

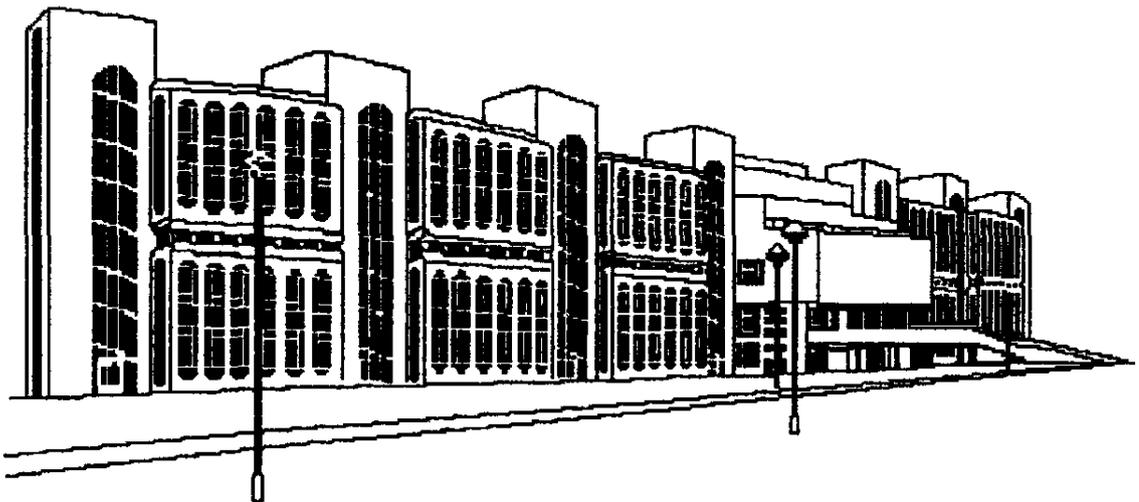
**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

Л.Е.Рудельсон

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ**

Часть II

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ



Москва – 2005

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

**Кафедра вычислительных машин, комплексов, систем и сетей
Л.Е.Рудельсон**

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ**

Часть II

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Книга 6

**ОБРАБОТКА ДАННЫХ
АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАВИСИМОГО НАБЛЮДЕНИЯ**

**Утверждено Редакционно-
издательским советом МГТУ ГА
в качестве учебного пособия**

Москва – 2005

ББК 0580.2
Р83

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Московского государственного технического университета ГА
Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В.Д.Рубцов,
канд. техн. наук Д.М.Сурков (МКБ «Компас»)

Рудельсон Л.Е.

Р83 Программное обеспечение автоматизированных систем управления
воздушным движением. Часть II. Функциональное программное обес-
печение. Книга 6. Обработка данных автоматического зависимого на-
блюдения – М.: МГТУ ГА, 2005.- с 96.

ISBN.....

Излагается схема управления воздушным движением с использо-
ванием спутниковых систем навигации. Определяются назначение и
структура комплекса средств автоматического зависимого наблюдения
и программного обеспечения для обработки информации. Формули-
руются требования к программной поддержке технологии работы дис-
петчера с использованием данных автоматического зависимого наблю-
дения. Приводятся алгоритмы организации сеансов обмена информа-
цией с бортами, оснащенными аппаратурой автоматического зависи-
мого наблюдения, и алгоритмы ее обработки.

Пособие рассчитано на студентов специальностей 22.01.00 и
20.13.00 очной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры ВМКСС 08.04.05
и методического совета 08.04.05.

Р $\frac{2404000000 - 032}{Ц 33 (03)}$

ББК 0580.2
св. тем. план 2005
поз.

© Московский Государственный Технический
Университет Гражданской Авиации, 2005

Св. тем. план 2005 г.
поз.

РУДЕЛЬСОН Лев Ефимович

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Часть II

Функциональное программное обеспечение

Книга 6

Обработка данных

автоматического зависимого наблюдения

Учебное пособие

Редактор Г.В.Токарева

ЛР №020580 от 05.09.01 г.

Подписано в печать

Печать офсетная

Формат 60x84/16

6,0 уч.-изд. л.

усл.печ.л.

Заказ №

Тираж экз.

Московский Государственный Технический Университет ГА

125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д.20

Редакционно-издательский отдел

125493 Москва, ул. Пулковская, д.6а

ISBN.....

© Московский Государственный Технический
Университет Гражданской Авиации, 2005

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Предисловие..... | 5 |
| 1. ВВЕДЕНИЕ..... | 6 |
| 1.1. Спутниковая навигация и связь..... | 6 |
| 1.2. Концепция совершенствования наблюдения..... | 7 |
| 1.3. Функции комплекса программ обработки данных АЗН..... | 10 |
| 2. КОНЦЕПЦИЯ ТРЕБУЕМЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ..... | 12 |
| 2.1. Общие положения..... | 12 |
| 2.1.1. Постановка задачи анализа..... | 12 |
| 2.1.2. Концепция требуемых радионавигационных параметров для этапов захода на посадку и посадки..... | 12 |
| 2.1.3. Терминология..... | 14 |
| 2.2. Критерий эффективности полной системы..... | 16 |
| 2.2.1. Описание туннелей..... | 16 |
| 2.2.2. Целевой уровень безопасности..... | 18 |
| 2.2.3. Этапы захода на посадку и посадки..... | 20 |
| 2.3. Методы обеспечения ТРП при полетах по DGNSS..... | 22 |
| 2.3.1. Дополнение космической группировки..... | 23 |
| 2.3.2. Наземное оборудование GNSS..... | 24 |
| 2.3.3. Широкозонная дифференциальная система..... | 27 |
| 2.3.4. Концепция построения системы контроля целостности и дифференциального режима в Российской Федерации..... | 31 |
| 3. ПРОГРАММНАЯ ПОДДЕРЖКА ТЕХНОЛОГИИ УВД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАВИСИМОГО НАБЛЮДЕНИЯ..... | 37 |
| 3.1. Предварительные сведения..... | 37 |
| 3.1.1. Перечень решаемых задач..... | 37 |
| 3.1.2. Функции установления связи..... | 38 |
| 3.1.2.1. Идентификация возможностей линии передачи данных..... | 38 |
| 3.1.2.2. Выбор и регистрация линии передачи данных..... | 39 |
| 3.1.2.3. Предварительный выбор соглашения АЗН..... | 41 |
| 3.1.3. Функции этапа непосредственного управления..... | 41 |
| 3.1.3.1. Сравнение данных о четырехмерном профиле..... | 41 |
| 3.1.3.2. Функции ПО при подлете ВС к зоне действия системы..... | 43 |
| 3.1.3.3. Подтверждение соответствия бортового профиля..... | 44 |
| 3.2. Взаимодействие ПО с диспетчерским персоналом..... | 45 |
| 3.2.1. Обеспечение персонала обновляемой картиной воздушной обстановки..... | 45 |
| 3.2.2. Схема автоматизированного сопровождения ВС по данным АЗН..... | 47 |
| 3.2.3. Автоматизированная передача управления и связи между наземными центрами..... | 47 |

| | |
|---|----|
| 3.2.4. Автоматизированная передача управления органу УВД, не оборудованному аппаратурой АЗН..... | 49 |
| 3.3. Системные функции ПО обработки данных АЗН..... | 49 |
| 3.3.1. Управление цифровой линией связи «диспетчер-пилот»..... | 49 |
| 3.3.2. Контроль и автоматическая передача бортовых полетных данных..... | 51 |
| 3.3.3. Программная поддержка аварийного режима работы..... | 52 |
| 3.3.4. Требования системы АЗН к ПО наземного центра АС УВД... | 53 |
| 4. ПРОГРАММНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАВИСИМОГО НАБЛЮДЕНИЯ | 56 |
| 4.1. Состав и структура кодограмм сообщений АЗН..... | 56 |
| 4.1.1. Основной блок доклада АЗН | 56 |
| 4.1.2. Опознавательный индекс ВС..... | 58 |
| 4.1.3. Планируемый профиль..... | 59 |
| 4.1.4. Вектор путевой скорости..... | 61 |
| 4.1.5. Вектор истинной скорости ВС..... | 61 |
| 4.1.6. Погодные условия полета..... | 62 |
| 4.1.7. Сменный код ИКАО..... | 64 |
| 4.1.8. Альтернативные блоки участков маршрута..... | 65 |
| 4.1.9. Расширенный плановый профиль..... | 66 |
| 4.2. Построение пространственно-временной траектории полета ВС..... | 68 |
| 4.2.1. Общие положения..... | 68 |
| 4.2.2. Коммутатор модели полета..... | 69 |
| 4.2.3. Расчет участка набора высоты..... | 71 |
| 4.2.4. Расчет участка снижения..... | 75 |
| 4.2.5. Расчет участка горизонтального полета..... | 78 |
| 4.2.6. Расчет текущего местоположения ВС..... | 79 |
| 4.3. Отображение информации АЗН | 84 |
| 4.3.1. Общие положения..... | 84 |
| 4.3.2. Отображение координатной информации о ВС..... | 87 |
| 4.3.2.1. Символ трека..... | 87 |
| 4.3.2.2. Формат формуляра трека..... | 92 |
| 4.3.2.3. Цветовая индикация треков | 93 |
| 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 95 |
| Литература..... | 96 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное пособие входит во вторую часть серии «Программное обеспечение автоматизированных систем управления воздушным движением» (ПО АСУ ВД), подготовленной кафедрой Вычислительных машин, комплексов, систем и сетей для организации учебного процесса в рамках одноименной дисциплины. В соответствии с традиционным делением ПО на системную и функциональную составляющие, первая часть «Системное программное обеспечение» объединяет в своем составе следующие книги:

- Книга 1. Информационная база автоматизированных систем организации воздушного движения.
- Книга 2. Операционные системы реального времени.
- Книга 3. Управление периферией и вспомогательными процессами.

Вторая часть «Функциональное программное обеспечение» посвящена основным задачам, ради решения которых разворачиваются системы УВД – аэронавигации и управлению потоками воздушного движения. Она освещает вопросы проектирования полной конфигурации системы и содержит книги:

- Книга 4. Модель использования воздушного пространства. Обработка плановой информации.
- Книга 5. Обработка радиолокационной информации.
- Книга 6. Обработка данных автоматического зависимого наблюдения.
- Книга 7. Обработка метеорологической информации. Решение задачи тренажа. Расчет аэронавигационных сборов.
- Книга 8. Программная поддержка интегрированной технологии УВД.

Книга должна восполнить отсутствие учебной литературы по курсу. На основе анализа концепции требуемых радионавигационных характеристик в ней формализуется математическое описание процессов измерения координат и потоки в сети станций дифференциальных поправок. Рассматривается информационное взаимодействие космического, самолетного и наземного сегментов системы. Формулируются требования к программной поддержке технологии работы диспетчера с использованием данных автоматического зависимого наблюдения. Приводятся алгоритмы организации сеансов обмена информацией с бортами, оснащенными аппаратурой автоматического зависимого наблюдения, и алгоритмы ее обработки.

Книга может использоваться в качестве самостоятельного пособия как по системам организации воздушного движения и планирования потоков воздушных судов, так и по средствам программной поддержки диспетчерского персонала на всех этапах планирования и управления воздушным движением.

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 СПУТНИКОВАЯ НАВИГАЦИЯ И СВЯЗЬ. Возможности существующих систем связи, навигации и наблюдения за воздушным движением в целях повышения безопасности и эффективности авиации ограничены зоной их действия. Наличие обширных полей распределенных источников радиометрической информации не снимает проблемы, а лишь переводит ее в другие области. Дальность обнаружения целей наземными радарными не превосходит, как правило, зоны прямой видимости. Особенно остро недостаток измеренных данных ощущается на малых высотах. Локальный характер применения средств навигации становится очевидным в таких зонах воздушного пространства (ВП) как океанические поверхности, пустыни, горные районы и другие труднодоступные местности, где размещение источников наземного базирования или невозможно, или экономически невыгодно [1].

Объединение территорий нескольких смежных районов управления воздушным движением (РУВД) при создании автоматизированной системы (АС) УВД требует наращивания количества радиолокационных позиций (РЛП), что порождает не только экономические затруднения. Среднеквадратическая погрешность измерения местоположения ВС на максимальной дальности обнаружения составляет сотни метров, что не удовлетворяет тактико-техническим требованиям к современным нормам эшелонирования. Помехоустойчивость радиолокационных станций (РЛС) к пассивным, промышленным и взаимным помехам с ростом интенсивности ВД и увеличением количества близко расположенных РЛП снижается.

Традиционные средства связи также строятся на основе радиостанций наземного базирования. Получение удовлетворительных характеристик каналов связи – таких как дальность, пропускная способность, надежность и достоверность – сопряжено с принципиальными трудностями, обусловленными физическими условиями распространения радиоволн, загруженностью допустимых диапазонов, наличием естественных и техногенных помех. Применение космических систем для создания полей наблюдения и связи в значительной степени избавляет от перечисленных затруднений.

По этой причине перспективным средством дальнейшего расширения сферы использования воздушного пространства (ИВП) и обеспечения безопасности полетов является внедрение спутниковой системы связи, навигации и наблюдения. Потребность в кардинальном усовершенствовании систем связи (*Communication*), навигации (*Navigation*), наблюдения (*Surveillance*), организации воздушного движения (*Air Traffic Management*) – CNS/ATM многократно рассматривалась Международной организацией гражданской авиации (ГА), а также на межгосударственном уровне – органами, ответственными за определение порядка ИВП, воздушных трасс и аэродромов.

Концепция развития мирового авиационного сообщества исходит из утверждения, что в будущем спутниковые системы связи, навигации и наблюдения должны стать главными средствами, обеспечивающими безопас-

ное управление ВС и организацию воздушного движения (ОрВД) в глобальном масштабе. Основное понятие CNS/АТМ, которым оперирует Концепция, регламентирует разработку системы управления движением воздушных судов (ВС) в рамках требований к оборудованию, программному обеспечению (ПО), правилам применения, инструкциям по эксплуатации и т.п. Унифицированы основные принципы оснащения и функционирования систем CNS/АТМ [2]:

1. Связное оборудование:

- использование кодированных каналов связи для передачи данных и сообщений;
- использование спутников для обмена данными в труднодоступных местах земной поверхности вместо наземных передающих устройств.

2. Навигационная аппаратура:

Замена локальных навигационных систем (радиомаячных, инерциальных) спутниковыми системами определения координат и параметров движения.

3. Средства наблюдения и УВД:

- замена традиционных средств радиолокационного сопровождения ВС системой автоматического зависимого наблюдения;
- синхронизация операций CNS и уменьшение количества процедур обслуживания воздушного движения;
- оптимизация использования воздушного пространства.

Предполагается, что применение спутниковой системы в задачах УВД предоставит следующие возможности и преимущества:

- создание полей наблюдения и связи в любом регионе планеты с помощью подбора соответствующих конфигураций орбит и количества искусственных спутников земли (ИСЗ);
- организация структуры УВД с учетом местных особенностей, наиболее рациональной для решения задач безопасности и экономичности полетов;
- минимизация влияния условий распространения радиоволн на характеристики каналов наблюдения и связи путем использования дециметрового и сантиметрового диапазонов;
- повышение точности местоопределения ВС благодаря применению дальномерного и разностно-дальномерного методов на любых высотах полета.

1.2 КОНЦЕПЦИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НАБЛЮДЕНИЯ. В настоящее время в стране действует «Концепция совершенствования наблюдения в интересах гражданской авиации Российской Федерации» (РФ). По существу и формально ее содержание согласовано с CNS/АТМ. Наряду с традиционными источниками информации о местоположении ВС на базе первичных и вторичных радиолокаторов (ПРЛ и ВРЛ), в ней предполагается использование автоматического зависимого наблюдения (АЗН) – сбора информации о

движении ВС с использованием сигналов глобальной навигационной спутниковой системы. Основа концепции – рациональное сочетание различных технологических решений в условиях конкретного географического района. В качестве базовых технологий наблюдения рассматриваются:

- первичный радиолокатор (ПРЛ),
- вторичный радиолокатор (ВРЛ),
- вещательное (*broadcasting*) автоматическое зависимое наблюдение – (АЗН-В),
- адресное (*address*) автоматическое зависимое наблюдение – (АЗН – А), или контрактное (*contract*) (АЗН – С).

Технологии ПРЛ и ВРЛ рассмотрены в книге 5 настоящей серии. Это традиционные методы измерения координат контролируемых ВС с помощью наземных средств сопровождения целей. Однако понятие ВРЛ уже связано с относительной потерей независимости наблюдения. Если в классической пассивной радиолокации на основе последовательного анализа эхо-сигналов от радаров АС УВД ПО системы рассчитывает координаты, курс и скорость движения ВС, то активная (вторичная) локация использует навигационный параметр высоты, измеренный бортовым барометрическим альтиметром. «Активность» наземного радара заключается лишь в том, что именно импульсом его передатчика запускается ответчик ВС, транслирующий кодограммы, содержащие измеренные и вычисленные бортовыми системами данные. Полученное сообщение принимается вторичным радиолокатором и передается на вход ПО для дальнейшей обработки. Важно отметить, что сеансы связи организуются наземной аппаратурой, что их периодичность устанавливается длительностью обзора антенны, совершающей вращательное движение вокруг своей оси, что сообщение с борта посылается в ответ на запускающий импульс наземной станции.

