую входит владелец программы (только на время выполнения этой программы).

*Совершенствование механизмов защиты.* Широкое распространение, многочисленные достоинства и хорошие перспективы ОС UNIX с 1984 года были поддержаны попытками стандартизации ее пользовательских интерфейсов и языка Си. Стандартизация языка Си завершилась принятием стандарта Американского национального института стандартов (ANSI). Проект стандарта интерфейсов мобильной ОС, названный POSIX, подготовлен рабочими группами института IEEE (США). В рамках этого проекта разработан интерфейс защиты (управляемого доступа), который отличается от традиционного подхода к управлению доступом к данным в ОС UNIX.

В соответствии с разработанным интерфейсом защиты объектов, на которые распространяется управляемый доступ, включают файлы всех типов (в том числе программные каналы) и процессы. Файлы выступают в роли объектов, процессы — в роли субъектов. Различаются доступ к объектам, основанный на дискретном выборе, и доступ, основанный на полномочиях.

Дискретный выбор использует соответствие списков (для каждого объекта составляются списки субъектов, доступ которых к объекту разрешен), этот механизм доступа реализован в имеющихся версиях ОС UNIX.

Доступ, основанный на полномочиях, использует соответствие меток. Для этого вводятся метки объектов (файлов) и субъектов (процессов), а также понятия доминанты и равенства меток (для выражения отношения между метками). Создаваемый файл наследует метку от создавшего его процесса. Вводятся соотношения, определяющие права процессов по отношению к файлам.

Интерфейс дискретного доступа существенно детализирует имеющиеся механизмы защиты ОС UNIX. Вводимые средства можно разделить на следующие группы:

- работа со списками доступа при дискретной защите;
- проверка права доступа;
- управление доступом на основе полномочий;
- работа привилегированных пользователей.



В рамках проекта Posix создан интерфейс системного администратора. Указанный интерфейс определяет объекты и множества действий, которые можно выполнить над объектами. В качестве классов субъектов и объектов предложены: пользователь, группа пользователей, устройство, файловая система, процесс, очередь, вход в очередь, машина, система, администратор, программное обеспечение и др. Определены атрибуты таких классов, операции над классами и события, которые могут с ними происходить.

Стандартизация интерфейсов ОС UNIX и появление юридического стандарта повысит значимость этой операционной системы, в том числе и для обеспечения безопасности данных.

## Приложение 26

### Линии связи и внешний интерфейс

Для организации диспетчерского взаимодействия между смежными центрами УВД организуется межцентровая прямая телефонная связь. Прямая телефонная связь между смежными центрами А и В включает:

- \* оконечное оборудование стороны А (DTE — Data Terminal Equipment);
- \* интерфейс между оконечным оборудованием и каналом связи со стороны А (DCE — Data Circuit terminating Equipment);
- \* линию или канал связи А—В;
- \* интерфейс между каналом связи и оконечным оборудованием со стороны В;
- \* оконечное оборудование стороны В.

Очевидно, что оконечное оборудование с обеих сторон должно использовать единый протокол.

В качестве линии связи могут служить физическая проводная соединительная линия или стандартный канал, предоставляемый структурами Министерства связи РФ и телекоммуникационными компаниями. Такие каналы (назовем их арендованными) являются частью взаимоувязанной сети связи России, поэтому на соответствующие внешние интерфейсы СРС распространяются все требования по электрической и логической совместимости, предъявляемые к телекоммуникационному оборудованию (например, к телефонным аппаратам, автоматическим, телефонным станциям модемам и т. д.). Предоставляются в аренду:

- \* стандартные каналы тональной частоты;
- \* цифровые каналы.

Во всех упомянутых случаях могут применяться как двух-, так и четырехпроводные окончания.

Из соображений оперативности коммутируемые линии для организации связи между центрами УВД, как правило, не используются.

*Физические соединительные линии* обладают широкой полосой пропускания, но ввиду затухания сигнала могут быть использованы для организации связи на небольшие (от сотен метров до нескольких десятков километров) расстояния. Основное применение физических линий — организация связи с удаленными диспетчерскими пунктами.

Стандартные каналы тональной частоты (ТЧ) обеспечивают полосу пропускания от 300 до 3400 Гц. Это вызвано тем, что на магистральных линиях для передачи сигналов нескольких каналов одновременно применяется частотное или временное уплотнение. Аналоговая аппаратура использует частотное уплотнение, при котором исходный сигнал перемещается в другой частотный диапазон. Стандартно 12 каналов ТЧ образуют базовую группу с полосой пропускания 48 кГц (от 60 до 108 кГц), пять базовых групп образуют 60-канальную магистраль.

Более современная цифровая коммутационная аппаратура использует временное уплотнение. Существуют два поколения технологий первичных цифровых сетей плезиохронная цифровая иерархия (PDH — Plesiochronic Digital Hierarchy) и синхронная цифровая иерархия (SDH — Synchronous Digital Hierarchy).

В аппаратуре PDH для передачи одного канала используется импульсно-кодовая модуляция (ИКМ). Таким образом, каждый канал образует цифровой поток данных 64 кбит/с. Тридцать абонентских каналов образуют канал типа Е1. По каналу Е1 с частотой 8 кГц передаются 32-

байтные циклы (кадры), т. е. скорость передачи равна 2048 кбит/с. Каждый цикл представляет собой 32 временных интервала — time-slot (тайм-слот), причем 0-й используется для синхронизации, в интервалах с 1-го по 15-й и с 17-го по 32-й помещаются 8-битовые ИКМ — коды от соответствующих абонентских каналов, интервал №16 используется для целей сигнализации. В одном цикле передается сигнализация от двух каналов — по четыре бита на каждый. Шестнадцать циклов образуют сверхцикл, в котором передается 16 речевых отсчетов и один отсчет сигнализации по каждому абонентскому каналу. Четыре канала E1 образуют канал E2 (8488 кбит/с), четыре канала E2 — канал E3 (34 368 кбит/с), четыре канала E3 — канал E4 (139 264 кбит/с). Технология PDH описана в стандартах МСЭ-Т (МККТТ) G 700—G.706.

С появлением волоконно-оптических кабелей, позволяющих передавать по одному волокну данные со скоростью в несколько гигабит в секунду, максимальная скорость иерархии PDH — E4 оказалась недостаточной, и была разработана и стандартизирована технология SDH (стандарты G.707—G.709), предусматривающая уровни скоростей от STM-1 (155,520 Мбит/с) до STM-16 (2,488 Гбит/с). Таким образом, канал типа STM-1 передает данные канала E4 (разница в скоростях вызвана накладными расходами на передачу служебной информации).

Физически магистральные линии связи образованы кабельными или радиорелейными линиями.

Помимо каналов ТЧ в аренду могут предоставляться каналы E1, полностью или частично (один или несколько временных интервалов из 30 имеющихся). Цифровой интерфейс между оконечным оборудованием и каналом связи для этого случая описывается в стандарте G 703

Разумеется, между цифровой СРС и каналом связи предпочтительнее цифровой интерфейс, однако возможность такого решения обуславливается наличием соответствующей инфраструктуры.