Технология вещательного АЗН распространяет функции организации сеансов связи «борт-земля» на самолетные системы. Результаты навигационных измерений, штурманских расчетов (профиль полета), метеорологических параметров окружающей среды передаются по каналам УКВ-связи в центр управления полетами с заранее установленной периодичностью, зависящей не от угловой скорости вращения РЛС, а от потребностей диспетчеров и ПО АС УВД в обновлении данных о состоянии ВС и окружающей его среды. Установленная на борту аппаратура поддерживает интенсивный радиообмен между всеми ВС, участвующими в ВД. Воздушная обстановка, отображаемая диспетчеру, в рамках технологии АЗН-В становится доступной пилоту каждого ВС, оснащенного аппаратурой АЗН. Ограничения, связанные с возможностями бортовых средств навигации, снимаются за счет ретрансляции данных от всех оборудованных системами АЗН участников движения и от центра управления полетами.

Технологии АЗН-А и АЗН-С снимают ограничения по созданию глобального радиометрического поля, так как используют созвездия ИСЗ для задач местоопределения ВС. Для измерения трехмерных навигационных пара-

метров с помощью спутников должны быть выполнены два условия. Во-первых, расчет пространственного положения требует измерения не менее трех параметров ВС относительно ИСЗ. Во-вторых, должны быть известны координаты и параметры движения ИСЗ относительно земли. Положение ВС определяют по результатам дальномерных измерений. Измеряют дальности до трех ИСЗ и составляют три уравнения в прямоугольных координатах:

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

где x_{BC} , y_{BC} , z_{BC} – координаты ВС; x_i , y_i , z_i – координаты i -го ИСЗ, $i = 1, 2, 3 \dots$; r_i – расстояние между ВС и i -м ИСЗ, измеренное бортовыми системами навигации. Решая систему из трех уравнений с тремя неизвестными координатами, определяем местоположение ВС в текущий момент времени. Точность результата зависит от достоверности знания координат трех ИСЗ, от метода определения расстояний до них, от синхронности часов участников процесса, а также от расположения спутников в пространстве. Как и в технологии АЗН-В, в распоряжение всех пилотов предоставляется полная информация о воздушной обстановке. Отличие состоит в том, что поле радиосвязи поддерживается аппаратурой спутников, и весь радиообмен, включая переговоры с диспетчером, осуществляется с ощутимыми задержками. Между собой технологии АЗН-А и АЗН-С различаются чисто формально. Термин АЗН-А акцентирует внимание на реализации адресного обмена данными через конкретно адресуемый канал спутниковой связи. Наземный центр, исходя из местных условий (технических возможностей АС УВД), из возможностей бортовой аппаратуры обслуживаемого ВС, а также из сложности складывающейся воздушной обстановки, заключает так называемый контракт. Он представляет собой соглашение с бортовой системой о составе кодограмм и частоте обмена данными. Количество соглашений ограничено, их выбор производится автоматически. Контрактный характер взаимодействия космического, самолетного и наземного сегментов полной системы УВД подчеркивается термином АЗН-С.

Концепция совершенствования наблюдения призвана обеспечить реализацию перспективных задач ОрВД, сформулированных ИКАО: «свободного полета»; передачи ответственности за эшелонирование на борт ВС; непрерывного обслуживания на всех этапах полета «от перрона до перрона», т.е. с того момента перед вылетом, когда пилот связывается с системой ОрВД, до отключения двигателей после посадки.

Одной из целей концепции является развертывание вещательного АЗН в целях организации воздушного движения в РФ. Однако, по крайней мере, до 2015 года, не предполагается использовать АЗН-В в качестве единственного средства наблюдения. Исключение составляют удаленные районы страны с низкой плотностью движения, в которых отсутствует какая-либо другая радионавигационная инфраструктура. Другими словами, в основном будет реализовываться принцип создания двойного поля сопровождения. Речь идет о полетах гражданских ВС, поскольку решение задач обороноспособности государства, очевидно, всегда будет требовать наличия надежного радиоло-

кационного поля (ПРЛ/ВРЛ), в том числе – и поля ГА.

Определение стратегических направлений развития радионавигации в ГА РФ основывается на следующих основных принципах:

- обеспечение эволюционного перехода от традиционных радиометрических средств к использованию новых технологий с учетом реальных финансово-экономических возможностей страны;
- обеспечение совместимости, взаимодействия и интеграции с мировой аэронавигационной инфраструктурой при сохранении национального контроля и независимости отечественной системы наблюдения;
- в переходный период должны поддерживаться, как минимум, существующие уровни безопасности и обеспечиваться существующий или более высокий уровень обслуживания воздушного движения;
- в процессе внедрения системы представления данных о местоположении на основе новых технологий должны сохраняться существующие уровни целостности, надежности и эксплуатационной готовности действующих систем представления данных о местоположении ВС;
- использование спутниковых каналов связи и передачи данных при организации сетей связи с удаленными объектами ЕС ОрВД.

Основные положения Концепции отражены в конкретных проектах Федеральной целевой программы «Модернизация транспортной системы России (на 2002 – 2010 годы)». Первая в России система ОрВД с совместным использованием технологии АЗН и традиционных методов сопровождения ВС успешно внедрена и с 2003 года эксплуатируется в Магаданском РЦ ЕС ОрВД.

1.3 ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ АЗН. ПО обработки данных АЗН в АС УВД должно поддерживать весь цикл взаимодействия систем навигации, связи, наблюдения, самолетовождения и управления потоками ВС. В задачах спутниковой навигации необходимо, прежде всего, четко отслеживать положение спутников, их измеренные координаты в каждый текущий момент времени, и своевременно составлять прогноз упрежденных координат. От точности представленных в системе данных о спутниках, напомним, зависят результаты всех радионавигационных измерений на ВС, оснащенных аппаратурой АЗН. ИСЗ передают в наземные центры самостоятельно вычисленные параметры собственного движения, которые сопоставляются с результатами, полученными ПО АС УВД. Если сообщения спутника, измеренные и расчетные, не подтверждаются другими источниками, в том числе другими ИСЗ, или расчетные траектории не укладываются в допустимые коридоры погрешности, ПО оповещает технический персонал о необходимости корректировки поступающей информации, либо о прекращении обмена с поставщиком дезинформации в целях сохранения целостности системы. При этом учитываются данные наземной сети станций дифференциальных поправок местоположения ИСЗ.

В функции ПО входит также составление списка ВС, оснащенных аппаратурой АЗН, ожидаемых к обслуживанию системой, и постоянное отсле-

живание данных по таким рейсам – учет телеграфных сообщений о задержке вылета, отмене рейса, координации плана. За определенный интервал до расчетного времени входа ожидаемого рейса в зону действия АС УВД, ПО должно инициировать вступление в контакт и выбор соответствующего сложившейся в РУВД обстановке соглашения АЗН. Программными средствами автоматически назначается адрес спутникового канала передачи данных для обмена между землей и бортом. Все сообщения регистрируются и документируются.

Основные задачи обработки данных АЗН выступают на передний план в процессе непосредственного управления. В распоряжении ПО сосредотачивается информация о рейсах, поступившая ранее с планами полетов, а также от радаров и радиопеленгаторов, от диспетчерских вводов и от докладов АЗН. Эти разнородные сведения нужно сопоставить и подготовить для отображения персоналу. Нужно наглядно, в удобном для восприятия виде, отображать диспетчеру, какие ВС совершают полеты по технологии АЗН, какие используют правила сокращенного минимума вертикального эшелонирования, какие сопровождаются по результатам измерений источников разной физической природы.

ПО АС УВД должно обнаруживать предпосылки к потенциальным конфликтным ситуациям, отклонения от линии заданного пути и от расчетного времени прохождения точек маршрута, а также нарушения правил выполнения полетов – и оповещать о них диспетчера. Все изменения данных о ВС должны фиксироваться в базе данных полетной информации и становиться доступными всем участникам ВД.

В книге изложены вопросы теоретического обоснования методов автоматического зависимого наблюдения на всех уровнях иерархии ЕС ОрВД и освещены принципы взаимодействия диспетчеров УВД по информации спутниковой навигации. Изложена концепция требуемых радионавигационных параметров, позволяющая распределять риск потери целостности полной системы УВД между ее подсистемами и оперативно варьировать их параметрами, приспособляясь к складывающейся воздушной обстановке. Приведены: алгоритмическая схема организации сеансов связи ВС с центрами, состав и содержание докладов АЗН, экранные формы отображения информации диспетчерам. Использованы материалы, подготовленные известными специалистами в области АС УВД – к.т.н. В.Ю.Болтачевым, В.П.Денисчевым, О.Н.Назимовым.

2. КОНЦЕПЦИЯ ТРЕБУЕМЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ

2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1.1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ АНАЛИЗА. Объектом данного обзора являются требуемые навигационные параметры при заходе на посадку, посадке и вылете – и программные методы их обеспечения. Цель анализа состоит в исследовании концепции требуемых навигационных параметров (*Required Na-*

avigation Parameters – RNP), разработанной экспертами ИКАО, в аспекте ее информационной (программной) поддержки. В отечественной литературе термин «требуемые навигационные параметры» (ТНП) нередко заменяется синонимом «требуемые навигационные характеристики» (ТНХ).

Выдвинутая комитетом FANS (*Future Air Navigation Systems – будущие аэронавигационные системы*) ИКАО концепция развития средств аэронавигации предусматривает использование глобальной спутниковой навигационной системы (GNSS – *Global Navigation Satellite System*). Согласно формулировке ИКАО (*International Civil Aviation Organization – Международная организация Гражданской Авиации*), GNSS является всемирной системой определения местоположения и времени, которая развертывается на нескольких созвездиях спутников и включает в свой состав бортовые приемники и систему контроля целостности. Система открыта для наращивания дополнительными возможностями в целях обеспечения требуемых навигационных параметров. Подавляющее большинство стран – членов ИКАО, в том числе и Россия, заявили, что предполагают использовать ТНП в качестве основы создания средств захода на посадку, и что они свертывают программы перехода на MLS (*Microwave Landing System – микроволновая система посадки*).

Концепция ТНП предусматривает снижение требований к точности навигационного оборудования за счет применения более совершенных средств пилотирования. Внедрение этой концепции может привести к тому, что ВС, сертифицированные для захода на посадку по ILS (*Instrumental Landing System – инструментальная система посадки метрового диапазона*), могут не удовлетворять соответствующим требованиям ТНП. В первую очередь это относится к старому парку летательных аппаратов, который в основном эксплуатируется в РФ. Более того, полеты в условиях ТНП позволят обеспечить зональную навигацию и полеты по криволинейным (свободным) траекториям посадки, что требует программной поддержки, но дает значительный эффект экономии летного времени (и расхода топлива). Этим объясняется стремление западных стран в кратчайшие сроки реализовать концепцию ТНП.

2.1.2. КОНЦЕПЦИЯ ТРЕБУЕМЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ЭТАПОВ ЗАХОДА НА ПОСАДКУ И ПОСАДКИ. Распространение концепции требуемых радионавигационных параметров на этапы захода на посадку и посадки взамен концепции, основанной на обязательном наличии определенной номенклатуры бортового оборудования, дает возможность при сохранении требуемого уровня безопасности полетов внедрять новые средства и методы захода на посадку, что оказывает прогрессивное влияние на развитие авиации.

Существенным позитивным фактором в концепции ТНП является представление параметров как функций авиационно-космической системы в целом, а не как характеристик исключительно навигационных измерительных приборов. При этом общая погрешность системы (ОПС) рассматривается как совокупность погрешностей навигационной системы (ПНС) и погрешности техники пилотирования (ПТП). Такой подход дает более широкие возможности по использованию новых радионавигационных средств, так как

позволяет при меньших значениях ПТП допускать более высокие значения ПНС и наоборот. В частности, внедрение дифференциальной глобальной навигационной спутниковой системы (DGNSS – *Differential Global Navigation Satellite System*) для этапов захода на посадку и посадки затруднено тем, что точность вертикального канала DGNSS не удастся довести до уровня требований, предъявляемых регламентирующими документами. Вместе с тем, постоянно совершенствующиеся системы пилотирования ВС позволяют повысить точность самолетовождения и, при использовании концепции ТНП, ослабить требования по точности к навигационной системе.

Важным следствием внедрения концепции ТНП является замена требования обязательного наличия конкретного состава оборудования на борту ВС более свободным общим требованием, предъявляемым к рабочим характеристикам. Это позволяет поддерживать заданные показатели безопасности ВД более экономично, ориентируясь на возможности установленного в настоящее время оборудования и на стоимость новых радионавигационных инструментов, учитывая необходимость подготовки персонала и технического обслуживания. Предоставляемая концепцией ТНП гибкость выбора при оснащении пользователей техникой, дает возможность быстрее, чем при существующей в настоящее время практике, внедрять новые схемы бортового радиоэлектронного оборудования. В связи с этим более широкое распространение получают, в частности, спутниковые навигационные системы (СНС).

Второе достоинство концепции ТНП заключается в том, что обусловленные типом ВП требования можно устанавливать на основе физических характеристик местности, интенсивности и сложности ВД конкретного маршрута или района путем оперативных программных вычислений, а не исходя из параметров оборудования. Применительно к этапу захода на посадку это, в свою очередь, создает возможность точного выполнения маневров при:

- более низких минимумах пилотов;
- использовании взлетно-посадочных полос (ВПП), которые сейчас не обеспечивают точные заходы вследствие наличия препятствий, или на близко расположенных ВПП;
- заходе на посадку на данную ВПП с выбором одного из нескольких маршрутов как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях.

Третьим преимуществом концепции ТНП является то, что составляющие ее параметры можно использовать в качестве стандартов для предполагаемых новых систем, которые не зависят от технических средств. Параметры ТНП могут служить основой для оценки этих систем, в том числе для сопоставления различных технологий и физических принципов работы. Например, непосредственное сравнение точностных характеристик существующих систем посадки (ILS, MLS) с СНС затруднено тем, что они измеряют разные величины. Оценка с помощью ТНП снимает эту проблему.

К недостаткам концепции относится увеличение уровня ответственности, возлагаемой на органы стандартизации и на регламентирующие полномочные органы, а также некоторый рост расходов эксплуатантов на приобре-

тение и установку оборудования, что обусловлено расширением набора бортовых приборов, их комплексированием и усложнением ПО.

2.1.3. ТЕРМИНОЛОГИЯ. Под *авиационно-космической (полной) системой* в целом в материалах ИКАО понимается функционально связанная совокупность собственно ВС, его бортовой аппаратуры, наземного и космического оборудования, линий передачи данных, а также информационных средств управления и обеспечения полетов, предназначенная для удержания ВС в пределах коридора воздушного пространства. Назначение системы ограничено тем, чтобы ВС в реальном движении по маршруту (по линии фактического пути) в пределах норм допустимых отклонений придерживалось запланированной пространственно-временной траектории полета, т.е. линии заданного пути. Такая система ориентируется на комплексное решение задачи самолето-вождения. Функции управления потоками ВС на нее не возлагаются.

Требуемые радионавигационные параметры представляют собой комплекс радионавигационных характеристик, которые нужно обеспечивать в пределах контролируемого воздушного пространства. Для этапов захода на посадку и посадки ТНП сосредоточиваются в следующие основные характеристики авиационно-космической системы:

- точность;
- целостность;
- непрерывность обслуживания;
- готовность.

Перечисленные характеристики не оценивают эффективность ПО АС УВД, они являются показателями качества входных данных для его работы.

Точность называется способность полной системы определять положение ВС в каждой точке установленной схемы полета с известной вероятностью в заданных требованиях пределах. Применительно к этапам захода на посадку и посадки выделяют внутренние и внешние границы областей (туннели), внутри которых должно удерживаться ВС в своем движении. Внутренние границы должны выдерживаться с вероятностью 0.95, а внешние 0.9999999 ($1 - 10^{-7}$). Связанный с точностью риск R_m представляет собой вероятность выхода ВС за установленные (внутренние или внешние) границы.

Целостность – способность полной системы информировать потребителя о выходе текущих погрешностей измерений за допустимые пределы. Напомним, что общеупотребительное значение термина трактуется шире – это способность системы выполнять свои функции при снижении работоспособности ее элементов и при изменении характеристик среды – за счет сохранения системообразующих связей. В авиационно-космической системе вопросы самовосстановления пока не выходят на первый план. В качестве количественной характеристики целостности здесь обычно используют вероятность и среднее время обнаружения соответствующего ухудшения качества измерений. Целостность характеризует доверие, с которым можно относиться к правильности информации, выдаваемой системой. Связанный с целостностью риск R_c представляет собой вероятность необнаруженного отка-

за, который может привести к потере установленной точности.

Непрерывность обслуживания есть способность полной системы выполнять свои функции без прерывания режима работы при осуществлении запланированных операций. В отличие от свойства целостности, это качество характеризует не адаптацию к изменению траектории эволюции системы, а ее внутренние возможности в отрыве от неблагоприятного воздействия окружающей среды. Связанный с *непрерывностью обслуживания* риск R_n представляет собой вероятность того, что режим работы системы будет нарушен, и система не представит радионавигационной информации в процессе выполнения запланированной операции.

Готовность есть способность полной системы выполнять свои функции в момент начала любой планируемой операции. Связанный с готовностью риск R_g представляет собой вероятность того, что требуемое радионавигационное измерение не будет обеспечиваться в момент начала выполнения планируемой операции.

Все рассмотренные параметры характеризуют полную систему, в которой можно выделить самолетный сегмент как часть полной системы, располагаемую на борту, и несамолетный сегмент, располагаемый вне ВС и включающий наземные и космические элементы.

При рассмотрении точности радионавигации в рамках концепции ТНП используют понятие *общей погрешности системы* (ОПС), которая характеризует точность полной системы, необходимую для управления местоположением ВС относительно предварительно намеченной траектории. ОПС оценивается исходя из истинного положения ВС по отношению к намеченному. Она представляет собой нормированную сумму погрешностей отдельных компонент полной системы: навигационной системы (погрешность навигационной системы), системы индикации и системы управления или наведения (погрешность, обусловленная техникой пилотирования). Если погрешность индикации незначительна в сравнении с другими компонентами, то ее величиной пренебрегают, и ОПС определяется как сумма погрешности навигационной системы и погрешности, обусловленной техникой пилотирования.

Погрешность навигационной системы есть точность средств местопределения ВС в заданной системе координат. Она определяется на выходе навигационного датчика и представляет собой сумму погрешностей, обусловленных методами измерений, источниками сигналов и их спецификой, бортовой обработкой данных и бортовым вычислителем.

Погрешность, обусловленная техникой пилотирования, характеризует точность управления ВС, измеряемую путем сопоставления его индикаторного местоположения с заданным или намеченным местоположением.

В определении ОПС словосочетание «нормированная сумма погрешностей» понимается в широком смысле – как способ сведения воедино погрешностей подсистем интегрированной (объединенной) системы. Если расчет погрешности производится одновременно в фиксированные моменты времени, то общий результат на те же моменты рассчитывается как алгебраическая

сумма составляющих. Если же оценка производится по статистическим выборкам, и погрешности отдельных подсистем рассматриваются как независимые случайные величины, то среднеквадратическое значение ОПС вычисляется как квадратный корень из суммы квадратов погрешностей подсистем.

С целью контроля безопасности полетов при внедрении концепции ТНП на каждом этапе анализируется *целевой уровень безопасности*. Под этим термином понимают величину вероятности вовлечения одиночного ВС в летное происшествие, которую должна обеспечивать полная система.

2.2. КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛНОЙ СИСТЕМЫ

2.2.1. ОПИСАНИЕ ТУННЕЛЕЙ. Для этапов захода на посадку и посадки концепция ТНП тесно связана с понятием границ областей или туннелей. Под туннелями понимают области воздушного пространства вокруг траектории полета, в которых должно находиться ВС при выполнении захода на посадку и посадки. ПО отслеживает и прогнозирует местонахождение ВС. При конкретизации понятия туннелей выделяют внешний и внутренний туннели.

Внутренний туннель представляет собой фиксированные границы фактического положения центра масс ВС. Пересечения этих границ с каждой вертикальной плоскостью, перпендикулярной земной проекции намеченной траектории полета, образуют прямоугольник с горизонтальными и вертикальными сторонами, центр которого находится на пересечении намеченной траектории с той же самой плоскостью. В любой точке намеченной траектории центр масс ВС должен располагаться между горизонтальными сторонами такого прямоугольника с вероятностью 0.95 и между вертикальными его сторонами с вероятностью 0.95.

Внешний туннель представляет собой границы положения ВС в его движении таким образом, что при выполнении планируемой операции центр масс должен оставаться внутри этих границ с вероятностью 0.9999999. Сечение внешнего туннеля вертикальной плоскостью образует, как и для внутреннего туннеля, прямоугольник с центром в точке пересечения намеченной траектории с этой плоскостью (рис. 2.1).

Причины летных инцидентов в туннеле не носят систематического характера. Их поток рассматривается как случайный и независимый, что позволяет характеризовать его соответствующими вероятностями или рисками наступления событий. Риск нарушения туннеля для полной системы представляют нормированной совокупностью рисков, присвоенных отдельным параметрам ТНП: риска потери точности R_m , риска потери целостности R_c и риска потери непрерывности обслуживания R_n . Готовность в этой модели не влияет непосредственно на риск нарушения туннеля, а определяет лишь вероятность того, что осуществляемое в момент начала снижения ВС наведение обеспечивается в туннеле конечного этапа захода на посадку.

Схема туннелей представлена на рис. 2.1. Размечены зоны приземления и пробега, образующие границы областей этапа посадки. Предварительные рекомендации ИКАО для программных расчетов по размерам туннелей све-

дены в табл. 2.1 и 2.2. В них для различных значений высоты (при наклоне глиссады 3,0 градуса) приведены значения полуширины внешнего (табл. 2.1) и внутреннего (табл. 2.2) туннелей для соответствующих категорий посадки.

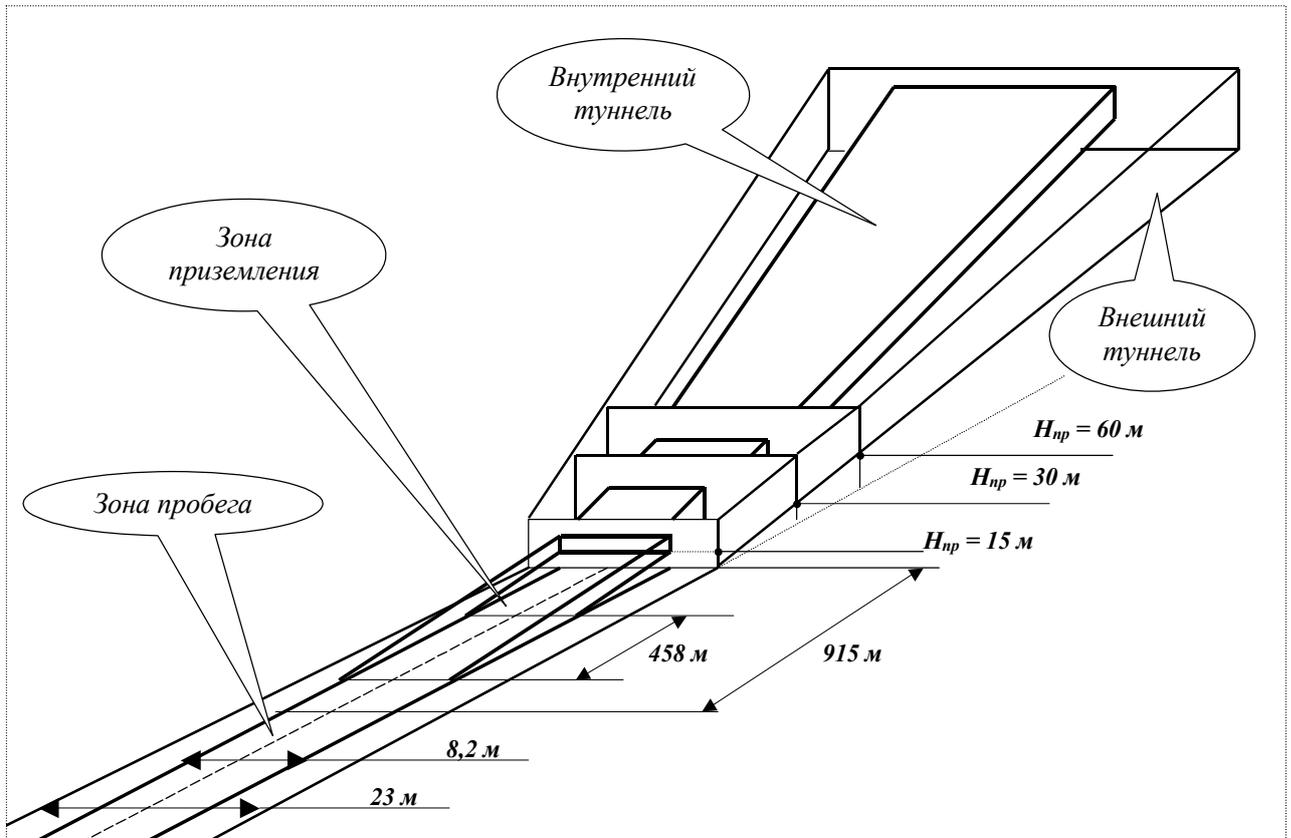


Рис. 2.1. Структура туннелей захода на посадку

Таблица 2.1.

| Категория посадки | | Высота (метры) | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------|----------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 15 | 30 | 60 | 75 | 90 | 120 | 150 | 230 | 300 | 380 | 460 |
| I | вертикальн. | — | — | 37 | 37 | 37 | 44 | 54 | 78 | 109 | 144 | 178 |
| | горизонтал. | — | — | 121 | 128 | 136 | 152 | 171 | 239 | 330 | 424 | 517 |
| II/III | вертикальн. | 5 | 14 | 27 | 31 | 36 | 44 | 53 | 74 | 95 | 116 | 137 |
| | горизонтал. | 46 | 64 | 73 | 82 | 92 | 111 | 130 | 178 | 227 | 275 | 324 |

Таблица 2.2.

| Категория посадки | Размеры коридора | Высота (метры) | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------------|----------------|-----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 15 | 30 | 60 | 75 | 90 | 120 | 150 | 230 | 300 | 380 | 460 |
| I | вертикальн. | — | — | 12 | 12 | 12 | 15 | 18 | 26 | 36 | 48 | 59 |
| | горизонтал. | — | — | 40 | 43 | 45 | 51 | 57 | 80 | 110 | 141 | 172 |
| II/III | вертикальн. | 1,5 | 4,6 | 9 | 10 | 12 | 15 | 18 | 25 | 32 | 39 | 46 |
| | горизонтал. | 15 | 21 | 24 | 27 | 30 | 37 | 43 | 59 | 76 | 92 | 108 |

2.2.2. ЦЕЛЕВОЙ УРОВЕНЬ БЕЗОПАСНОСТИ. Риск нарушения туннеля тесно связан с целевым уровнем безопасности, но не тождествен ему, так как не каждое нарушение туннеля приводит к летному происшествию, связанному с потерей ВС. Аналитически корреляция учитывается условной вероятностью нарушения, т.е. отношением ПН количества происшествий с потерей ВС к

общему количеству событий нарушения туннеля (отношением ПН происшествие/нарушение). В такой постановке целевой уровень безопасности (ЦУБ) равен произведению риска R_o нарушения туннеля на отношение ПН происшествие/нарушение. Общая схема распределения рисков применительно к этапам захода на посадку отображается аддитивно-мультипликативным критерием (рис. 2.2), в котором параллельные ветви распределения (точность – R_m , целостность – R_u , непрерывность обслуживания – R_n) суммируются, а последовательные элементы ветвей, обеспечивающие взаимодействие космического, самолетного и наземного сегментов, перемножаются:

$$ЦУБ = ПН \times R_o = R_n + R_m + R_u = R_{np}(R_{ncs} + R_{nnc}) + R_{mn} \times R_{mc} + R_{un}(R_{ucs} + R_{unc} + R_{ubd}).$$

Формализация рисков для каждого этапа полета начинается с определения ЦУБ на основе анализа статистики зафиксированных происшествий. Значение ПН определяется априорно и, как правило, принимается равным 0,1 для этапа захода на посадку и 1,0 для этапа посадки. В [3] представлена основанная на теории оценивания безопасности полетов методика апостериорного получения значений каждой составляющей выражения для ЦУБ.

С учетом предполагаемого возрастания интенсивности полетов в развитых странах, целевой уровень безопасности устанавливают более высоким по сравнению со средним риском, вычисленным по статистике происшествий. Считается, что такой подход обеспечивает сохранение существующего количества происшествий в год при условии увеличения количества полетов. Для этапов захода на посадку и посадки ожидаемый целевой уровень безопасности в 25 раз ниже вычисленного по статистике среднего риска и составляет 0.00000001 (т.е. 10^{-8}). Концепция ТНП требует поддержания значения риска нарушения туннеля на этапе захода на посадку на уровне 0.0000001 (т.е. 10^{-7}), а на этапе посадки – 0.00000001 (т.е. 10^{-8}).

Риск нарушения туннеля распределяется на частные риски нарушения непрерывности, точности и целостности, в каждом из которых выделяются составляющие навигационной подсистемы (R_{nc} , R_{mc} , R_{uc}) и обусловленные не обнаруженной пилотом ошибкой (R_{np} , R_{mn} , R_{un}). Риски нарушения непрерывности и потери целостности навигационной подсистемы распределяются на самолетную (R_{ncs} , R_{ucs}) и несамолетную (R_{nnc} , R_{unc}) компоненты. Кроме того, в риске потери целостности навигационной подсистемы выделяется как самостоятельная часть значение риска R_{ubd} потери целостности базы данных.

Экспертами ИКАО рекомендованы сбалансированные значения рисков, удовлетворяющие ТНП применительно к этапу захода на посадку (табл. 2.3).

Таблица 2.3.

| Категория посадки | ЦУБ | ПН | R_o | R_n | R_{np} | R_{nc} | R_{ncs} | R_{nnc} |
|-------------------|-----------|-----|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| I | 10^{-8} | 0,1 | 10^{-7} | $3,3 \times 10^{-8}$ | $3,3 \times 10^{-4}$ | $1,0 \times 10^{-4}$ | $2,0 \times 10^{-5}$ | $8,0 \times 10^{-5}$ |
| II | 10^{-8} | 0,1 | 10^{-7} | $3,3 \times 10^{-8}$ | $7,5 \times 10^{-4}$ | $4,4 \times 10^{-5}$ | $< 10^{-8}$ | $4,4 \times 10^{-5}$ |
| III | 10^{-8} | 1,0 | 10^{-8} | $3,3 \times 10^{-9}$ | $8,3 \times 10^{-4}$ | $4,0 \times 10^{-6}$ | $< 10^{-8}$ | $4,0 \times 10^{-6}$ |

| Кат. | R_T | $R_{Ц}$ | $R_{Цс}$ | $R_{Цсс}$ | $R_{Цнс}$ | $R_{Цбд}$ | $R_{Г}$ | $R_{Цп}$ |
|------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------|
| I | $3,3 \times 10^{-8}$ | $3,3 \times 10^{-8}$ | $3,3 \times 10^{-7}$ | $1,0 \times 10^{-7}$ | $2,0 \times 10^{-7}$ | $0,3 \times 10^{-7}$ | $2,5 \times 10^{-3}$ | 0,1 |
| II | $3,3 \times 10^{-8}$ | $3,3 \times 10^{-8}$ | $3,3 \times 10^{-8}$ | $2,0 \times 10^{-8}$ | $1,5 \times 10^{-8}$ | $1,15 \times 10^{-8}$ | $1,5 \times 10^{-3}$ | 1,0 |
| III | $3,3 \times 10^{-9}$ | $3,3 \times 10^{-9}$ | $3,3 \times 10^{-9}$ | $1,0 \times 10^{-9}$ | $1,5 \times 10^{-9}$ | $0,8 \times 10^{-9}$ | $1,0 \times 10^{-3}$ | 1,0 |

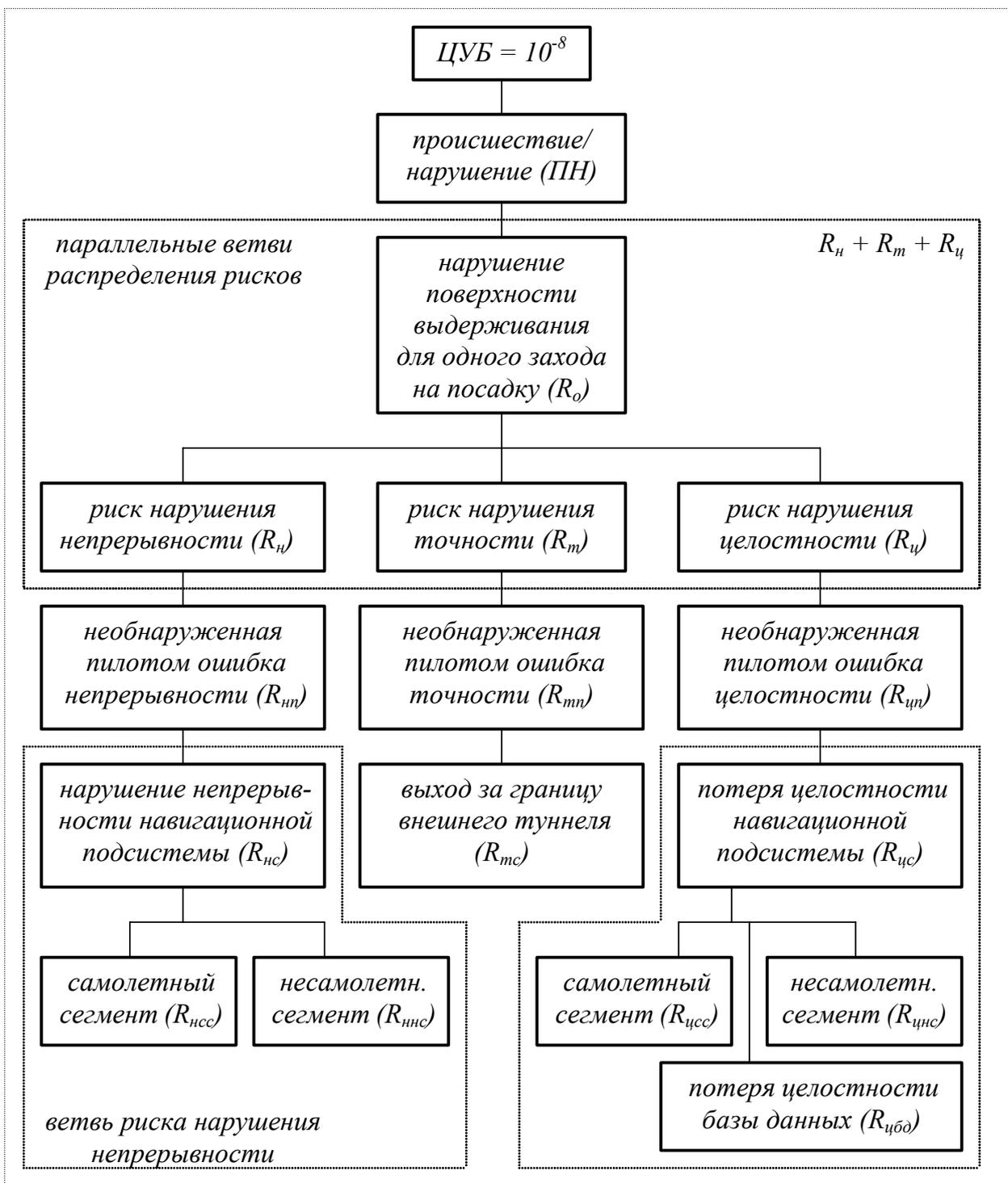


Рис. 2.2. Распределение рисков при расчете целевого уровня безопасности

Общая методика учета рисков складывается из четырех этапов.