Несмотря на появление цифровых магистральных сетей, телефонная сеть общего пользования по-прежнему предоставляла (и предоставляет сейчас) конечному пользователю аналоговую абонентскую линию, а аналого-цифровое преобразование осуществляется аппаратурой коммутации/уплотнения. Очевидна идея такой организации телефонной сети, при которой конечный абонент передает информацию непосредственно в цифровой форме. Такая сеть появилась во второй половине 1980-х годов под названием ISDN — Integrated Services Digital Network (цифровая сеть с интегральным обслуживанием — ЦСИО)

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 телефонным аппаратом; сетевым окончанием (NT) — устройством, образующим канал связи с ближайшим коммутатором ISDN.

Пользовательский интерфейс включает каналы трех типов.

B, 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 B 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 B-канала, 2 байта 2-го B-канала и 4 бита D-канала, а также служебную информацию.

Интерфейс PRI (Primary Rate Interface) или 30B+D включает 30 каналов типа B 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 межцентровой 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<sup>1</sup> окончное 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 ATC-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 MFC-R2 и ATC-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.

## Приложение 27

### Сетевой протокол X.25

Протокол X.25 (полное название ССИТТ *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.

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.21 bis. На канальном уровне используется протокол LAPB — Link Access Procedure Balance — разновидность протокола высокого уровня управления каналом передачи данных HDLC (High-Level Data Link Control).

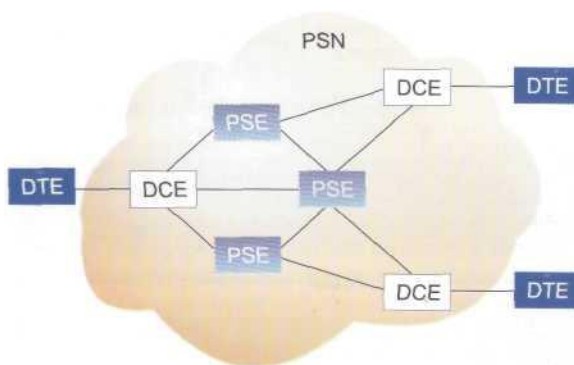


Рис. П.27.1. Сеть X.25

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).

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.21 bis), 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).

Таблица П.27.1. Уровни X.25, принадлежащие эталонной модели OSI

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



Рис. П.27.2. Уровни протокола X.25

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 рис. П.27.2.

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 их 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 LAPB 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.

## Приложение 28

### Адресация и маршрутизация в TCP/IP

В TCP/IP различают два типа адресов. На канальном уровне используют адреса, называемые *физическими*. Это шестибайтовые адреса сетевых плат, присваиваемые изготовителем контроллеров (каждый изготовитель вместе с лицензией на изготовление получает уникальный диапазон адресов). На сетевом уровне используют сетевые адреса, иначе называемые *виртуальными* или *логическими*. Эти адреса имеют иерархическую структуру, для них существуют цифровое и буквенное выражения.

Известно, что узлы в Internet имеют адреса и имена. Адрес — уникальная совокупность чисел: адреса сети и компьютера (хоста — узла в сети), которая указывает их местоположение. Имя характеризует пользователя. Оно составляется по определенным правилам — доменной системе

имен. Соответствие между IP-адресом и IP-именем хоста устанавливается специальной *службой директорий*. В Internet это DNS (Domain Name Service), в ISO — стандарт X.500.

*IP-имя*, называемое также *доменным именем*, — удобное для человека название узла или сети. Имя отражает иерархическое построение глобальных сетей и потому состоит из нескольких частей (аналогично обычным почтовым адресам). Корень иерархии обозначает либо страну, либо отрасль знаний, например: ru — Россия, us — США, de — Германия, uk — Великобритания, edu — наука и образование, com — коммерческие организации, org — некоммерческие организации, gov — правительственные организации, mil — военные ведомства, net — служба поддержки Internet и т. д. Корень занимает в IP-имени правую позицию, левее записываются локальные части адреса, и, наконец, перед символом @ указывается имя почтового ящика пользователя. Так, запись manag@nita.spb.ru расшифровывается как пользователь manag в организации nita в городе spb в стране ru. В 1997 году число используемых доменных имен в сети Internet превысило один миллион и с тех пор стремительно растет.

*IP-адрес* — 32-битовое слово, записываемое в виде четырех частей (побайтно), разделенных точками. Менеджер сети присваивает IP-адреса машинам в соответствии с тем, к каким IP-сетям они подключены. Старшие биты четырехбайтного IP-адреса определяют номер IP-сети, оставшаяся часть IP-адреса — номер узла (хост-номер). Для машины из табл. П.28.1 с IP-адресом 223.1.2.1 сетевой номер равен 223.1.2, а хост-номер — 1. Напомним, что IP-адрес узла идентифицирует лишь точку доступа модуля IP к сетевому интерфейсу, а не всю машину.

Существуют пять классов IP-адресов, различающихся количеством бит в сетевом и хост-номере (рис. П.28.1). Класс адреса определяется значением его первого октета.

В табл. П. 28.1 приведено соответствие классов адресов значениям первого октета и указано количество возможных IP-адресов каждого класса.

Адреса класса А предназначены для использования в больших сетях общего пользования. Они допускают большое количество номеров узлов. Адреса класса В используются в сетях среднего размера, например сетях университетов и крупных компаний, адреса класса С — в сетях с небольшим числом компьютеров, адреса класса D — при обращениях к группам машин, а адреса класса Е зарезервированы на будущее.

Таблица П.28.1. Характеристики классов адресов

| Класс | Диапазон значений первого октета | Возможное количество сетей | Возможное количество узлов |
|-------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| А     | 1–126                            | 126                        | 16 777 214                 |
| В     | 128–191                          | 16 382                     | 65 534                     |
| С     | 192–223                          | 2 097 150                  | 254                        |
| Д     | 224–239                          | —                          | 2**28                      |
| Е     | 240–247                          | —                          | 2**27                      |

| Класс сети | Позиции IP-адреса |                 |    |            |            |
|------------|-------------------|-----------------|----|------------|------------|
|            | 0                 | 8               | 16 | 24         | 32         |
| Класс А    | 0                 | Номер сети      |    | Номер узла |            |
| Класс В    | 10                | Номер сети      |    | Номер узла |            |
| Класс С    | 110               | Номер сети      |    |            | Номер узла |
| Класс D    | 1110              | Групповой адрес |    |            |            |
| Класс E    | 11110             | Зарезервировано |    |            |            |

Рис. П.28.1. Структура IP-адресов

Некоторые IP-адреса являются выделенными и трактуются по-особому (рис. П.28.2).

Как показано на рис. П.28.2, в выделенных IP-адресах все нули соответствуют либо данному узлу, либо данной IP-сети, а IP-адреса, состоящие из всех единиц, используются при широковещательных передачах. Для ссылок на всю IP-сеть в целом используется IP-адрес с нулевым номером узла. Особый смысл имеет IP-адрес, первый октет которого равен 127. Он применяется для тестирования программ и взаимодействия процессов в пределах одной машины. Когда программа посылает данные по IP-адресу 127.0.0.1, то образуется своего рода «петля».



Данные не передаются по сети, а возвращаются модулям верхнего уровня, как только что принятые. Поэтому в IP-сети запрещается присваивать машинам IP-адреса, начинающиеся со 127.