1. Определение приемлемого значения целевого уровня безопасности.
2. Установление рисков для каждого элемента с целью обеспечения

заданного целевого уровня безопасности полной системы.

3. Проверка фактической достижимости системой заданного уровня безопасности; сертификация и квалификационная оценка экипажа для проверки способности ВС удовлетворять ТНП.

4. Надзор и поддержание летной годности в процессе эксплуатации ВС для гарантии сохранения способности ВС удовлетворять ТНП.

При анализе риска существенным является предположение о статистической независимости событий, связанных с нарушениями точности, целостности или непрерывности обслуживания. Эта независимость должна гарантироваться замыслом системы, т.е. еще на этапе разработки необходимо предпринимать соответствующие меры, например, резервирование элементов подсистемы. Центральным звеном в методологии распределения рисков является аналогия проекта системы установленной формальной схеме вычисления целевого уровня безопасности (рис 2.2). При распределении рисков между самолетным и несамолетным сегментами полной системы следует учитывать, что ИКАО определены требования к компонентам несамолетных ТНП, а для поддержания параметров целостности, непрерывности и готовности остальная часть рисков присваивается самолетным компонентам. Риск, связанный с точностью, распределяется на самолетную компоненту навигационной системы и на технику пилотирования. При этом существует некоторая степень свободы для компромиссного выбора между погрешностью навигационной системы и погрешностью техники пилотирования при сохранении надлежащего соотношения между ними, обеспечивающего правильное функционирование всех устройств и подсистем полной системы.

2.2.3. ЭТАПЫ ЗАХОДА НА ПОСАДКУ И ПОСАДКИ являются самой ответственной и напряженной частью полета. Согласно мировой статистике для коммерческих реактивных ВС в последние сорок лет XX века на их долю приходится 53% летных происшествий, связанных с потерей самолета, хотя удельный вес этих этапов в общем балансе времени выполнения рейса составляет 15%. Наиболее сложными и опасными считаются конечный этап захода на посадку и собственно посадка, занимающие всего лишь около 4% летного времени, на которые приходится 40% летных происшествий. К ПО предъявляются жесткие требования по информированию диспетчера и полота о текущем состоянии процесса. Концепция ТНП конкретизирует следующие особенности маневров на этих этапах.

Заход на посадку представляет собой этап полета, который начинается с момента, когда ВС покидает воздушное пространство, регулируемое правилами предыдущего этапа (полет по маршруту, ожидание, наведение и т.д.), как правило, на удалении 30 – 40 км от порога ВПП. Заканчивается этап захода на посадку на высоте принятия решения (так называемая точка минимума), на которой пилот, обнаружив ориентиры и оценив обстановку, должен принять решение о приземлении или осуществить уход на второй круг. Экспертами ИКАО определен ряд категорий систем посадки (см. табл. 2.4), соответствующих различным погодным минимумам, при которых обеспечивается

заданный уровень безопасности, и характеризующихся дальностью $L_в$ видимости на ВПП и высотой H_{np} принятия решения.

Таблица 2.4

| Категории системы посадки (минимумы) | I | II | III | | |
|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | a | b | c |
| H_{np} , метры | 60 | 30 | 0 | 0 | 0 |
| $L_в$, метры | 800 | 400 | 200 | 50 | 0 |

Согласно табл. 2.4, системы посадки III категории характеризуются нулевой высотой принятия решения. Этап захода на посадку завершается на уровне порога ВПП. Траектория полета в этой фазе движения представлена несколькими участками (рис. 2.3). Выделяют начальный (НЭЗ) и конечный (КЭЗ) этапы захода на посадку. Завершение начального этапа происходит в так называемой контрольной точке конечного этапа захода на посадку.

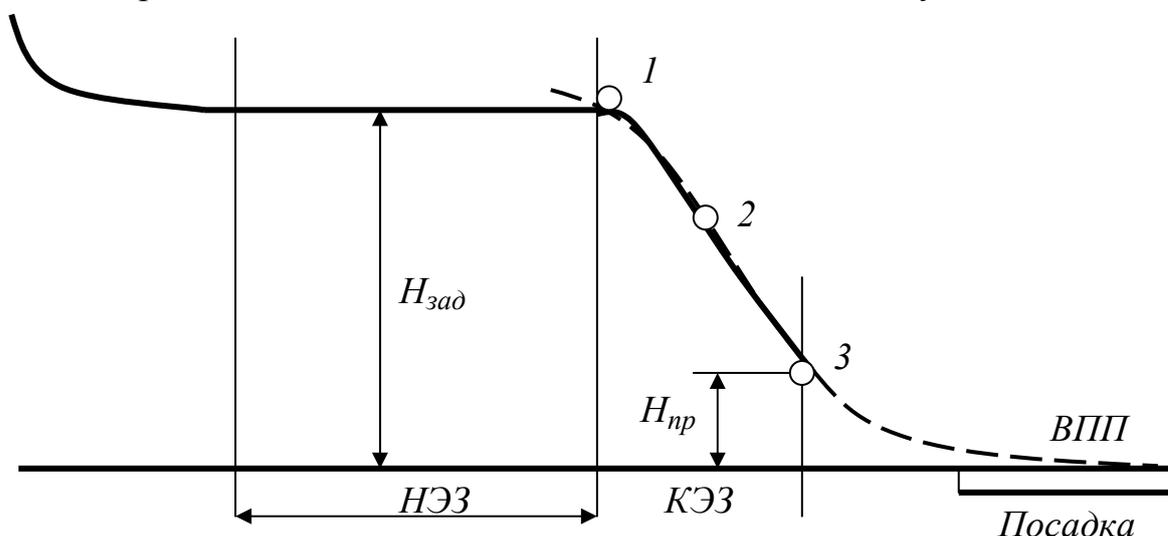


Рис. 2.3. Этапы захода ВС на посадку

Эта точка является также точкой начала «захвата глиссады» (точкой входа в глиссаду планирования).

Начальный этап захода на посадку соответствует участку стабилизации заданной высоты полета ($H_{зад} = 400 - 1500$ м). Здесь выполняется маневрирование ВС в горизонтальной плоскости с целью приведения его в контрольную точку конечного этапа захода на посадку. В качестве источников измеренной информации для решения этой задачи могут использоваться дальняя и ближняя приводные радиостанции, сигналы которых принимаются на борту автоматическим радиоконпасом, радиотехнические системы ближней навигации, а также спутниковые радионавигационные системы. На этом же этапе осуществляется подготовка узлов и систем ВС к посадке (выпуск шасси, перевод механизации крыла в посадочное положение и т.п.).

Конечный этап захода на посадку включает два участка траектории. Это участок «захвата глиссады» (точки 1 – 2 на рис 2.3), на котором происходит переход от режима стабилизации высоты планирования к режиму стабилизации ВС на глиссаде планирования, и участок стабилизации глиссады

(точки 2 – 3 на рис 2.3), завершающий движение по глиссаде. Основной задачей этапа является устранение отклонений от глиссады как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Источниками измеренной информации в настоящее время обычно служат системы инструментальной посадки (ILS, MLS и другие).

Посадка рассматривается в качестве этапа полета, который начинается на высоте принятия решения или на уровне порога ВПП (при заходе на посадку по категории III) и заканчивается в точке, где ВС покидает ВПП после пробега. Этот этап характеризуется существенной нестационарностью режима полета вследствие изменения скорости, большого угла атаки, аэродинамического влияния земли. Возникающие в этот короткий, менее двадцати секунд, отрезок пути возмущения, компенсация которых соизмерима по времени с продолжительностью переходных процессов стабилизации ВС на заданной траектории, могут привести к увеличению ошибок системы. Отличительная черта режима посадки в сравнении, например, с режимом захода на посадку становится ужесточение требований к точности управления не только движением центра масс, но и к угловым параметрам движения ВС. К моменту касания ВПП самолет должен занимать определенное угловое положение и направление вектора скорости. Проблема автоматизации управления этапом посадки до сих пор не получила полного решения.

2.3. МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРП ПРИ ПОЛЕТАХ ПО DGNSS

Системы GNSS и GPS разрабатывались для военных целей, вследствие чего их параметры не удовлетворяют требованиям гражданской авиации. Анализ выполненных в разных странах исследований режимов захода на посадку по DGNSS, проведенный экспертами ИКАО по всепогодным полетам, а также исследования специалистов ГосНИИ «Аэронавигация» и ЛИИ им. Громова, позволяют определить основные методы и архитектуру оборудования, отвечающие требованиям ТНП. Эти методы требуют дополнения космической группировки, а также использования дополнительного наземного и бортового оборудования и программного обеспечения.

2.3.1. ДОПОЛНЕНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ГРУППИРОВКИ. Увеличение количества ИСЗ на этапе посадки необходимо для удовлетворения требований по готовности, непрерывности обслуживания и помехозащищенности.

Система считается готовой к использованию, когда обеспечена видимость четырех и более спутников и выполняются требования ИКАО к радионавигационным характеристикам. Результаты моделирования готовности системы GPS, дополненной геостационарными спутниками для различных регионов мира, показывают, что даже при дополнении двадцати четырех спутников GPS девятью геостационарными спутниками не для всех регионов выполняются требования по готовности высшей категории ТНП. Значительно эффективнее становятся результаты при объединении систем GPS и GNSS, в своем сочетании дополняющих друг друга, так как GPS характеризуется пониженной готовностью в средних широтах, а GNSS – в низких широтах.

Непрерывность обслуживания в значительной степени определяется количеством одновременно наблюдаемых спутников. В отличие от инструментальных систем посадки ILS или MLS, непрерывность обслуживания является переменной величиной. Физически ее непостоянство обусловлено тремя факторами:

- спутники движутся относительно земли, вследствие чего количество и расположение спутников меняются во времени для конкретной местности с периодом двадцать четыре часа;
- наземные наблюдатели в различных регионах видят разное количество спутников, движущихся по повторяющимся траекториям;
- состояние созвездий (количество нормально функционирующих спутников) меняется со временем.

Как известно [3], для навигационных измерений в зоне вылета и посадки необходимо не менее четырех спутников с хорошим геометрическим фактором, что для любой из систем выполняется далеко не всегда. Проблема усугубляется при обеспечении маневров захода ВС на посадку.

Для описания непрерывности обслуживания потребителя GNSS используют понятие непрерывности обслуживания в наихудшем случае, т.е. для этапа захода на посадку в самое неблагоприятное время и в самом неблагоприятном месте. Расчеты экспертов ИКАО показывают, что значения риска нарушения непрерывности обслуживания в наихудшем случае для GPS превышают предусмотренные RNP в 1,5 раза для высшей категории ТНП и в 2,6 раза – для II категории. Совместное использование систем GPS и GNSS, вывод на орбиту дополнительных геостационарных спутников (параметры движения которых таковы, что они постоянно «зависают» над одной точкой земной поверхности и координаты их неизменны) или включение так называемых псевдоспутников значительно облегчают решение проблемы обеспечения непрерывности обслуживания, но не решают ее полностью. Понятие «псевдоспутник» введено вследствие недостаточной синхронизации шкалы часов на ВС и на ИСЗ, в результате чего при определении временных интервалов между моментами излучения сигналов с борта ИСЗ и моментами их приема на ВС возникают систематические ошибки. Соответственно, измеряемые как пропорциональные времени прохождения сигнала дальности (псевдодальности) будут отличаться от истинных на величину, пропорциональную Δt , где Δt – сдвиг шкалы времени ИСЗ относительно шкалы времени ВС. Нейтрализация расхождения осуществляется посредством введения поправок по мере нарастания ошибки.

Опыт эксплуатации аппаратуры GPS показал, что она сильно подвержена влиянию помех. В ряде районов РФ наблюдается устойчивое пропадание сигналов, связанное, как правило, с боковым излучением мощных РЛС. Эта проблема требует детального изучения при внедрении GPS в качестве основного средства навигации и – тем более – для обеспечения посадочного маневрирования ВС. Более помехоустойчивой является система GNSS, что объясняется частотным разделением сигналов, передаваемых с разных спут-

ников. Это также говорит в пользу объединения GPS и GNSS.

2.3.2. НАЗЕМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ GNSS. К наземным средствам, дополняющим GNSS, относятся различного рода станции дифференциальных поправок – локальные станции LDGNSS, кинематические локальные станции KLDGNSS, псевдоспутники, широкозонная дифференциальная система WAAS (*Wide Area Augmentation System*). Стратегия дифференциального режима состоит в компенсации систематической составляющей погрешности определения местоположения ВС. Эту составляющую можно измерять с помощью опорной станции, или их совокупности, расположенной в точках с известными координатами. Результаты передаются непосредственно на борт ВС в локальных станциях или через геостационарный спутник связи в широкозонной системе. Все эти средства предназначены для обеспечения требуемой точности и целостности систем захода на посадку всех категорий.

Принцип повышения точности во всех системах основан на достаточно длительном периоде корреляции составляющих погрешностей в сигнале GNSS (нестабильность задержек сигналов в ионосфере и тропосфере, погрешности часов и эфемерид, искусственно вводимая в сигнал GPS погрешность селективного доступа). В результате, принимая сигнал на наземной станции с точно известными координатами, можно вычислить и передать на борт поправки к псевдодальностям, которые компенсируют погрешности измерений с сотен до единиц метров в LDGNSS и WAAS и до сантиметров в KLDGNSS. Эфемеридами называют предварительно вычисленные для ряда последовательных моментов времени значения скорости и координат ИСЗ.

Одновременно в станциях дифференциальных поправок обеспечивается контроль параметров сигналов, излучаемых со спутников, и передаваемых на борт сообщений, что должно решить проблему обеспечения целостности, а также давать возможность прогнозировать состояние космической группировки и определять уровень риска нарушения целостности при каждом заходе на посадку.

Локальные станции дифференциальных поправок. Состав станции:

- опорный приемник сигналов GNSS;
- процессор, обеспечивающий вычисление дифференциальных поправок и формирование сообщений, передаваемых на борт ВС;
- система контроля целостности;
- линия передачи данных;
- система отображения информации и управления станцией.

В станции дифференциальных поправок используется многоканальный приемник сигналов GPS и GNSS (не менее двенадцати каналов на систему), обеспечивающий одновременный прием, подтверждение и слежение за всеми видимыми спутниками. Время подтверждения контакта спутника не превышает трех минут, а повторного подтверждения – 30 секунд. Антенна приемника сконструирована таким образом, чтобы в минимальной степени искажать принимаемый со спутника сигнал, имеющий правостороннюю круговую поляризацию. Расположение и диаграмма направленности антенны сво-

дят к минимуму влияние многопутевого распространения.

Конкретные количественные значения параметра непрерывности обслуживания, связанного с наземным сегментом DGNS, определяются средним временем между отказами и средним временем между сигналами тревоги в соответствии с руководящими материалами ИКАО 150 секунд на заход. Готовность наземного оборудования составляет не менее 98% времени в среднем за год, включая отказы линии передачи данных.