Выделением номеров (как и многими другими вопросами) занимается Network Information Center (NIC). Выделение номеров производится бесплатно и занимает около недели. Можно получить сетевой номер вне зависимости от того, для чего предназначена сеть. Даже если она не имеет связи с объединенной сетью Internet, получение уникального номера желательно, так как это дает гарантию, что в будущем при включение в Internet или при подключении к локальной сети другой организации не возникнет конфликта адресов.

Одно из важнейших решений, которое необходимо принять при установке сети, заключается в выборе способа присвоения IP-адресов конкретным компьютерам. Этот выбор должен учитывать перспективу роста сети. Иначе в дальнейшем придется менять адреса. Когда к сети подключено несколько сотен машин, изменение адресов становится почти невозможным.

Организации, имеющие небольшие сети с числом узлов до 126, должны запрашивать сетевые номера класса С. Организации с большим числом машин могут получить несколько номеров класса С или номер класса В. Удобным средством структуризации сетей в рамках одной организации является разбиение на подсети.

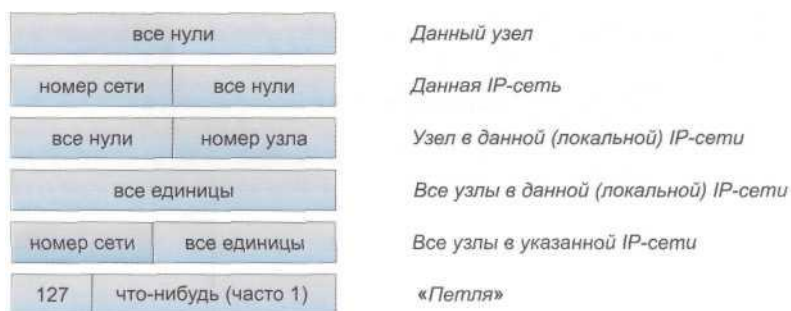


Рис. П.28.2. Выделенные IP-адреса

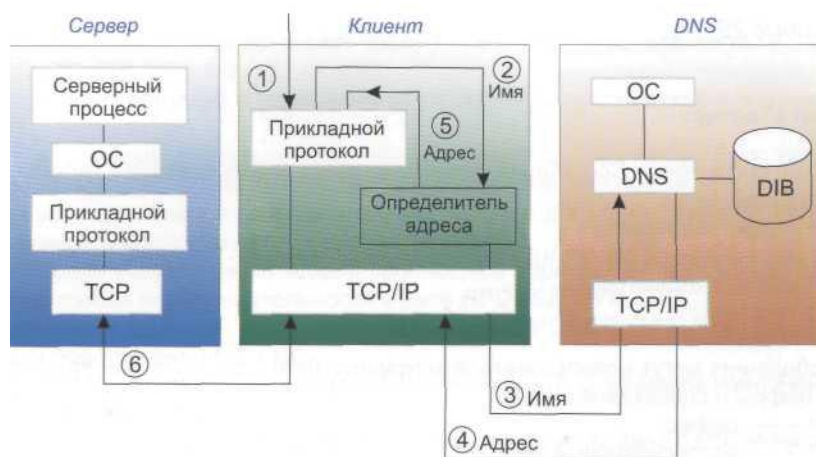


Рис. П.28.3. Определение IP-адреса с помощью DNS-сервера

Номера при включении нового хоста выдает организация, предоставляющая телекоммуникационные услуги и называемая *провайдером*. Провайдер, в частности, обеспечивает включение IP-адреса и соответствующего ему IP-имени в сервер службы адресов DNS (Domain Name Service). Это означает запись данных о хосте в DIB (Directory Information Base) локального узла DNS.

При маршрутизации имя переводится в адрес с помощью серверов DNS. Поскольку маршрутизация в сети осуществляется по IP-адресам, то перевод указанного пользователем IP-имени в IP-адрес с помощью DNS обязателен.

Сценарий работы с DNS иллюстрирует рис. П.28.3.

Маршрутизация в Internet организована по иерархическому принципу: имеются уровни ЛВС (корпоративных сетей), маршрутных доменов (RD — Routing Domains), в каждом из которых



используются единые протоколы и алгоритмы маршрутизации, административных доменов (AD), каждый из которых соответствует некоторой ассоциации и имеет единое управляющее начало. В RD имеются внешние маршрутизаторы для связи с другими RD или с AD. Обращение из некоторого узла к Internet (например, из www.cdl.bmstu.ru по адресу http://www.eevl.ac.uk) происходит к местному серверу (bmstu), и если там сведений об адресе назначения нет, то происходит переход к серверу следующего, более высокого уровня (ru) и далее по иерархии вниз до получения IP-адреса хоста назначения. В местном DNS сервере могут быть сведения об IP-адресах хостов из удаленных доменов, если к ним происходят достаточно частые обращения из данного домена.

Корневых серверов в Internet в 1995 году было всего семь. Число уровней может быть большим. В каждой зоне (поддереве) сервер дублируется, его содержимое реплицируется через определенные промежутки времени.

## Приложение 29

### Протокол «Телекс»

*Формат сообщений.* Сообщения, принимаемые и передаваемые «Телекс», содержат следующие части:

строку заголовка,  
адресную(ые) строку(и);  
строку отправителя;  
текст,  
окончание

В сообщениях могут использоваться заглавные буквы русского или латинского алфавита, цифры и следующие знаки.

-дефис;  
? — вопросительный знак;  
: — двоеточие,  
( — открытая скобка;  
) — закрытая скобка,  
. — точка;  
, — запятая;  
' — апостроф,  
= — знак равенства,  
/ — наклонная черта;  
+ — знак плюс.

Текст сообщения может быть и на русском, и на латинском регистрах, но при наличии адреса(ов), первая буква которого(ых) отличается от У, оно не должно содержать регистров РУС, кроме того, в служебных частях сообщения не должны использоваться оба регистра.

*Строка заголовка* Строка заголовка содержит следующие компоненты:

\* сигнал начала сообщения;  
\* регистр сообщения (РУС или ЛАТ);  
\* комбинацию знаков ЗЦЗЦ (ZCZC);  
\* **ПРОБЕЛ**;

обозначение передачи, состоящее из обозначения канала (три буквы) и порядкового номера (три цифры),

**ПРОБЕЛ**;

время начала передачи сообщения по каналу связи (UTC),

если необходимо, служебные сведения длиной не более пяти знаков (счетчик числа переприемов, процедурный сигнал РПТ/РРТ);

сигнал интервала, содержащий пять пробелов, и сигнал регистра, совпадающий с сигналом регистра в строке отправителя;

первую построчную комбинацию (каждая построчная комбинация включает два сигнала возврата каретки и один сигнал перевода строки).

Передача сообщений из «Телекс» производится строго по формату во всех частях сообщения.

*Адресная строка.* Для маршрутизации сообщений по сети связи гражданской авиации используется адресная строка. Адресная строка содержит следующие компоненты:

- \* категорию срочности — две буквы;
- \* пробел;
- \* адресные (адресный) указатели (указатель), каждый из которых состоит из восьми букв, кроме букв Ч, Э, Ш, Щ, Ю, и отделяется от предыдущего пробелом;
- \* построчную комбинацию, включающую два сигнала возврата каретки и один перевод строки.

Категория срочности представляет собой двухбуквенное сочетание из числа следующих- СС (SS), ДД (DD), ФФ (FF), ГГ (GG), КК (KK).

При приеме сообщений в адресной строке допускаются следующие отклонения от формата:

- \* в категории срочности может быть от одной до трех любых букв; если среди них встречается одна буква из принадлежащих действительной категории срочности, то по ней устанавливается категория срочности; если две, то по старшей; если ни одной, то устанавливается категория срочности **ФФ/FF**;

\* между указателем категории срочности и адресом, а также между адресами может быть любая последовательность знаков **ПРОБЕЛ, РУС, ЛАТ**,

\* в конце адресной строки могут быть знаки **ПРОБЕЛ, ЛАТ, РУС, ВК, ПС** с обязательным присутствием **ВК** и **ПС**

*Строка отправителя.* Строка отправителя содержит следующие компоненты:

- \* цифровой регистр;
- \* шестизначную группу, указывающую дату-время подачи сообщения отправителем;
- \* регистр **РУС** или **ЛАТ**, идентифицирующий тип сообщения, и пробел;
- \* указатель отправителя, состоящий из шести или восьми букв;
- \* сигнал **ВНИМАНИЕ**, содержащий пять букв **Ю**, для сообщений категории **СС/SS**;
- \* поле дополнительных данных, не выходящее за пределы оставшейся части строки (например, счетчик числа переприемов);
- \* построчную комбинацию, содержащую два сигнала возврата каретки и один перевод строки.

При приеме сообщений в строке отправителя допускаются следующие отклонения от формата.

\* между цифровой группой **ДАТА-ВРЕМЯ** и указателем отправителя может быть любая комбинация знаков **ПРОБЕЛ, РУС, ЛАТ**;

\* после указателя отправителя могут следовать сигналы **ПРОБЕЛ, РУС, ЛАТ, ВК, ПС** с обязательным присутствием **ВК** и **ПС**.

*Текст.* Текст сообщения начинается после построчной комбинации в строке отправителя. Текст не должен содержать последовательностей начала и конца сообщения ни на одном из регистров, т. е.:

- \* ЗЦЗЦ;
- \* ZCZC;
- \* + : + ::
- \* НННН;
- \* NNNN;
- \* ,,,, .

Текст должен заканчиваться сигналом конца текста, состоящим из сигнала регистра (**РУС** или **ЛАТ** в зависимости от типа сообщения), двух сигналов возврата каретки и одного перевода строки.

*Окончание.* Окончание сообщения содержит семь позиций ПС и сигнал конца сообщения, состоящий из четырех букв **Н** (**N** на латинском регистре).

Перед сигналом конца сообщения **НННН** (**NNNN**) может быть любая последовательность символов: **ПРОБЕЛ, РУС, ЛАТ, ЦИФ, ВК** и **ПС**, кроме того, может отсутствовать последовательность сигналов **ПС**.

ЦКС допускает установку максимальной длины сообщений до 4000 знаков при ее согласовании с абонентами телеграфной сети ГА. Максимальная длина сообщений контролируется при приеме на всех маршрутах, связывающих ЦКС с абонентами.

*Прием в коде МТК-2.* В процессе приема обеспечиваются:

- \* чтение знака из канала;
- \* установка тайм-аута (максимальная суммарная пауза между знаками в процессе приема

одного сообщения составляет 20 с);

\* установка тайм-аута 10 мин — максимальное время приема одного сообщения (от абонента);

\* анализ символов на начало сообщения (началом сообщения считается комбинация символов ЗЦЗЦ, ZCZC или +:+:);

\* анализ символов на конец сообщения (концом сообщения считается комбинация символов НННН, NNNN или ,,);

\* обработка конца сообщения.

Сообщение считается законченным, если:

\* истек тайм-аут 20 с;

\* истек тайм-аут 10 мин;

\* получена комбинация НННН;

\* превышена максимальная длина сообщения;

\* получено начало следующего сообщения;

при обработке конца сообщения сбрасываются тайм-ауты 20 с и 10 мин. Набор принятых символов не считается сообщением, если содержит менее 30 знаков.

### Приложение 30

#### Номенклатура эксплуатационных документов

| Код доку-мента | Наименование документа  | Степень обязательности разработки документа | Дополнительные указания   |
|----------------|---|---|---|
| РЭ             | Руководство по эксплуатации                                   | 0   | —   |
| ИМ             | Инструкция по монтажу, пуску, регулированию и обкатке изделия | 0   | ИМ составляют на монтаж пуск, регулирование и обкатку изделия на месте его применения и в случае, если эти требования нецелесообразно или невозможно изложить в РЭ  |
| ФО             | Формуляр  | 0   | —   |
| ПС             | Паспорт   | 0   | —   |
| ЭТ             | Этикетка  | 0   | ЭТ составляют на изделия, для которых данные, необходимые для эксплуатации, не превышают пять-шесть основных показателей. Для подтверждения этих показателей нет необходимости составлять ФО (ПС) и технически их невозможно и нецелесообразно маркировать на изделии |
| КДС            | Каталог деталей и сборочных единиц                            | 0   | КДС составляют на изделия, для которых в течение времени эксплуатации предусмотрены неоднократный ремонт и замены составных частей  |
| НЗЧ            | Нормы расхода запасных частей                                 | 0   | Под НЗЧ на период эксплуатации одного изделия понимают среднее ожидаемое за этот период количество замен составных частей из-за отказов и выработки ресурса   |
| НМ             | Нормы расхода материалов                                      | 0   | Под НМ на период эксплуатации понимают среднее ожидаемое за этот период количество материалов   |

| Код доку-мента  | Наименование документа                | Степень обязательности разработки документа | Дополнительные указания   |
|---|---------------------------------------|---|---|
| ЗИ  | Ведомость ЗИП                         | 0   | ЗИ составляют на изделия, с которыми совместно поставляют прилагаемые к ним комплекты ЗИП, а также наборы ЗИП, поставляемые отдельно от изделия, для эксплуатации которых предназначается ЗИП (например, ЗИП одиночный, групповой, ремонтный) Если количество наименований изделий и материалов незначительно, то ЗИ допускается не разрабатывать, а их номенклатуру перечисляют в формуляре или паспорте |
| УП  | Учебно-технические плакаты            | 0   | УП разрабатывают по ГОСТ 2 605  |
| ВЭ  | Ведомость эксплуатационных документов | @   | ВЭ составляют на изделия в комплект эксплуатационных документов которых входят два и более самостоятельных эксплуатационных документов  |
| <p><i>Условные обозначения @ — документ обязательный, 0 — необходимость разработки документа устанавливает разработчик Для изделий, разрабатываемых по заказу Министерства обороны, номенклатуру ЭД согласовывают с ним</i></p> |                                       |   |   |