Требования к целостности для наземного оборудования определяются риском потери целостности на один заход на посадку, который не должен превышать 0,00003. Время оповещения пользователя – не более шести секунд для ТНП I категории. К программному обеспечению, применяемому в станциях дифференциальных поправок, предъявляется требование обязательной сертификации в соответствии с документами ИКАО.

Процессор станции дифференциальных поправок предназначен для вычисления величин этих поправок, а также для вычисления скорости их изменения и для формирования сообщений, передаваемых на борт ВС, в соответствии с требованиями регламентирующих документов. Процессор обычно является конструктивной частью приемника станции дифференциальных поправок, хотя может быть реализован в виде отдельного вычислителя. В процессор может быть заложена информация о пунктах перемены маршрута схемы захода на посадку, которая также может передаваться на борт ВС. Погрешность, характеризующая точность вычисления псевдодальностей, не превышает 1,1 м.

Группой экспертов ИКАО по всепогодным полетам рассмотрены варианты развития линий передачи данных (ЛПД) в диапазонах VHF (Very High Frequency), L, C, а также ЛПД режима S. Проведенный анализ по стоимости, скорости передачи данных и помехозащищенности показал, что для LDGNS оптимальным вариантом является ЛПД VHF диапазона.

Система отображения и контроля обеспечивает индикацию всей необходимой информации, поступающей на вход системы и передаваемой на борт ВС. Предусмотрена возможность ручного управления вводом и выводом данных. В то же время, информация, связанная с безопасностью полетов (координаты опорной станции, координаты пунктов схем захода на посадку) надежно защищены от несанкционированного вмешательства. Внутрисистемный интерфейс исключает возможность неблагоприятного влияния одной подсистемы на другую. При необходимости в состав станции дифференциальных поправок включают систему дистанционного управления с командно-диспетчерского пункта (КДП) сети станций. Оператор КДП должен оповещаться об отказе станции в течение одной минуты.

Одним из основных элементов станции является программное обеспечение подсистемы контроля целостности. В соответствии с рекомендациями ИКАО ПО должно обеспечивать:

- контроль и подтверждение качества сигнала, передаваемого по радиоканалу ЛПД, для уверенности в его адекватности измеряемым парамет-

рам по всей зоне действия системы;

- подтверждение дифференциальных поправок и данных о пунктах схемы посадки до их поступления в ЛПД;
- контроль и подтверждение информации, передаваемой на борт ВС;
- подтверждение непрерывности связи между процессором и системой контроля целостности;
- независимый контроль и подтверждение сообщений со спутника (контроль эфемерид, псевдодальностей, погрешности часов и т.д.).

Контроль точности измерений осуществляется аппаратными методами. С этой целью используется второй приемник GNSS с точными координатами местоположения. Передаваемое сообщение о дифференциальных поправках принимается вторым приемником и служит для определения его координат. Координаты вычисляются по всем наблюдаемым спутникам методом перебора. Если при каком-либо измерении разница между опорными и измеренными координатами превышает порог, то принимается решение об отказе спутника и передается соответствующее сообщение на борт ВС.

Для контроля эфемерид, передаваемых со спутника, может использоваться эталонная модель космической группировки. Разработаны модели для компьютеров типа IBM PC, поддерживающие точность в течение 4 – 6 часов. Коррекция исходных параметров моделей проводится по сообщениям с контрольно-корректирующих станций, либо по информации со спутников после подтверждения ее достоверности.

Использование в приемниках GNSS эталонных генераторов частоты значительно повышает точность измерений. Эти же генераторы могут применяться для контроля временных поправок. Однако их стоимость весьма велика, и не везде их целесообразно использовать. Более рентабельно применение для этих целей соответствующих математических моделей. Вообще, все программное обеспечение системы контроля целостности должно быть сертифицировано в соответствии с требованиями документа RTCA DO-178B.

В США интенсивно ведутся работы по созданию станций дифференциальных поправок, обеспечивающих точность, соответствующую требованиям всех категорий ТНП. В этих станциях используются приемники, способные работать в кинематическом режиме, при котором измерение псевдодальностей привязывается к фазе несущей частоты, что обеспечивает точность измерений, соизмеримую с длиной волны, равной 21 см. Значительную проблему при динамических разновидностях применения кинематического режима, таких как аэронавигация, представляет собой проблема неоднозначности.

Применение DGNSS сталкивается также с проблемой многопутевого распространения. В отличие от традиционных средств захода на посадку, в DGNSS вследствие постоянно меняющегося положения спутников невозможно использовать методы прогнозирования и решения на их основе проблемы многопутевого распространения «на земле», т.е. путем устранения источника их образования. Проведенные фирмами США исследования показав-

ли, что удовлетворительные результаты достигаются с помощью применения приемников с узкополосными корреляторами. В этих приемниках используются высокая частота обновления и узкие интервалы корреляции для ограничения влияния шумов. Узкая полоса корреляции позволяет также свести к минимуму влияние многопутевого распространения сигналов.

Использование псевдоспутников также рассматривается как вариант повышения точности системы за счет улучшения геометрического фактора в вертикальной плоскости. Однако разработка аппаратуры DGNSS для ее использования в качестве средства захода на посадку требует проведения дополнительных исследований.

2.3.3. ШИРОКОЗОННАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ СИСТЕМА США. Высокая интенсивность полетов, большое количество аэродромов, в том числе частных, а также повышенные требования к безопасности объясняют необходимость создания на территории США широкозонной дифференциальной спутниковой системы радионавигации (WAAS). Система включает в себя оборудование и ПО, дополняющие GPS с целью обеспечения навигации ВС на этапах полета по маршруту, предпосадочного маневрирования и посадки по I категории ИКАО в соответствии с требованиями ТНП (рис. 2.4).

Минимально необходимый набор элементов системы включает сеть опорных станций (WRS), которая служит для приема и обработки поступающей со спутников информации. Результаты по наземным линиям передачи данных передаются в контрольные станции, где на их основе определяются целостность, дифференциальные поправки, остаточные погрешности; объединяются сведения о состоянии ионосферы для каждого контролируемого спутника, а также навигационные параметры геостационарных спутников. Коммуникационная система WAAS состоит из двух независимых сетей: собственно информационной сети WAAS и контрольной сети, каждая из которых содержит как наземный, так и космический сегменты. Каждая опорная станция соединяется с контрольной станцией двумя линиями связи, имеющими готовность 0,9995 и среднее время наработки на отказ 170000 часов. Соединения между контрольными станциями должны обеспечивать более высокие показатели (0,9998 и 500000 часов соответственно). Общая задержка в наземной сети для любого соединения приближается к 150 – 250 мс, а максимальное время переключения на резервную сеть не должно превышать 4 секунды.

Условно можно выделить следующий набор функций ПО WAAS.

1. Сбор данных о состоянии управляемых и геостационарных спутниках, о состоянии атмосферы, о координатах антенн и калибровочных данных оборудования; информация о температуре, давлении и влажности в точках стояния наземных станций; все данные проходят предварительную проверку с целью отсева аномальных значений.

2. Определение величины коррекции задержек в ионосфере на сетке вертикальных погрешностей для каждой точки (узла) ионосферной сетки региона WAAS.

геостационарные спутники

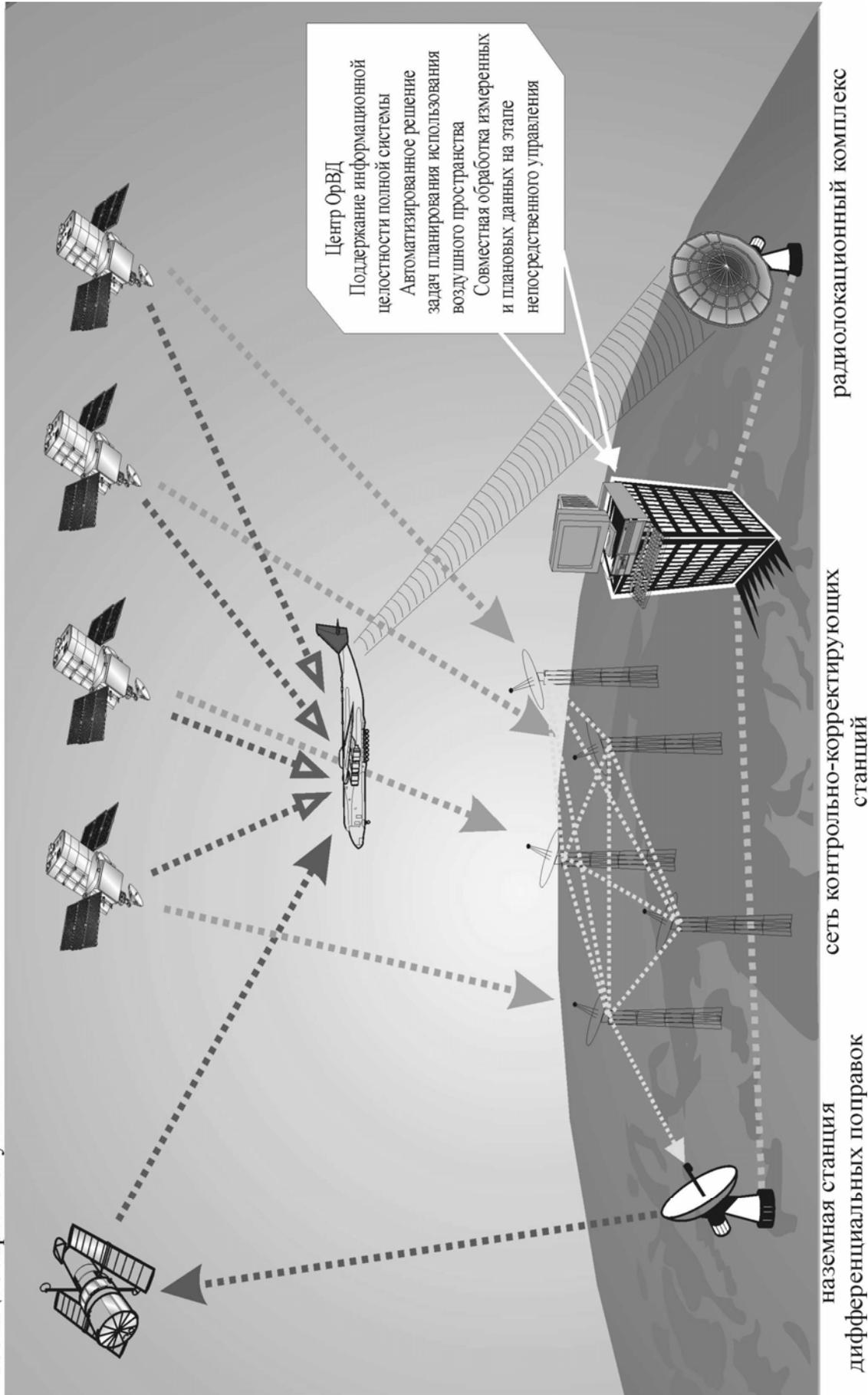


Рис. 2.4. Широкозонная система измерения дифференциальных поправок

3. Обработка орбитальных данных о положении спутников, их скорости (ускорении), дрейфе и смещении часов, определение эфемерид и альманаха (подборки по всем ИСЗ) геостационарных спутников для формирования сообщений об их состоянии, минимизация влияния ионосферы и тропосферы на измерение псевдодальностей для определения навигационных данных спутников.

4. Установление точных значений коррекции (коррекций) погрешностей эфемерид и часов спутников по информации поступающих с них сообщений и параметрам их орбит, вычисленных функцией 3, классификация медленно меняющихся и быстро меняющихся коррекций, вычисление дифференциальных погрешностей дальности пользователей. Контроль целостности коррекций параметров спутников и ионосферы с выдачей сигналов оповещения в случаях, когда коррекции не могут использоваться или когда какая-либо точка ионосферной сетки не поддается контролю.

5. Контроль целостности радионавигационных параметров спутников, состоящий в фиксации факта наблюдения спутника, который по данным альманаха должен находиться в зоне видимости системы. Оповещение о потере выдается при отсутствии сообщений с таких спутников.

6. Подтверждение данных, полученных функциями 2 – 5, информацией независимых источников – либо путем сравнения с независимыми измерениями, либо с помощью совместной обработки собственных и независимых данных и сравнения результата с заданными ограничениями. Период подтверждения (активации) передаваемых данных должен заключаться между моментами поступления последнего бита полученного сообщения и моментом поступления последнего бита следующего сообщения.

7. Передача с наземной станции на геостационарные спутники подтвержденной информации о:

- потере целостности ("не использовать" или "не контролируется") спутника или ионосферной сетки;
- быстро меняющихся коррекциях параметров (часов) спутника;
- медленно меняющихся коррекциях часов и эфемерид спутника;
- оценке вертикальных задержек ионосферной сетки;
- данных коррекции вертикальных задержек ионосферной сетки;
- данных эфемерид и альманахов геостационарных спутников;
- дифференциальных погрешностях дальности спутника;
- положении ионосферной сетки;
- смещении временной сетки WAAS относительно всемирного координированного времени;
- переходе в режим тестирования спутника.

Состав информации сообщений WAAS. В формате WAAS используются два вида коррекции данных – быстрые и медленные. Быстрые коррекции предназначены для компенсации погрешности часов GPS. Они одинаковы для всех пользователей. В их состав включаются поправки псевдодальности *PRC* и скорости *RRC*. С их помощью можно, в частности, уточнить измерен-

ное значение псевдодальности PR :

$$PRC(t_2) = PR(t_2) + PRC(t_1) + RRC(t_2 - t_1).$$

Коррекции по скорости могут не передаваться; тогда они должны определяться в бортовом приемнике по результатам последовательных измерений. В этом случае в сообщении упаковывается информация о коррекции параметров двух спутников вместо одного.

Медленные коррекции вводятся для компенсации погрешностей эфемерид, медленного ухода часов и погрешностей, связанных с параметрами ионосферы. С этой целью потребителю передаются широкозонная модель ионосферных задержек и данные в реальном масштабе времени, которые позволяют оценить задержки в ионосфере для каждого спутника. Коррекции передаются в виде суммарной задержки прохождения сигнала по вертикалям, определенным в точках ионосферной сетки. Для обеспечения гибкости (переменности шага) задается мелкая исходная сетка, на узлы которой накладывается соответствующая условиям наблюдения рабочая сетка с необходимым для устойчивости измерений шагом между узлами. Текущая плотность узлов сетки определяется значительными вариациями вертикальных задержек в ионосфере, обусловленными колебаниями солнечной активности, особенно интенсивной в низких широтах. Шаг сетки выше вблизи экватора и вследствие неравенства расстояния между меридианами на разных широтах. Положение и плотность узлов рабочей сетки привязываются к "следу" спутника, определяются в координатах широты и относительной долготы и передаются комплектом, содержащим данные по 186-ти вертикалям с идентифицирующими метками. Пользователю для успешной работы достаточно воспринимать и обрабатывать вертикальные задержки в узлах, расположенных в пределах окружности радиусом 20 градусов относительно его местоположения.

Коррекция псевдодальности до спутника, связанная с задержкой сигнала в ионосфере, вычисляется ПО в следующей последовательности:

- определение точки пересечения линии, связывающей пользователя со спутником, со средней высотой ионосферного слоя в координатах переданной сетки;
- интерполяция вертикальной задержки в найденной точке пересечения по известным значениям в четырех ближайших узлах сетки (вершинах описывающего квадрата сетки);
- вычисление наклонной задержки в ионосфере как функции угла места спутника, высоты ионосферного слоя и радиуса земли.

Тропосферные задержки зависят от местных условий, в которых работает пользователь, вследствие чего в сообщении WAAS GEO не содержится явных тропосферных коррекций, и передаются лишь данные, позволяющие вычислить эти коррекции в бортовом приемнике.

Бортовое оборудование DGNS. Проведенный группой экспертов ИКАО по всепогодным полетам анализ конфигураций бортовых комплексов, используемых при испытаниях DGNS в качестве средства захода на посад-

ку, показал, что категорированная посадка может быть реализована только при комплексировании DGNSS с инерциальными системами ВС. Даже при большом количестве наблюдаемых спутников в результате маневрирования на конечном этапе захода на посадку наблюдаются потери радионавигационной информации, т.е. не выполняются требования ТНП по непрерывности обслуживания. В результате комплексирования удается поддерживать навигационные измерения за счет использования инерциальных систем, погрешность которых в пределах определенного времени не выходит за установленные пределы. Даже при простом переключении на инерциальные системы в период выполнения маневра погрешность системы остается в пределах точности грубого канала GNSS, а при включении сигнала GNSS плавно компенсируется, сохраняя непрерывность обслуживания системы посадки. Эффективность результатов удается повысить при использовании оптимальных систем комплексной обработки, построенных на фильтрах, принцип действия которых основан на моделях датчиков навигационной информации.