## Список рекомендуемой литературы

- Авиационная радионавигация / Под ред. П. В. Олянюка М.: Транспорт, 1990. 208 с.
- Авиационная электросвязь. Приложение 10 к Международной конвенции ИКАО (т. IV: Системы обзорной радиолокации и предупреждения столкновений). Монреаль, 1995.
3. Автоматизированное управление самолетами и вертолетами / С. М. Федоров, В. М. Кейн, И. Михайлов, Н. Н. Сухих М.: Транспорт, 1992 266 с.
4. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Справочник / В. И. Савицкий, В. А. Василенко, Ю. А. Владимиров, В. В. Точилов. М.: Транспорт, 1980. 357 с.
5. *Анодина Т. Г., Кузнецов А. А., Маркович В. Д.* Автоматизация управления воздушным движением / Под ред. А. А. Кузнецова. М.: Транспорт, 1992. 280 с
- Бабич О. А.* Обработка информации в навигационных комплексах. М.: Машиностроение, 1991. 512 с.
- Верещак А. И., Олянюк П. В.* Авиационное радиооборудование. М.: Транспорт, 1996. 344 с.
- Воздушная навигация: Справочник/А. М. Белкин, Н. Ф. Миронов, Ю. И. Рублев, Ю. Н. Сарайский. М Транспорт, 1988. 303 с.
- Грачев В. В., Кейн В. М.* Радиотехнические средства управления воздушным движением. М.: Транспорт, 1975. 344 с.
10. *Гулятьев А. К., Машин В. А* Проектирование и дизайн пользовательского интерфейса. СПб.: КОРОНА принт, 2000. 352 с.
- М.Детел Г.* Введение в операционные системы / Пер. с англ. Т. 2. М.: Мир, 1987. 398 с.
- Доклад Специального комитета по будущим аэронавигационным системам, четвертое совещание. Док 9524 FANS/4. Монреаль: ИКАО, 1988. 152 с.
- Кейн В. М.* Оптимизация систем управления по минимаксному критерию. М.: Наука, 1985. 248 с.
- Красовский Н. Н* Теория управления движением М.: Наука, 1968. 476 с.
- Красовский Н. Н.* Управление динамической системой: Задача о минимуме гарантированного результата. М.: Наука, 1985. 518 с.
- Крыжановский Г. А. Черняков М. В.* Комплектование авиационных систем передачи информации. М.: Транспорт, 1992. 295 с.
- Кузьмин С. З.* Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. М.: Радио и связь, 1986. 352 с.
- Ль.Куржанский А. Б.* Управление и наблюдение а условиях неопределенности. М.: Наука, 1977. 321 с.
- Мудрое В И., Кушко В. Л.* Методы обработки измерений: Квази-правдоподобные оценки. М.: Радио и связь, 1983. 304 с.
- Национальный план для систем CNS/ATM: Инструктивный материал // Документ ИКАО. Вариант 1. Монреаль, 1999. 30 апр.
- Организация взаимодействия человека с техническими средствами АСУ: В 7 кн. Кн. 4: Обращение информации: Практическое пособие / В. М. Гасов, А. И. Коротаев, С. И. Сенькин; под ред. В. Н. Четверикова. М.: Высшая школа, 1990. 111с.
- Поиск, обнаружение и измерение параметров сигналов в радионавигационных системах / В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов, Ю. А. Коломенский и др.; под ред. Ю. М. Казаринова. М.: Сов. радио, 1975. 296 с.
- Правила полетов и обслуживания воздушного движения. Дос. 4444. Изд.13, вкл поправку 1. Монреаль- ИКАО, 1996.
- Применение автоматизированных систем для управления воздушным движением / В. М. Кейн, А. И. Красов, Г. А. Крыжановский и др М.: Транспорт, 1979. 400 с.
- Радиоконтроль траекторий движения летательных аппаратов / Л. С. Беляевский, Г. А. Крыжановский, В. П. Харченко, В. П. Ткаченко. М.: Воздушный транспорт, 1996. 312 с.
- Розов А. К.* Обнаружение, классификация и оценивание сигналов. Последовательные процедуры. СПб.: Политехника, 1999 206 с.
- Системы цифрового управления самолетом / Под ред. А. Д. Александрова, С. М. Федорова. М.: Машиностроение, 1983. 223 с.

28. *Соммервилл И.* Инженерия программного обеспечения. 6-е изд. Пер. с англ. Издательский дом «Вильяме», 2002 624 с.
29. Стратегия организации воздушного движения после 2000 года: В 2 т. Евроконтроль, 1998.
30. Технологии работы диспетчеров управления воздушным движением/ Под ред. Е. Н Королева. М.: Воздушный транспорт, 2000. 155 с
31. *Труханов В. М.* Надежность в технике. М.: Машиностроение, 1999. 598 с.
32. *Гучков Н. Т.* Автоматизированные системы и радиоэлектронные средства управления воздушным движением. М.: Транспорт, 1994. 280 с.
33. Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации. Утв. Пост. Правительства РФ №1084 от 22.09.1999. Издание официальное.
34. Цифровые информационно-измерительные системы: Теория и практика / А. Ф. Фомин, О. Н. Новоселов, К. А. Победоносцев, Ю. Н. Чернышев; под ред. А. Ф. Фомина, О. Н. Новоселова. М.: Энергоатомиздат, 1996. 448 с.
35. ICAO Manual of ATC Data Link Applications. ICAO ADSP. ADS and Air Traffic Services Data Link Applications Circular. ICAO ADSP, 1995.
36. Implementation Strategy of the Future ATM System in the European Region (FEATS 1990). Montreal: ICAO.
37. The GNSS system technical characteristics and performance // Special committee on future aeronavigation systems. ICAO, Fourth Meeting. Montreal, 2-20 May 1988. ICAO, 1988. FANS/4-WP/75,6/5/88.
38. VDL Mode 4. Standards and Recommended Practices, version 6.00 Draft. ICAO. 17 September 1999. Manual of detailed Technical Specifications for the VDL Mode 4 Data Link. Version 5.47. Draft. Working Material. ICAO. 20 December 1999.

# Предметный указатель

Абонентский комплект 292

автозахват 167

автоматизированная система  
управления воздушным движением 71  
аэродромная 7  
аэродромно-районная (АРАС) 220  
аэродромно-трассовая 7  
аэроузловая 8  
автосопровождение 110  
алгоритм сжатия 272  
аналого-цифровой преобразователь

139

аппаратура сопряжения 289  
аппроксимация 119, 406  
архитектура системы 80  
аэронавигационное обслуживание 30  
сборы за АНО 364

## Б

база данных 95, 384  
безопасность  
данных в ИВ 228  
использования ВП 24

## В

воздушное пространство 15  
воздушные трассы 18  
временной способ разделения доступа

192

время жизни траектории 167  
вторичная обработка 107  
-РЛИ 132  
спутниковой информации 58

## Г

гарантия 102, 120  
геометрический фактор 61  
гипотеза 117  
глубина памяти 155  
готовность 79, 343  
групповое оборудование 105

## Д

двойственность наблюдения и  
управления 102  
диаграмма направленности антенны  
46, 126  
дискрета 111, 133, 400  
доступ к абоненту 303

## З

завязывание траекторий 168  
защита данных 228

## И

идентификация траекторий 122  
измерения 106  
индексирование таблиц данных 97  
интегральные траектории 185  
интервальная оценка 118  
интенсивность  
воздушного движения 24  
потока ВС 19  
интервальные оценки 118  
информационная модель системы 76  
информационная производительность 44  
информационная трубка 121  
информационные множества 112, 258  
информационные технологии  
PDM технологии 10, 75  
CALS технологии 10

## К

канал  
автозахвата 167  
связи 188, 293  
сопровождения 167  
качество траектории 181  
квантование 142  
количество информации 45, 373  
коммутация 293  
комплекс средств автоматизации  
наблюдения 103  
планирования УВД 70  
контроль целостности созвездия ИСЗ 225  
конфликтная ситуация 26, 249  
корректирующие коды 267  
коэффициент  
готовности 344  
прочности траектории 158  
сглаживания 156  
критерий Неймана—Пирсона 144

## Л

линейное боковое уклонение 36  
линия передачи данных 187  
ложная тревога 79

## М

малые азимутальные импульсы 137, 151  
манипулятор «мышь» 211  
масштаб реального времени 83  
математическая модель движения 37  
мейнфрейм 80



метод  
I-оценивания 120, 392  
максимального правдоподобия 119,

наименьших квадратов 389  
многооконный интерфейс 206  
множество прогноза 163

модем 276  
модуль 92, 325  
монитор с сенсорным покрытием 212  
мультиплексор 93, 189, 274  
мультирадарная траектория 180

## Н

наблюдения 39, 106  
навигационные параметры 27  
навигация 27  
наилучшее равномерное  
приближение 120, 430  
напряженность обслуживания 29  
невозмущенная программная  
траектория 118  
непрерывность 79  
нормализация баз данных 96

## О

обнаружение сигнала 110, 125  
оборудование рабочего места СРС 292  
обработка сообщений бортового  
ответчика 148  
объединенный центр управления  
полетами 218  
операционная система 88, 382  
описывающая функция 118, 388  
оптимальное обнаружение РЛ-пакета  
145  
правило остановки 396  
открытость 80  
оценивание 103

## П

первичная обработка 110  
РЛИ 141  
периодичность вычисления  
управлений 71 планирование полетов  
предварительное 89  
суточное 89  
текущее 90  
порог обнаружения 144  
послойное формирование  
изображения 135, 209  
потенциально конфликтная ситуация  
26, 249  
правила остановки наблюдений 123  
принцип «легального перекрытия»  
210  
программные движения 117  
прозрачные окна 210  
пропускная способность 21  
протокол 83, 196, 276, 425  
псевдодальность 56

## Р

разрешающая  
способность 125  
регулярность 23  
решающее правило 145

## С

самолетный ответчик 125  
сглаженные координаты  
156  
сенсорный экран 297  
сервер 82  
сертификат 339  
система аэроконтроля 72  
системы управления  
базами данных 97  
скользящее сглаживание  
155  
скрытые затраты 86  
слот 192  
совмещенное  
отображение 206  
состав сообщения 64,  
153, 373  
спорная ситуация 166  
стандарт частоты 60  
статистики 25, 171, 409  
строб 110, 161  
суперфрейм 195  
суперЭВМ 83, 84

## Т

точечная оценка 118  
транспондер 191

## У

устойчивость  
наблюдения 79  
— программы 88

## Ф

фазовые координаты 386

## Х

характеристики  
обнаружения одиночного им-  
пульса 145

## Ц

целостность 79, 344  
циклический код 271

## Ч

частная ортодромия  
35,117

## Ш

шлюз 189  
шум 145

## Э

экономичность 2  
экстраполированные координаты 156  
эргономичность 79  
эфемерида 57  
эшелон 363

# Оглавление

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| Предисловие                         | ..... |
| Введение                            | ..... |
| Список основных условных сокращений | ..... |

## Раздел первый

### Автоматизация процессов организации и обслуживания воздушного движения

## Глава 1. Информационные аспекты обеспечения движения в воздушном пространстве

- 1.1 Движение в воздушном пространстве
  - 1.1.1. Структура воздушного пространства
  - 1.1.2 Разделение воздушного пространства Характеристики основных элементов
  - 1.1.3 Пропускная способность элемента воздушного пространства
  - 1.1.4 Экономичность, регулярность и безопасность
- 1.2 Организация полетов и аэронавигационное обслуживание
  - 1.2.1 Организация воздушного движения
  - 1.2.2 Задачи воздушной навигации
  - 1.2.3 Управление воздушным движением
  - 1.2.4 Аэронавигационное обслуживание полетов.  
Средства аэронавигационного обслуживания
- 1.3 Информационное обеспечение полетов в воздушном пространстве
  - 1.3.1 Земные навигационные системы координат
  - 1.3.2 Уравнения траекторного движения
  - 1.3.3 Датчики навигационной информации
  - 1.3.4 Оценка объемов информации
  - 1.3.5 Метеоинформация
- 1.4 Стратегия развития системы CNS/ATM
  - 1.4.1 Обоснование и основные положения новой стратегии развития .
  - 1.4.2 Связь с потребностями пользователей воздушного пространства
    - 1.4.3 Общая характеристика стратегии
  - 1.4.4 Реализация стратегии

## Глава 2 Спутниковые технологии в гражданской авиации

- 2.1 Спутниковая навигация
- 2.2 Структура и характеристики СРНС
  - 2.2.1 Принцип действия
  - 2.2.2 Точностные характеристики
  - 2.2.3 Передаваемая СРНС информация
- 2.3 Расширение функций СРНС
  - 2.3.1 Дифференциальный режим
  - 2.3.2 Перспективы развития глобальной спутниковой системы связи и передачи данных
  - 2.3.3 Построение бортовых систем предотвращения столкновений

## Глава 3 Принципы автоматизации процессов УВД

- 3.1 Цели и задачи, решаемые при автоматизации
  - 3.1.1 Необходимость и закономерность автоматизации процессов УВД
  - 3.1.2 Предпосылки перехода к качественно новому типу систем аэроконтроля
- 3.2 Информационные технологии разработки и проектирования
  - 3.2.1 Общая характеристика подхода
  - 3.2.2 Построение информационной модели системы
- 3.3 Функции перспективных автоматизированных систем
  - 3.3.1 Функции автоматизированных систем УВД
  - 3.3.2 Общие требования к технической реализации
  - 3.3.3 Архитектура информационно-вычислительной системы

- 3.4 Аппаратные и программные средства
- 3.4.1 Масштаб реального времени
- 3.4.2 Вычислительная мощность
- 3.4.3 Принципы выбора аппаратных и программных средств

#### **Глава 4 Автоматизация обработки плановой информации**

- 4.1 Назначение системы обработки плановой информации
- 4.1.1 Организация системы планирования в России
- 4.1.2 Задачи автоматизации процессов планирования воздушного движения
- 4.2 Информационная структура системы планирования
- 4.2.1 Состав информации
- 4.2.2 Техническая реализация системы обработки плановой информации
- 4.3 Организация обмена плановой информацией
- 4.3.1 Взаимодействие с центрами коммутации сообщений
- 4.3.2 Взаимодействие с автоматизированной системой ППВД ЗЦ
- 4.3.3 Взаимодействие между смежными органами УВД, оснащенными АС УВД с функцией обработки планов полетов
- 4.3.4 Взаимодействие с автоматизированными системами и средствами метеорологического обеспечения полетов
- 4.4. Программное обеспечение для решения задач планирования
- 4.4.1 Принципы построения баз данных и их классификация
- 4.4.2 Средства управления базами данных
- 4.4.3 Обеспечение надежности и резервирование данных. Способы оптимизации
- 4.4.4 Базы данных как основа построения плановой подсистемы