Бортовые средства контроля целостности реализуются либо в приемнике, либо в системе самолетовождения. Контроль целостности приемника основан, как правило, на избыточности наблюдаемых спутников, когда с помощью простого перебора навигационных вычислений по всем комбинациям спутников и сравнения их измерений можно выделить источники погрешности, выходящей за пределы допуска. Такая схема имеет ряд недостатков – обязательное наличие многих видимых спутников и высокая вероятность ошибочного решения.

В бортовом приемнике могут также быть реализованы методы, основанные на статистической обработке погрешностей измерения псевдодальностей, когда в результате анализа логарифма отношения функционалов правдоподобия можно сделать вывод о наличии выходящей за пределы допуска погрешности измерения псевдодальности. Алгоритмы, построенные на статистических методах, хорошо зарекомендовали себя при обнаружении резких колебаний точности и наличия постоянных грубых погрешностей.

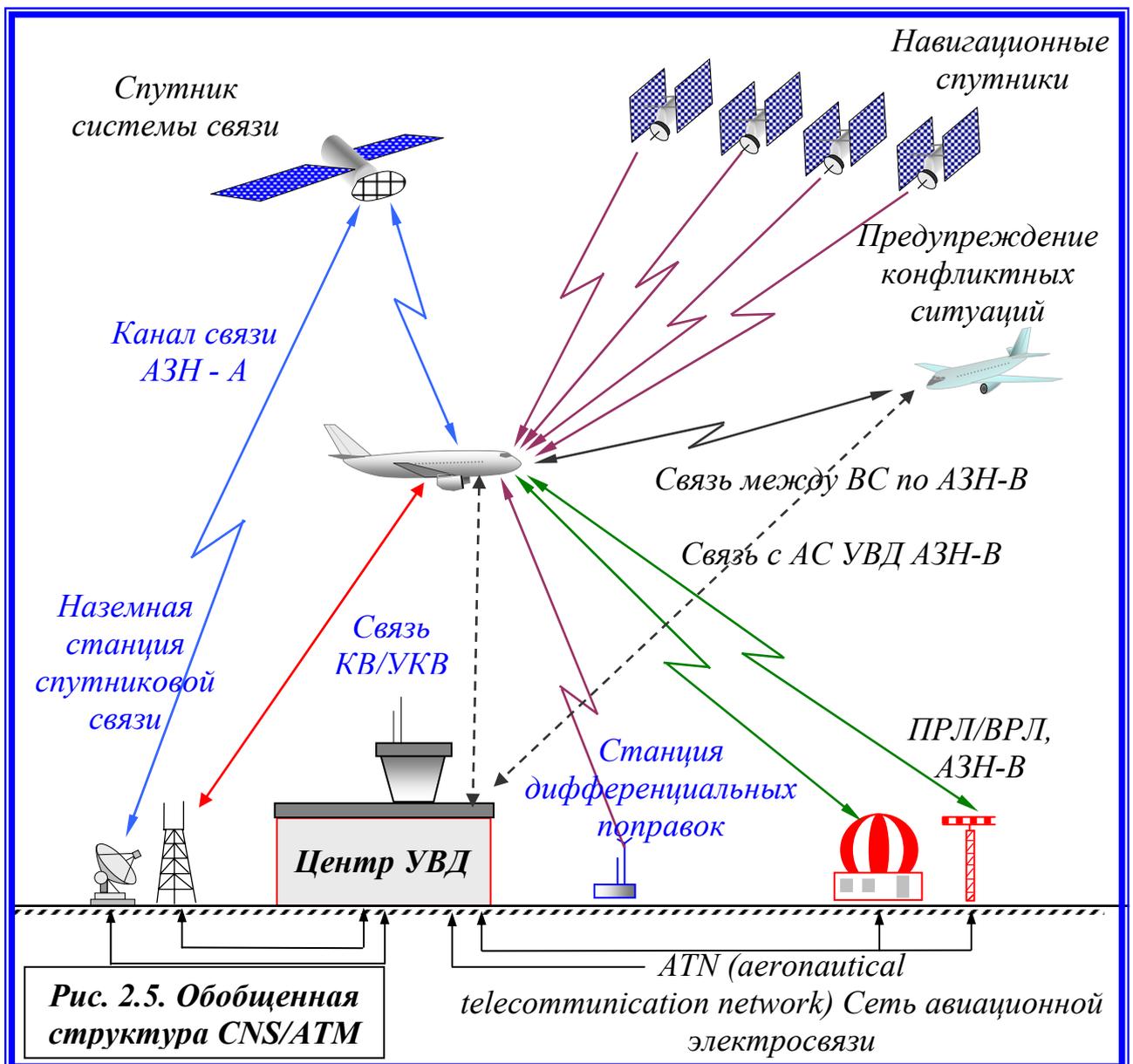
Принцип действия средств контроля целостности систем пилотирования, применяющих комплексирование сигналов различных бортовых датчиков, основан на различной физической природе погрешностей в сигналах радиотехнических GNSS и инерциальных датчиков. Первая определяется высокочастотной составляющей, вторая характеризуется медленными уходами. Специалистами ГосНИИ "Аэронавигация" разработаны алгоритмы комплексирования сигналов, позволяющие значительно повысить эффективность контроля системы самолетовождения по сравнению с контролем бортового приемника.

В [4] представлена структурная схема бортового и наземного оборудования, которое использовалось при проведении летных исследований в аэропорту г. Жуковский. Характерной особенностью системы явилось комплексирование сигнала DGNSS с сигналами автономных датчиков ВС (курсовой системы, гировертикали, системы воздушных сигналов), а не с дорогостоя-

щими инерциальными системами, которые не могут быть установлены на всех ВС в условиях ограниченного финансирования. Полеты выполнялись по сигналам DGNSS в автоматическом режиме по криволинейной траектории. Сигнал с выхода приемника ILS использовался как опорный. Погрешность точности дифференциальной системы захода на посадку по результатам кинотеодолитных внешнетраекторных измерений составила несколько метров, что удовлетворяет ТНП I категории.

2.3.4. КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО РЕЖИМА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Развиваемая в РФ методология интегрированной технологии работы диспетчера провозглашает единство, сосуществование и равноправие в рамках системы УВД всех видов полетной информации – нормативной, плановой, радиолокационной, бортовой, спутниковой, метеорологической, диспетчерской, режимной и т.д. Рис. 2.5. поясняет место АЗН в общей картине воз-



душной обстановки. В масштабах России сочетание всех видов данных о ВД, обновляемых с разным темпом, выдвигает на первый план разработку концепции поддержания информационной целостности системы.

Требования к концепции. Должно быть обеспечено рациональное соответствие международных требований к радионавигационным характеристикам и инвестиционных возможностей потребителей. Необходимо учитывать:

- медленное развитие собственной государственной системы GNSS;
- наличие больших пространств на высоких широтах;
- отсутствие достаточных средств финансирования внедрения дифференциального режима;
- наличие государственных обязательств по выполнению международных требований к системам организации воздушного движения;
- существование значительного парка устаревших ВС;
- недостаточное развитие государственной радионавигационной инфраструктуры воздушного пространства.

В качестве бортового оборудования прогнозируется использование совмещенного приемника GPS/GNSS, сопрягаемого с инерциальными системами, если они есть, или с автономными датчиками ВС. Это обеспечит повышенную помехозащищенность, целостность, готовность, непрерывность обслуживания и точность при умеренных затратах на внедрение средств радионавигационного обеспечения полетов по DGNSS.

Принятая в США и Канаде концепция дифференциального режима для обеспечения ТНП I категории основана на внедрении широкозонной дифференциальной системы, имеющей такие преимущества как:

- возможность независимого контроля со стороны гражданских ведомств за системой, владельцем которой является министерство обороны;
- возможность осуществлять точный (по I категории ТНП) заход на посадку в любой точке действия широкозонной системы;
- повышенная точность самолетовождения и, как следствие, повышение безопасности и экономичности полетов.

Реализация этой концепции требует значительных капитальных затрат, связанных с запуском (арендой) нескольких геостационарных спутников, прокладкой надежных высокоскоростных линий передачи данных между контрольно-корректирующими станциями. Кроме того, зона действия геостационарных спутников ограничивается 70-й параллелью.

Считается, что наилучшим в сложившихся условиях для России является сочетание локальных станций дифференциальных поправок, обеспечивающих точный заход на посадку, и контрольно-корректирующих станций, обеспечивающих контроль целостности спутниковых навигационных систем и дифференциальный режим на трассах с интенсивным движением. По мере развития инфраструктуры организации воздушного движения и появления необходимых каналов передачи данных разрозненная совокупность локальных станций дифференциальных поправок и контрольно-корректирующих станций должна будет преобразоваться в единую широкозонную дифферен-

циальную систему.

Требования к контрольно-корректирующим станциям. Одним из основных требований к системам спутниковой навигации гражданской авиации является наличие независимой системы контроля целостности. Его можно осуществлять на борту ВС (системы RAIM, AAIM) или на земле в контрольно-корректирующих станциях. Бортовые системы обладают рядом существенных недостатков, не позволяющих реализовать полноценный контроль:

- необходимость большого числа одновременно наблюдаемых спутников;
- низкая эффективность системы – вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги имеют приемлемые значения лишь при резком и значительном ухудшении точности измерения псевдодальностей;
- необходимость больших затрат на переоборудование парка ВС.

Создание сети наземных контрольно-корректирующих станций, способных обеспечить полноценный контроль целостности, открывает перспективу перехода к широкозонной дифференциальной системе. Станции удовлетворяют ТНП на широтах ниже 70-й параллели и должны располагаться вдоль международных трасс, проложенных в Юго-Восточную Азию из Северной Европы, вблизи зональных центров ОрВД. Для обеспечения полетов по северной трассе предпочтительно разместить эти станции в Мурманске, Амдерме и Норильске. Экономически целесообразно создавать их на базе уже существующих измерительных пунктов Центра дальней радионавигации, Главного топографического управления и контрольно-измерительных пунктов военно-космических сил. Для контроля целостности GPS и GNSS в состав этих пунктов должны быть включены:

- эталонный генератор частоты (для контроля смещения временных сеток);
- надежная высокоскоростная связь для независимого измерения параметров орбит спутников по известным собственным координатам и по измеренным псевдодальностям с периодом обновления не более 100 сек;
- аналогичная связь с центром управления полетами для обновления и обобщения параметров орбит GNSS;
- двухчастотные приемники GPSS/GNSS и линии передачи данных для сообщений о целостности и локальных дифференциальных поправках;
- линии передачи данных к локальным станциям для сообщений о параметрах орбит спутников.

Контрольно-корректирующие станции оснащаются высокопроизводительной информационно-вычислительной базой для реализации в дальнейшем задач широкозонной системы. Их подсистема отображения позволяет:

- мнемонически представлять статус и конфигурацию элементов системы, в том числе – линий передачи данных и спутников;
- графически отображать зону действия с картографией, символами источников информации и сопровождаемых ВС, схемами точного захода на посадку, неточного захода на посадку, маршрутов и т.д.

Требования к локальным станциям дифференциальных поправок. Локальные станции дифференциальных поправок рассматриваются как основные элементы контроля целостности и дифференциального режима на широтах выше 70-й параллели и как прообраз сети опорных станций широкозонной системы в остальных регионах России. В полярных широтах они должны располагаться таким образом, чтобы обеспечить точный заход на посадку в основных аэропортах Севера. Предполагается их использование для навигации морского и речного транспорта в сложных условиях Севера.

Контроль орбитальных параметров навигационных спутников может осуществляться путем сравнения поступающих с них информационных сообщений с результатами моделирования траекторий их движения. Параметры модели должны регулярно корректироваться с периодом один раз в пять минут по результатам измерений, передаваемых с контрольно-корректирующих станций, расположенных в Мурманске, Амдерме, Тикси.

На первом этапе развертывания локальных станций дифференциальных поправок поставлена задача использовать их как основное средство точного захода на посадку по I категории в аэропортах на широтах ниже 70-й параллели. Они должны вырабатывать и передавать на борт заходящего на посадку ВС дифференциальные поправки и данные о состоянии спутников. Контроль целостности на первом этапе также предполагается осуществлять на базе высокоточных моделей космической группировки. Станции должны проектироваться с учетом их дальнейшего развития в опорную сеть широкозонной системы, оснащаться двухчастотными приемниками GPS/GNSS, размещаться в крупных центрах обслуживания воздушного движения (ОВД), иметь связь с контрольно-корректирующими станциями.

Реализация захода на посадку по категориям II и III требует наличия на борту и на земле спутниковых приемников, работающих в кинематическом режиме, технология которого еще недостаточно отработана. Кроме того, соответствующие исследования проведены при комплексировании на борту ВС GPS с инерциальными системами. Это не сможет быть реализовано по всему парку отечественных ВС даже при условии обсуждавшегося выше снижения требований к ILS (уменьшение излучаемой мощности, отказ от широкополосного канала и в ряде случаев – от курсового маяка – для ослабления влияния многопутевого распространения и внутриполосной интерференции).

Распространение концепции ТРП на этапы захода на посадку, посадки и вылета дает ряд существенных преимуществ:

- позволяет обеспечить требуемый уровень безопасности полетов при переходе на спутниковые методы навигации;
- определяет точность пилотирования в зоне аэродрома, что является необходимым элементом введения экономичных схем полетов в районе аэродрома;
- позволяет обеспечить требуемое радионавигационное обеспечение различным составом оборудования.

Однако заложенная в концепции возможность снижения требований к

точности средств местоопределения ВС создает определенную проблему для сертификации ВС (особенно – с устаревшими системами самолетовождения) на соответствие ТНП и может привести к снижению уровня обслуживания некоторых классов ВС.

По данным [4] наиболее приемлемой технологией поддержания требований ТНП в РФ является следующая единая совокупность методов:

- совместное использование спутниковых радионавигационных систем GPS/GNSS;
- дополнение космической группировки сетью локальных станций дифференциальных поправок;
- обеспечение возможности перехода от сети локальных станций дифференциальных поправок к широкозонной дифференциальной системе;
- оснащение ВС совмещенными бортовыми приемниками GPS/GNSS;
- комплексирование GNSS как основного средства навигации при заходе на посадку с инерциальными системами или автономными бортовыми датчиками.

Любая из возможных технологий решения задач навигации и УВД на всех этапах ее реализации немыслима без программной поддержки. В следующей главе рассмотрены функции, выполняемые ПО АС УВД при обработке данных АЗН.

3. ПРОГРАММНАЯ ПОДДЕРЖКА ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАВИСИМОГО НАБЛЮДЕНИЯ

3.1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

3.1.1. ПЕРЕЧЕНЬ РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ. Экспертами международной организации гражданской авиации сформулированы следующие (рис. 3.1) задачи программной обработки данных автоматического зависимого наблюдения:

- идентификация возможностей линии передачи данных и ВС, оснащенного аппаратурой АЗН, по информации, поступившей с планом полета;
- выбор и регистрация в системе линии передачи данных между бортовым оборудованием и системой планов полетов центра УВД;
- сравнение данных о четырехмерном профиле полета, хранящихся в бортовой системе, с полетными данными наземной плановой системы;
- назначение (предоставление) соответствующего соглашения АЗН;
- контроль полета ВС до его входа в ВП системы, использующей информацию АЗН;
- формирование разрешения на вход ВС в ВП системы;
- регистрация фактического входа ВС в ВП системы;
- подтверждение соответствия прогнозируемого профиля полета ВС данным, хранящимся в БД плановой системы центра УВД;
- проверка соответствия хода полета (текущего местоположения) ВС действующему разрешению центра УВД;

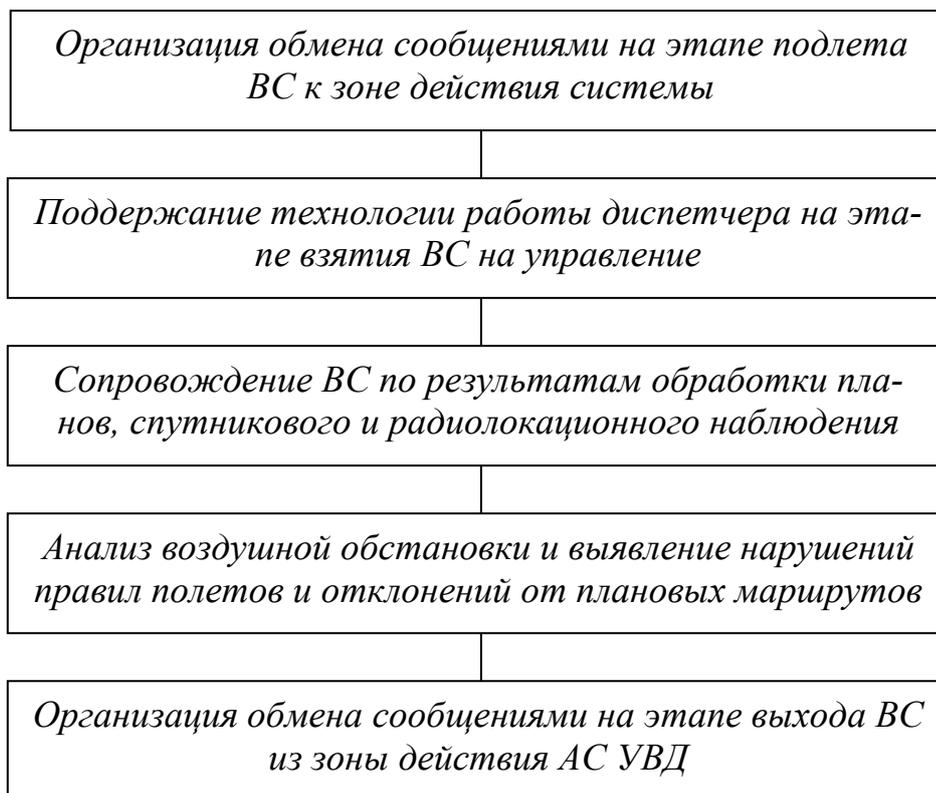


Рис. 3.1. Задачи ПО обработки данных АЗН

- предоставление диспетчерскому персоналу обновляемых данных о воздушной обстановке на основе информации АЗН;
 - сопровождение планов при переходах ВС из сектора в сектор;
 - обеспечение автоматической передачи сообщений о местоположении ВС в соответствии с соглашениями АЗН, установленными центром УВД;
 - обработка функций ввода диспетчерского персонала;
 - автоматизированная передача управления и связи между центрами УВД, обеспечивающими ОВД на основе АЗН с цифровым обменом данными;
 - автоматизированная передача управления и связи от центра УВД, обеспечивающего ОВД на основе АЗН, центру УВД, обслуживающему полеты без применения АЗН, с использованием цифрового обмена данными;
 - управление связью диспетчера и пилота по линии передачи данных;
 - обеспечение каналами прямой речевой связи пилота и диспетчера;
 - контроль и управление автоматической передачей донесений с борта ВС о значительных отклонениях параметров полета от плана;
 - обработка уведомлений с борта ВС об изменениях возможностей определения местоположения;
 - поддержание аварийного режима работы АЗН в целях выполнения процедур оповещения и поисково-спасательных операций;
 - взаимодействие с другими комплексами программ ПО АС ОрВД.
- Рассмотрим перечисленные задачи [5] подробнее.

3.1.2. ФУНКЦИИ УСТАНОВЛЕНИЯ СВЯЗИ

3.1.2.1. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ. Процедура выполняется на этапе текущего планирования. Напомним (см. книгу 4 данной серии), что разрешительный порядок ИВП России требует от пользователя не позднее, чем за полчаса до вылета, представить в АДП обновленный план полета в виде ФПЛ, который рассылается во все органы УВД, затрагиваемые маршрутом ВС. Наличие на борту аппаратуры АЗН должно отмечаться в плане соответствующими элементами сообщения. В частности, в поле 10 «Связное и навигационное оборудование» должен указываться [6] символ 'Г' ('G' на латинском регистре) наличия на борту аппаратуры АЗН. В поле 18 дополнительно заносятся требования к цифровым ЛПД от борта к наземным центрам УВД, а также характеристики аппаратуры АЗН, которой оснащено ВС, совершающее рейс по представленному плану. По возможности предпочтительно явно указывать тип линии. Если в поле 10 записана буква «З» (Z), то после сокращенного обозначения группы поля 18 «ЦОМ/» (СОМ/) указывается радиосвязное оборудование, имеющееся на борту, а после сокращения «НАЖ/» (NAV/) – другое навигационное и посадочное оборудование. В случае указания в поле 10 буквы Й (J), в поле 18 после обозначения ДАТ/(ДАТ/) указывается используемая ЛПД – С (S) – для спутниковой линии. При отсутствии явного указания, ПО выбирает тип с помощью коммутационных таблиц соответствия заданных в плане характеристик бортового оборудования возможностям имеющихся в системе линий передачи данных. На рис. 3.2 представлен условный пример заполнения такого плана.

| | | | | | | | |
|-------------|---|-------------|---------------------------------------|-------------|----------|----|----|
| СЕРИЯ | ФФ | АДРЕСАТЫ | УИУУЗЯЗЯ УИИИЗЯЗЯ УИННЗЯЗЯ УНКЛЗЯЗЯ У | СОСТАВИТЕЛЬ | УИААЗЯАУ | | |
| СЕКТОРЫ УВД | | ВРЕМЯ | 15:42:32 | ОТПРАВИТЕЛЬ | УИААЗЯАП | | |
| СПЕЦАДРЕС | | МОДИФИКАТОР | | УИААЗЯПК | | | |
| (3. | ФПЛ | 7. | АФЛ6543 | КОД ИКАО | А4567 | 8. | ИС |
| 9. | А319 | 10. | СГЗ/ЦЙ | | | | |
| 13. | УИАА1530 | | | | | | |
| 15. | K0900C0900 A45 A91 | | | | | | |
| 16. | УННН0330 | УНОО | | | | | |
| 18. | РЕГ/19123 ЕЕТ/УИУУ0030 УИИИ0100 УИНН0125 УНКЛ0150 УННН0250 УННН0310 НАЖ/ГНСС ДАТ/С ЦОМ/ЖСДЛ | | | | | | |

Рис. 3.2. Описание полей плана полета ВС, оснащенного аппаратурой АЗН

Фактически идентификация требуемых характеристик ЛПД производится плановой системой на этапе обработки поступившего сообщения и формирования информационного образа полетной информации. В гистограмме загрузки системы фиксируется время входа ВС в контролируемое воздушное пространство. Параллельно определяется время автоматического

перевода обрабатываемого плана в преактивное состояние. Выстраивается цепь событий, на которые должна реагировать система без вмешательства персонала. К таким событиям относятся ежедневная активизация библиотеки расписания, автоматическое удаление устаревших планов из базы данных, оповещение диспетчеров о переходах ВС из сектора в сектор, о предстоящем вылете с основного аэродрома. События активизируются в системе от таймера. Обрабатывающая программа обращается к ранее сформированной цепи последовательных событий УВД, и если ближайшее из них, согласно значению текущего времени, уже наступило, то оно обслуживается системой.

3.1.2.2. ВЫБОР И РЕГИСТРАЦИЯ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ. Перевод обрабатываемого плана из пассивного состояния в преактивное заключается в его вызове из базы данных и фиксации копии в оперативной памяти. ПО должно анализировать наличие в системе в текущий момент времени линий передачи данных указанного в плане типа и назначить принимаемому ВС соответствующий канал. Акт регистрации состоит в фиксации установленного соответствия в БД и в оперативной памяти.

Установление цифровой связи между ВС, выполняющим полет, и наземной системой производится заблаговременно, до фактического входа в зону ее действия. Контакт при подлете к границе, как правило, осуществляется по инициативе бортового оборудования, работающего в автоматическом режиме, либо по ручному вводу команды пилотом. Однако в особых случаях инициатором организации связи становится диспетчер.

Типовая процедура открытия сеанса связи по инициативе борта основана на анализе величины расчетного подлетного времени, оставшегося до пересечения границы воздушного пространства системы. В центр УВД посылается запрос линии, содержащий уникальный идентификатор борта и координаты его местоположения. ПО по номеру борта находит соответствующий план полета и связывает (отождествляет) его с поступившим запросом.

Нештатными ситуациями, при которых инициативу установления контакта берет на себя диспетчер, являются значительные отклонения от плана ИВП (истекло расчетное время входа ВС, а запрос связи с борта не поступил), а также отсутствие (или занятость) в системе необходимого типа линии передачи данных. Для согласования фактических возможностей автоматического взаимодействия ПО формирует запрос, используя уникальный идентификатор (позывной номер) борта, хранящийся в базе данных планов полетов.

Общим положением для обоих методов установления контакта являются результаты решения следующих задач. В обоих случаях за определенное время до входа в пространство системы организуются попытки соединения. Интервал времени выбирается в зависимости от местных условий. Для систем, в которых данные АЗН являются единственным источником измеренной навигационной информации (регионы, не охваченные радиолокационным полем – например, пространство над акваторией океана), этот период может составлять десятки минут и даже часы, в то время как в системах с высокой интенсивностью движения и перекрывающимся радиолокационным полем –

не превосходит нескольких минут. Документами регламентирован довольно широкий разброс этого параметра: 10 – 120 минут до входа ВС в зону действия системы.

Оба метода вступления в контакт завершают эту процедуру обменом квитанциями о получении запроса связи и фиксацией в базе данных наземной системы связи «борт АЗН – план полета». Желательная длительность процесса соединения, хотя это и не критично, рекомендована в пределах 45 секунд от момента генерации запроса до назначения конкретной цифровой линии передачи данных. ПО АС УВД в любом случае отслеживает по предактивному плану состояние борта АЗН, и если в расчетный момент времени борт не вступил в связь, пытается сделать это самостоятельно. Если попытка не увенчалась успехом, то на экране диспетчера УВД отображается предупреждающая информация, так как создается ситуация неопределенности, которая может потребовать вмешательства персонала.

Если диспетчер сочтет ситуацию некритической и не даст никаких указаний ПО с помощью пультовой операции, то попытки установления связи будут периодически повторяться – до наступления ближайшего из событий:

- запрос получен на борту и связь установлена;
- диспетчер по результатам переговоров скорректировал план полета на более позднее время входа в воздушное пространство системы;
- диспетчер ввел запрет организации связи с подлетающим ВС.

Аналогичные правила определяют действия ПО бортовых компьютерных систем в процессе установления цифровой связи с центром УВД.

3.1.2.3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ВЫБОР СОГЛАШЕНИЯ АЗН. В зависимости от обстановки, сложившейся в контролируемом воздушном пространстве, к средствам радионавигационных измерений, обслуживающим полеты, могут предъявляться различные оперативные требования к характеристикам предоставляемой в центр УВД координатной информации. При низкой интенсивности полетов и простой схеме маршрутов движения, сводящей к минимуму маневры изменения высоты и курса, необходимость в получении измеренных данных может возникать с интервалом в несколько минут. В ситуациях управления в зонах аэродромов с высокой интенсивностью вылетов и посадок ВС требуемая частота обновления данных для достоверного отслеживания маневров возрастает до секундных интервалов. Помимо частотных отличий, разными становятся требования к содержанию полей сообщений АЗН. В одних случаях ПО наземных систем достаточно получать только измеренные координаты, в других – информацию об остатке топлива на борту, четырехмерный профиль полета в пределах зоны и т.д. Специалистами регламентированы классы кодограмм и темпов обмена сообщениями АЗН, в своем сочетании удовлетворяющих соответствующие информационные потребности ПО. Эти классы названы соглашениями (или контрактами) АЗН.

Технологическая схема автоматического выбора и назначения рейсу соглашения АЗН выглядит следующим образом. На входе ПО имеется запрос связи с борта, в котором указаны реальные характеристики бортовой аппара-

туры. В частности, в нем подтверждается (или уточняется) техническая работоспособность объявленного еще в плане полета (рис. 3.2) оборудования, уникальный позывной номер ВС, пропускная способность бортовой цифровой связи, возможности речевой связи и т.д. ПО поддерживает список бортов АЗН, участвующих в движении, в котором (в реальном масштабе времени) отслеживается их текущее техническое состояние и возможности обмена данными (рис. 3.3). Отметим, что освобождение человека от рутинной операции определения соглашения по обмену сообщениями АЗН выдвигает высокие требования к надежности средств автоматизации. Вероятность ошибки процесса регистрации не должна превосходить величины 10^{-6} .

| Список бортов АЗН | | | | | |
|-------------------|---|-------|-----|-------|---------|
| PAN1234 | X | 15:51 | 101 | VSDL4 | Транзит |
| PAP5789 | X | 15:58 | 111 | DGN55 | Прилет |
| AFL1001 | M | 16:30 | 096 | VSDL3 | Вылет |
| AFL6543 | X | 16:41 | 090 | VSDL3 | Транзит |

Рис. 3.3. Пример списка бортов, оснащенных АЗН

3.1.3. ФУНКЦИИ ЭТАПА НЕПОСРЕДСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ

3.1.3.1. СРАВНЕНИЕ ДАННЫХ О ЧЕТЫРЕХМЕРНОМ ПРОФИЛЕ ПОЛЕТА. Четырехмерным профилем полета ВС называется модель траектории его движения, представленная последовательностью «путевых» точек в хронологическом порядке их пролета. Описание каждой точки содержит ее картографические координаты, высоту пролета над уровнем моря и момент пролета в формате всемирного скоординированного времени. Эти четыре параметра образуют термин «четырёхмерный профиль». Еще на этапе подлета к воздушному пространству системы, согласно действующей технологии УВД, должны быть скоординированы данные о планируемой траектории полета ВС, хранящиеся в бортовых компьютерах, с полетными данными наземной плановой системы. Многие диспетчерские ошибки в существующих зонах обслуживания ВД, не охваченных сплошным радиолокационным полем, возникают вследствие ввода в ПО ошибочных описаний точек маршрута по плану. Такая возможность всегда существует, если расчет маршрута, произведенный штурманом и хранящийся на борту, отличается от наземной версии, полученной ПО при обработке плана полета. В целях снижения вероятности подобных рассогласований, в системах АЗН оба фрагмента стратегического планирования сопоставляются друг с другом еще на подготовительной стадии, в предактивном состоянии плана полета. В центре УВД организуется проверка соответствия четырехмерного профиля полета, спланированного на борту, с результатом распределения рейса, хранящимся в БД.

Для решения задачи сравнения профилей в пределах установленного периода Δt подлета, ПО центра УВД запрашивает с борта уточненный (расширенный) профиль и получает его. Сопоставлению последовательно подвергаются описания всех точек маршрута, принадлежащих пространству системы. При расхождении значений параметров, превышающем допустимые ограничения, ПО оповещает об этом диспетчера с помощью диагностического сообщения на экране рабочего места. Рекомендованы следующие пороговые значения рассогласования профилей.

Пределные значения рассогласования параметров пролета точки

| № | Наименование ограничения | Величина | Примечания |
|---|---|----------------|--|
| 1 | Время до входа в зону, за которое согласуются профили | 10 – 120 минут | Δt в зависимости от обстановки и местных условий |
| 2 | Рассогласование по широте | 1' (мин.) | ~ 1 морская миля |
| 3 | Рассогласование по долготе | 1' (мин.) | ~ 1 морская миля |
| 4 | Рассогласование по высоте | 150 футов | ~ 50 метров |
| 5 | Рассогласование по времени | 1 – 5 мин. | от местных условий |

Процедура получения бортового профиля и его сопоставления с профилем БД должна исполняться не дольше 45 секунд. При получении от ПО диагностического сообщения о рассогласовании профилей диспетчер вправе игнорировать его и снять с экрана с помощью пультовых операций. Другая возможность – уточнить хранящийся в системе план полета по информации, полученной с борта, т.е. утвердить поступивший профиль. Наконец, диспетчер может направить пилоту хранящийся в БД «наземный» вариант рассчитанной траектории для координации дальнейших действий, и по результатам переговоров утвердить либо один из имеющихся вариантов, либо новый согласованный профиль полета ВС.

3.1.3.2. Функции ПО при подлете ВС к зоне действия системы. *Назначение подходящего соглашения АЗН.* Наличие у диспетчера согласованного с пилотом текущего плана (профиля) полета, информации о производительности и других возможностях бортовой аппаратуры, а также характер требований ОВД в зоне действия системы в своей совокупности позволяют определить подходящий тип соглашения АЗН. Идентификатор выбранного типа пересылается на борт входящего ВС для его принятия к исполнению. В зависимости от местных условий и складывающейся обстановки этот шаг должен выполняться за время $\Delta t = 5 - 45$ минут или, в терминах подлетного расстояния, за $\Delta d = 50 - 500$ морских миль до пересечения границы контролируемого воздушного пространства. ПО наземного центра должно послать код соглашения экипажу, чтобы настроить бортовую аппаратуру на работу в указанном режиме обмена данными. Как и в большинстве других процедур автоматического взаимодействия, предъявляются жесткие ограничения по надежности. Вероятность назначения некорректного соглашения не должна превышать 10^{-6} , а длительность настройки – 45 секунд.

Сопровождение полета ВС до входа в подконтрольное пространство. Получив назначенный тип соглашения АЗН, бортовое оборудование должно автоматически начать посылать в заданном темпе доклады органу УВД, принимающему управление, для того чтобы наземная система планирования полетов учитывала поступающую информацию в целях оптимального использования воздушного пространства. Время начала сеанса взаимодействия указывается одновременно с типом соглашения. На данном отрезке полета ВС

обменивается данными как с центром, передающим управление, так и с принимающим его. Такая ситуация сохраняется до завершения процедуры приема-передачи. При этом доклады могут отправляться в разные центры по разным типам соглашений. Наземные комплексы программ планирования используют полученные данные для обновления плана полета и списков в БД, а также для проверки правильности намеченных условий входа подлетающего ВС в воздушное пространство системы.

На отображение диспетчеру выдается строка списка входа, соответствующая рейсу, и метка его текущего местоположения.