### Раздел второй

#### **Автоматизация наблюдений за воздушной обстановкой**

#### **Глава 5 Наблюдение при управлении воздушным движением**

- 5.1 Особенности процессов наблюдения
- 5.1.1 Новые подходы
- 5.1.2 Характеристика задач наблюдения при УВД
- 5.1.3 Архитектура типовой схемы наблюдения нового поколения
- 5.2. Формализация и структуризация процесса наблюдения при УВД
- 5.2.1 Схема наблюдения
- 5.2.2. Формализация процесса наблюдения
- 5.2.3 Получение измерительной информации
- 5.2.4 Декомпозиция общего процесса измерения-наблюдения
- 5.3.Методы наблюдений
- 5.3.1 Вероятностные методы обработки наблюдений
- 5.3.2 Информационные множества
- 5.3.3 Об устойчивости наблюдения
- 5.4 Оценивание координат и параметров программных траекторий
- 5.4.1 Программные движения и траектории
- 5.4.2 Точечные оценки
- 5.4.3 Интервальные оценки на основе информационных множеств
- 5.5 Последовательное наблюдение и построение траекторий
- 5.5.1 Предварительные замечания
- 5.5.2 Идентификация траекторий методом информационных множеств
- 5.5.3 Анализ с позиций теории оптимальных правил остановки

#### **Глава 6 Преобразование и отображение «сырого видео» обзорного радиолокатора**

- 6.1 Радиолокационные комплексы АС УВД
- 6.1.1 Общие сведения .....
- 6.1.2 Особенности и характеристики радиолокаторов, применяемых в АС УВД

- 6.2. Оцифровка «сырого видео»
  - 6.2.1. Способы обработки видеосигнала
  - 6.2.2 Квантование *по* времени и уровню
- 6.3 Отображение «сырого видео»
  - 6.3.1 Обработка потоков «лучей»
  - 6.3.2. Алгоритмы отрисовки
  - 6.3.3 Запись и воспроизведение
- 6.4 Сканконвертеры
  - 6.4.1 Назначение
  - 6.4.2 Входные сигналы
  - 6.4.3 Структура сканконвертера

## **Глава 7 Первичная обработка радиолокационной информации**

- 7.1. Методы и алгоритмы первичной обработки
  - 7.1.1 Задачи первичной обработки
  - 7.1.2 Дискретное время и пространство
  - 7.1.3 Обнаружение пакета радиолокационных импульсов и измерение азимута цели
- 7.2 Аппаратура первичной обработки информации
  - 7.2.1 Назначение и функции
  - 7.2.2 Структура и характеристики АПОИ

## **Глава 8 Вторичная обработка информации**

- 8.1 Задачи вторичной обработки
- 8.2 Сглаживание и экстраполяция
  - 8.2.1 Скользящее сглаживание
  - 8.2.2 Рекуррентный I-фильтр первого порядка
- 8.3 Пространственно-временное стробирование
  - 8.3.1 Назначение стробов
  - 8.3.2 Построение стробов методами информационных множеств
- 8.4 Автоматическое сопровождение.....
  - 8.4.1 Каналы автосопровождения
  - 8.4.2 Идентификация отметок и разрешение спорных ситуаций
  - 8.4.3 Ввод в сопровождение и автозахват
- 8.5 Фиксация момента изменения характера движения
  - 8.5.1 Алгоритмы, использующие стробы
  - 8.5.2 Построение статистик с использованием информационных множеств
  - 8.5.3 Последовательный алгоритм обнаружения изменения характера траекторного

## **Глава 9 Мультисенсорное наблюдение**

- 9.1 Общая характеристика и состояние проблемы
- 9.2 Мультирадарная обработка
  - 9.2.1 Содержание мультирадарной обработки
  - 9.2.2 Виртуальный радар
  - 9.2.3 Формирование мультирадарной траектории
  - 9.2.4 Схема алгоритма
- 9.3 Алгоритм мультисенсорной обработки на основе информационных множеств
- 9.4 Совместное использование данных РЛ-контроля и АЗН

## **Глава 10. Системы автоматического зависимого наблюдения**

- 10.1 Типы систем
  - 10.1.1. Возможные варианты построения
  - 10.1.2 Технология АЗН-К и система FANS
  - 10.1.3 Система широковещательного зависимого наблюдения
- 10.2. Организация АЗН-В на базе УКВ ЛПД режима 4
  - 10.2.1 Суперфреймы
  - 10.2.2 Протоколы
  - 10.2.3 Информационные характеристики
- 10.3 Возможности автоматического зависимого наблюдения

- 10.3.1. Использование АЗН для нужд УВД
- 10.3.2 Внедрение АЗН и перспективы его развития

## **Глава 11 Интерфейс «диспетчер—система»**

- 11.1. Основные положения
  - 11.1.1 Требования к интерфейсу
  - 11.1.2 Особенности интерфейса систем отображения
- 11.2 Отображение графической информации
  - 11.2.1. Принципы построения изображений
  - 11.2.2 Конструкция изображений
- 11.3 Управление системой отображения
  - 11.3.1 Функции управления
  - 11.3.2 Устройства ввода

### Раздел третий

## **Автоматизированные системы управления воздушным движением**

### **Глава 12. Автоматизация центров УВД**

- 12.1. Комплексная автоматизация и развитие центров УВД
  - 12.1.1. Место и роль центров в системе обеспечения воздушного движения
  - 12.1.2. Концепция модернизации ЕС ОрВД
  - 12.1.3. Оборудование объединенных центров управления полетами
- 12.2 Типовая аэродромно-районная АС УВД
  - 12.2.1 Требования к АС УВД и ее основные характеристики
  - 12.2.2. Структура и состав системы
- 12.3 Синхронизация времени в системах УВД
  - 12.3.1. Единое системное время
  - 12.3.2 Синхронизация временного сервера по данным GNSS-приемника
  - 12.3.3. Синхронизация часов АРМов
  - 12.3.4 Синхронизация внешних устройств
- 12.4. Средства обеспечения безопасности в информационно-вычислительных сетях
  - 12.4.1. Определение понятия безопасности и ее основные характеристики
  - 12.4.2 Принципы организации системы обеспечения безопасности данных
  - 12.4.3 Методы и средства защиты данных
  - 12.4.4 Механизмы защиты операционных систем
  - 12.4.5 Особенности обеспечения безопасности в АС УВД
- 12.5 Конструкция пультов управления
  - 12.5.1 Требования к пультам
  - 12.5.2 Описание основных конструктивных элементов
  - 12.5.3 Примеры исполнения пультов управления

### **Глава 13 Функции поддержки принятия решения при УВД**

- 13.1 Автоматизация принятия решений
  - 13.1.1 Перечень основных задач
  - 13.1.2 Предотвращение столкновений воздушных судов
- 13.2 Функции предупреждения столкновений в АС УВД
  - 13.2.1 Обнаружение и предотвращение конфликтных ситуаций
  - 13.2.2 Прогноз воздушной обстановки
  - 13.2.3 Обнаружение потенциально конфликтных ситуаций
  - 13.2.4 Проблема ложных тревог
- 13.3 Использование плановой информации
  - 13.3.1 Оперативная плановая информация
  - 13.3.2 Функция корректировок плановой траектории
- 13.4. Обнаружение и разрешение потенциально конфликтных ситуаций при полной наблюдаемости
  - 13.4.1 Сравнительный анализ бортовых и наземных средств



- 13.4.2 Модифицированныйт-критерий
- 13.4.3 Информационная задача сближения-уклонения

## **Глава 14 Передача информации**

- 14.1 Виды информации
  - 14.1.1 Сбор информации
  - 14.1.2 Характеристики источников информации о воздушной обстановке
- 14.2 Способы и средства передачи данных
  - 14.2.1 Кодирование информации
  - 14.2.2 Цифровые каналы передачи данных
- 14.3 Протоколы
  - 14.3.1 Протоколы физического уровня для модемной связи.
  - 14.3.2 Транспортные и сетевые протоколы
  - 14.3.3 Протоколы TCP/IP
  - 14.3.4 Протокол ASTERIX
- 14.4 Комплексы средств передачи данных
  - 14.4.1 Задачи, решаемые комплексами
  - 14.4.2 Состав и основные характеристики комплекса «Ладога»

## **Глава 15 Речевая связь**

- 15.1 Задачи системы речевой связи
- 15.2 Структура систем речевой связи
  - 15.2.1 Архитектура и ее элементы
  - 15.2.2 Организация интерфейса «пользователь-система»
- 15.3 Радиосвязь
  - 15.3.1 Организация радиосвязи
  - 15.3.2 Функции управления радиосвязью
- 15.4 Функции управления телефонной связью

## **Глава 16 Комплекс средств автоматизации планирования воздушного движения**

- 16.1 Назначение и состав подсистемы планирования
  - 16.1.1 Назначение и структура системы
  - 16.1.2 Автоматизированные рабочие места
- 16.2 Программное и информационное обеспечение
  - 16.2.1 Программная оболочка системы планирования «Планета»
  - 16.2.2 Таблицы данных
- 16.3 Функции и работа системы
  - 16.3.1 Работа с окнами просмотра и редактирования записей
  - 16.3.2 Ведение текущего и суточного плана
  - 16.3.3 Архивы данных
- 16.4 Взаимодействие с источниками данных

## **Глава 17 Технологическое управление системами и информационно-справочное обеспечение**

- 17.1 Принципы построения систем технологического управления
  - 17.1.1 Задачи идентификации и управления состоянием системы
  - 17.1.2 Специализированные системы технологического управления
- 17.2 Подсистема диагностики и управления АС УВД
  - 17.2.1 Структура подсистемы диагностики
  - 17.2.2 АРМ инженера ЛАЗа
- 17.3 Справочно-информационная подсистема
  - 17.3.1 Назначение и структура справочно-информационной подсистемы
  - 17.3.2 Функции серверов и рабочих мест СИП
  - 17.3.3 Информационная база СИП

## **Глава 18. Документирование информации**

- 18.1 Назначение аппаратуры документирования
- 18.2 Структура и характеристики системы документирования

- 18.2.1 Типы устройств хранения данных
- 18.2.2 Структура цифрового магнитофона
- 18.3 Работа аппаратуры
- 18.3.1 Ввод информации
- 18.3.2 Воспроизведение записанной информации
- 18.3.3 Разграничение прав доступа

## **Глава 19 Тренажер**

- 19.1 Структура и характеристики тренажеров
- 19.1.1 Назначение тренажера и требования к нему
- 19.1.2 Состав тренажера
- 19.1.3 Программное обеспечение
- 19.1.4 Автоматизированные рабочие места и дополнительные блоки
- 19.2 Функции и программы
- 19.2.1 Генератор упражнений
- 19.2.2 Настройка рабочих мест и запуск тренажера
- 19.2.3 Модули генерации структуры воздушного пространства и картографической информации

### **19.3. Режимы**

- 19.3.1 Настройка пунктов УВД и рабочих мест
- 19.3.2 Работа инструктора
- 19.3.3 Учет тренировок

## **Глава 20 Эксплуатация КСА и АС УВД**

- 20.1 Нормирование технико-эксплуатационных характеристик
- 20.1.1 Определение объекта радиотехнического обеспечения полетов
- 20.1.2 Стандартизация и сертификация оборудования
- 20.1.3 Испытания средств радиотехнического обеспечения полетов
- 20.2 Управление надежностью функционирования АС УВД
- 20.2.1 Факторы надежности
- 20.2.2 Анализ эксплуатационных характеристик надежности
- 20.2.3 Учет условий эксплуатации
- 20.3 Эксплуатационная документация
- 20.3.1. Виды эксплуатационных документов.
- 20.3.2 Комплектность эксплуатационных документов
- 20.3.3 Запасные части и принадлежности
- 20.4. Взаимодействие поставщика с эксплуатантами
- 20.4.1 Этапы разработки и испытаний
- 20.4.2 Ввод в строй и эксплуатация
- 20.4.3 Организация постгарантийного обслуживания
- 20.4.4 Перспективные интегральные информационные технологии

## **Приложения**

- 1. Нормы эшелонирования в воздушном пространстве
- 2. Принципы и стоимостная основа расчетов сборов за АНО
- 3. Математические модели подвижных объектов
- 4. Количественное измерение информации
- 5. Характеристика сообщений при наблюдении за воздушным движением
- 6. План реализации стратегии CNS/ATM
- 7. Обзор операционных систем
- 8. Таблица адресования стандартных сообщений о движении воздушных судов в центры ОрВД по их подчиненности
- 9. Пример организации базы данных системы планирования воздушного движения
- 10. Управление и наблюдение в теории динамических систем
- 11. Определение информационного множества

12. Методы приближения функции измерений
13. Метод I-оценивания
14. Оптимальные правила останковки
15. Нормы на тактико-технические характеристики обзорных РЛС АС УВД
16. Квантование непрерывных величин. Аналого-цифровое преобразование сигналов и цифровые фильтры.
17. Характеристики оптимального обнаружения пакета радиолокационных импульсов 403
18. Пример построения множества прогноза
19. Ситуации наложения стробов
20. Достаточные статистики
21. Модели графических данных
22. О развитии технических средств автоматизации УВД нового поколения
23. Зарубежные АС УВД
24. Автоматизированная система EUROCAT 2000 для центров УВД
25. Механизмы защиты ОС UNIX
26. Линии связи и внешний интерфейс
27. Сетевой протокол X.25
28. Адресация и маршрутизация в TCP/IP
29. Протокол «Телекс»
30. Номенклатура эксплуатационных документов

Список рекомендуемой литературы

Предметный указатель

ISBN 5-7325-0779-5



УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Рашид Мухлисович **Ахмедов**, Андрей Алексеевич **Бибутов**,  
**Игорь Валентинович Бутенко**, Андрей Викторович **Васильев**, Дмитрий Юрьевич **Воеводин**,  
Вячеслав Викторович **Должиков**, Олег Александрович **Евтушенко**, Дмитрий Викторович  
**Казначеев**, Анатолий Олегович **Любезников**,  
Александр Евгеньевич **Мельников**, Сергей Григорьевич **Пятко**, Александр Вадимович  
**Смелков**, Дмитрий Николаевич **Степанов**. Игорь Михайлович **Танюхин**, Сергей Дмитриевич  
**Яновец**

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ  
ДВИЖЕНИЕМ:**

Новые информационные технологии Под редакцией С. Г. *Пятко* и А. И. *Красова*

Заведующая редакцией *Е. В. Шарова*.

Редактор *В. И. Важенко*. Переплет художника *Е. Ёлишиной*. Технический редактор *Т. М. Жилич*.

Корректоры *Е. П. Смирнова*, *З. С. Романова*.

Компьютерная графика *З. Ф. Личенко*, *Ю. С. Сысоевой*.

Компьютерная верстка *Ю. А. Окуневой*