Разрешение на вход в пространство системы. ПО наземной системы отслеживает расчетный момент входа ВС по прерываниям от таймера. Изменение статуса рейса зависит от складывающейся обстановки и от соблюдения подлетающим бортом запланированных условий входа. В случаях отклонения от плана возможен переход на новое соглашение по обмену данными. За Δt до входа к метке на экране средствами ПО присоединяется формуляр сопровождения с обновляемым содержимым, включая показатель качества работы АЗН. Этот факт должен подтвердить диспетчер. В БД фиксируется новый статус (прием на управление), на борт автоматически посылается уведомление, а также значение интервала времени («временного просвета»), которое может быть уделено диспетчером приему-передаче ВС. Факт приема подтверждается диспетчером нажатием клавиши. ПО обновляет статус полета в БД и на экранах рабочих мест оперативного персонала. Соответствующее сообщение посылается взаимодействующему органу, передающему управление. Значение Δt для данной процедуры зависит от условий ее выполнения и составляет 2 – 15 минут. Внутри указанного интервала все обновления данных должны появляться на экране не более чем за 3 секунды. Подтверждение фактов приема и передачи управления должны фиксироваться в течение 45 секунд. То же ограничение распространяется на величину задержки при выдаче бортовым оборудованием пилоту «временного просвета», полученного в кодограмме от наземного центра.

Фиксация факта входа ВС в пространство системы. В пространстве, не охваченном радиолокационным полем (например, в высоких широтах), передача управления ВС между центрами УВД требует от персонала повышенного внимания. Отсутствие измеренных данных о фактическом положении бортов резко увеличивает вероятность диспетчерских ошибок. Проблема особенно обостряется в случаях перехода ВС в АЗН-пространство из области процедурного контроля, при котором управление движением осуществляется только по докладам экипажей, без информационной поддержки наземных измерительных средств. На ПО плановой подсистемы в этих условиях возлагается функция фиксации начала полета в зоне действия системы. Для этого бывает достаточно набора данных, определенного соглашением АЗН, содержащим привязанные ко времени координаты текущего местоположения, периодически посылаемого бортовым оборудованием в центр УВД. Момент пересечения границы системы фиксируется плановой системой по величине

истекшего расчетного времени пролета точки входа, уточненной по данным сообщений АЗН. Изменение статуса борта, когда он оказывается под управлением, отображается на экране и фиксируется в БД. Оно может потребовать изменения соглашения АЗН. В этом случае на борт автоматически посылается требование перейти на новый тип взаимодействия, и борт должен ответить квитанцией, подтверждающей принятие и выполнение этого требования.

Вероятность неправильного распознавания факта входа ВС в зону действия системы не должна превышать 10^{-6} , а все обновления данных должны отображаться не более чем через 3 секунды.

3.1.3.3. ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ БОРТОВОГО ПРОФИЛЯ ПОЛЕТА РАСЧИТАННОМУ В НАЗЕМНОМ ЦЕНТРЕ ПЛАНУ. В задачи ПО наземного органа УВД входит проверка соответствия профиля полета, предоставленного в сообщениях с борта, хранящемуся в БД расчету, выполненному системой. Эта задача решается точно так же, как разовое сопоставление профилей при первоначальном выборе типа соглашения АЗН, обсуждавшееся выше. Допустимые значения отклонений для параметров пролета точек маршрута совпадают с указанными в таблице 3.1. Отличие состоит в том, что профиль полета ВС, находящегося под управлением системы, посылается в наземный центр периодически в каждом докладе АЗН с борта.

ПО должно отображать оперативному персоналу самые новые данные как по метке текущего положения ВС, так и в формулярах сопровождения и в строках списков. Параллельно проверяется правильность исполнения команд диспетчера, изменяющих рассчитанный ранее профиль полета. Каждое такое указание фиксируется в наземной системе исполнением функции ввода диспетчера. На борту воспринятую команду вводит в компьютер пилот, приступающий к выполнению маневра, обеспечивающего заданные диспетчером изменения (переход на другой эшелон, корректировка расчетной скорости и т.д.). Дальнейшие действия по согласованию информации осуществляются автоматически. Бортовая аппаратура формирует и передает в наземный центр доклады, содержащие новый профиль полета и текущие координаты. ПО наземной системы также рассчитывает модифицированный план и сопоставляет его с полученным донесением. Если сообщение АЗН не подтверждает прогноз, рассчитанный наземной системой, то на экран выдаются специальные сообщения, информирующие диспетчера, что его команда неадекватно воспринята экипажем ВС. Допустимые пределы расхождения для параметров пролета точек маршрута остаются теми же, что представлены в таблице 3.1. Установлена жесткая величина вероятности пропуска ситуации, при которой наземные расчеты не подтверждаются бортовыми – 10^{-7} . Время отображения диагностического сообщения диспетчеру не должно превышать 3 секунд от момента обнаружения рассогласования профилей до выдачи на экран.

Организацию процесса сопровождения ВС по данным АЗН осуществляет ПО с учетом приоритетности рейсов. Все перечисленные задачи решаются по каждому рейсу в условиях различного темпа обмена с бортами, установленного назначенными им типами соглашений. При необходимости, в

целях улучшения качества (например, устойчивости) обслуживания потока ВС, наземная система может посылать бортовой аппаратуре модификацию соглашения о типе или частоте следования сообщений о координатной информации.

3.2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПО С ДИСПЕТЧЕРСКИМ ПЕРСОНАЛОМ

3.2.1. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЕРСОНАЛА ОБНОВЛЯЕМОЙ КАРТИНОЙ ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКИ. Результатом обработки данных АЗН является синтетическая картина воздушной обстановки (рис. 3.4), формируемая ПО для каждого диспетчера на экране его рабочего места с использованием планов полетов, радиолокационной, метеорологической и справочной информации, включая режимные ограничения. Для достижения цели решаются следующие задачи:

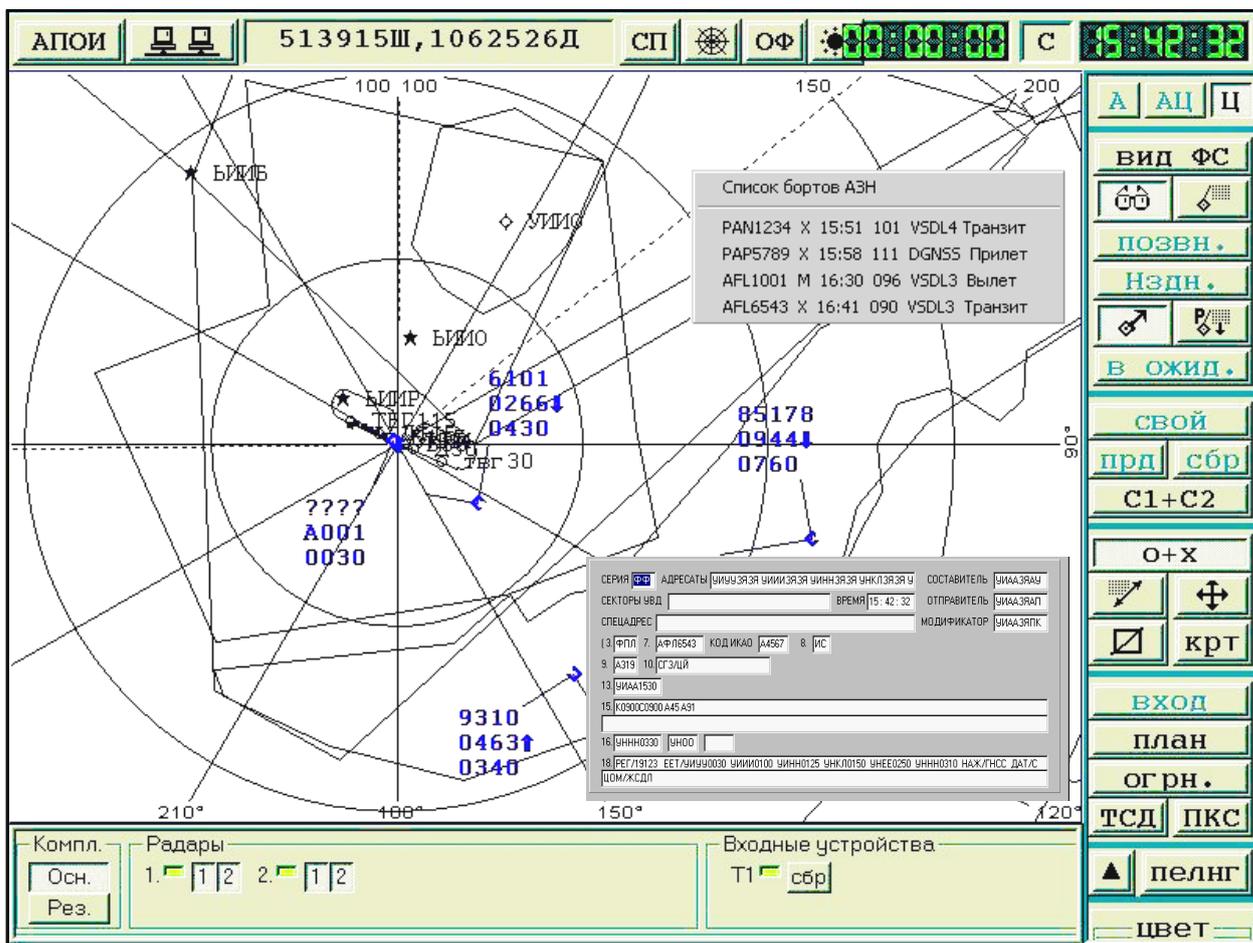


Рис. 3.4. Пример отображения воздушной обстановки с окном списка бортов АЗН и отображаемой по запросу формы плана полета

- ПО должно получать кодограммы сообщений о местоположении ВС, посылаемые с бортов, и обрабатывать их по изложенным выше правилам;
- ПО должно экстраполировать положение наблюдаемых ВС на основе последовательности ранее полученных координатных данных в соответствии с заложенными в систему алгоритмами сопровождения и сформированной на текущий момент моделью погоды (скорость ветра и температура воздуха);
- ПО должно анализировать полученную упрежденную картину воз-

душной обстановки и в случаях обнаружения конфликтов выдавать на экраны оповещения по каждому ВС, оборудованному аппаратурой АЗН, о его сближении с другими известными участниками движения, а также с вновь входящими в зону действия системы бортами;

- ПО должно обновлять содержимое диспетчерских экранов, используя информацию докладов АЗН, синхронно с другими процессами обработки измеренных данных;

- изменение положения отметок ВС должно производиться по правилам, привычным для оперативного персонала (например, последовательно по движению часовой стрелки);

- время между обновлениями экранных меток о рейсах АЗН должно фиксироваться как системный параметр и составлять 1 – 15 секунд в зависимости от назначенного типа соглашения и местных условий;

- ПО должно вырабатывать подсказки диспетчеру по предотвращению конфликтных ситуаций между двумя или более бортами и предлагать на выбор альтернативные решения, подготовленные алгоритмами программного эксперта рекомендаций;

- ПО должно обеспечивать ручной вызов на отображение и гашение меток бортов АЗН, а при наличии в системе наряду с данными АЗН радиолокационной и плановой информации об одном и том же ВС автоматически отображать только по одному треку каждого ВС: либо радиолокационный, либо АЗН, либо плановый;

- ПО должно вести статистику качества данных АЗН по каждому ВС и по требованию диспетчера отображать его в виде соответствующего показателя (figure of merit);

- время между получением доклада с борта и отображением трека не должно превышать 1 секунды.

3.2.2. СХЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ВС ПО ДАННЫМ АЗН. Частота и тип кодограмм для автоматической передачи донесений о местоположении ВС устанавливается выбранным наземной АС УВД типом соглашения АЗН. В соответствии с ним борт, оснащенный аппаратурой АЗН, должен обеспечивать передачу докладов, самостоятельно определяя моменты их формирования и послышки.

ПО наземной системы должно обрабатывать доклады АЗН, основываясь на следующей шкале приоритетов:

- бедствие, конфликты, аварийная ситуация;
- «неподтверждение» данных в докладах;
- обычные сообщения АЗН.

Диспетчеру предоставляется возможность изменять соглашение АЗН в соответствии со сложившимися обстоятельствами. ПО в этих случаях формирует соответствующие сообщения на борт для запуска введенных изменений действующего соглашения. Вероятность отказа в выработке сообщений АЗН не должна превышать 10^{-6} . Время между составлением доклада на борту

и его получением ПО не должно превышать 10% от интервала между донесениями, максимальное значение параметра составляет 15 секунд. Аналогично, допустимое время между созданием в наземном центре управляющего сообщения АЗН и его получением на борту не должно превышать 15 секунд. К бортовой аппаратуре предъявляется также требование, согласно которому отклонение времени на борту от текущего значения всемирного скоординированного времени должно быть менее одной секунды.

3.2.3. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПЕРЕДАЧА УПРАВЛЕНИЯ И СВЯЗИ МЕЖДУ НАЗЕМНЫМИ ЦЕНТРАМИ. Общая схема традиционна для технологии работы диспетчера. За установленный период Δt до перехода ВС в следующий по маршруту район УВД передающая система оповещает о готовящейся процедуре передачи управления экипаж и персонал принимающей системы. В системах АЗН данный шаг схемы выполняется путем перехода на новое соглашение с бортом и посылкой во взаимодействующий центр по наземной цифровой линии обмена данными сообщения координации по управлению. На борт передается команда вступить в связь с ПО принимающей АС УВД. Детали развития ситуации отображаются одновременно двум диспетчерам: передающему и принимающему. Автоматически устанавливается контакт борта и принимающей системы, назначается соглашение по обмену докладами. В зависимости от сложившейся обстановки и местных условий осуществляется либо ручная, либо автоматизированная, либо процедурная приемо-передача ВС. ПО передающей системы сбрасывает переданное ВС с сопровождения. В частности, отменяется действующее соглашение с бортом, а пилот оповещается о переходе под управление к новому диспетчеру.

Существуют два сценария реализации общей схемы. Вариант А отражает ситуацию, при которой принимающий орган устанавливает собственное соглашение еще до пересечения границы и получения от соседа сообщения координации. Это вариант, рекомендованный международной организацией ГА. Дополнительный вариант В используется в тех случаях, когда ПО принимающей АС УВД по каким-то причинам не обеспечило автоматического установления связи с подлетающим ВС. В результате подготовка к его приему на управление начинается лишь с момента поступления сообщения координации из передающей системы, либо с момента организации контакта по инициативе бортовой аппаратуры АЗН. Состав операций и последовательность их выполнения фактически одинаковы. Отличие заключено в процедуре выбора соглашения с принимающей системой и описано выше. Технологическая схема выглядит следующим образом:

- за время Δt до достижения ВС точки или области передачи управления, ПО передающей АС УВД подбирает в БД полетной информации подходящее граничное соглашение АЗН;
- критерии выбора граничного соглашения определяются конфигурацией маршрута во взаимном расположении с другими участниками движения, а также высотой следования и действующими требованиями УВД;
- ПО передающей системы формирует и передает принимающей сис-

теме сообщение координации, касающееся передаваемого борта и содержащее условия входа: время, высоту, тенденцию изменения высоты полета;

- ПО передающей системы дает команду на борт об установлении связи с принимающим органом;

- ПО передающей системы отображает управляющему диспетчеру детали приближения ВС к точке передачи;

- ПО принимающей системы по данным сообщения координации и текущей метеообстановки уточняет хранящийся в ее БД план полета подлетающего ВС и тоже отображает диспетчеру (принимающему) картину приближения ВС к точке передачи;

- принимающий диспетчер на основе анализа воздушной обстановки в своем секторе УВД либо дает согласие на полученные условия передачи ВС, либо предлагает новые условия пролета точки передачи;

- ПО принимающей системы назначает соглашение АЗН и устанавливает связь с подлетающим бортом;

- ПО взаимодействующих систем поддерживают согласование условий и собственно передачу ВС и связи «воздух-земля» (формирование и рассылка сообщений координации, передачи и приема управления, сброс и организация сопровождения АЗН в подходящие фазы процесса);

- пилот оповещается о смене позывного диспетчера УВД.

Рекомендованные ограничения составляют, в зависимости от местных особенностей, для Δt величины в диапазоне 10 – 60 секунд, для вероятности P_r некорректных действий ПО – $P_r \leq 10^{-6}$. Интервал времени от момента передачи управления и связи до появления на экранах диспетчеров обновленной информации не должно превышать пяти секунд.

3.2.4. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПЕРЕДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНУ УВД, НЕ ОБОРУДОВАННОМУ АППАРАТУРОЙ АЗН. Программная поддержка диспетчера в случае передачи ВС смежной системе, не оснащенной средствами АЗН, осуществляется по усеченной схеме взаимодействия. Выполняются лишь перечисленные выше пункты, относящиеся к передающей АС УВД. За Δt подлета к области передачи ПО организует переход на граничное соглашение. Автоматически формируется и посылается принимающему центру сообщение координации. На экран передающему диспетчеру и пилоту на борт выдаются оповещения о начале процедуры. После выхода пилота на связь с новым (принимающим) диспетчером и прекращения обмена докладами сбрасывается использованное соглашение. С экранов передающего центра снимаются данные о переданном ВС. Особенности процедуры УВД для передачи управления и связи в систему, не использующую данные АЗН, иллюстрирует следующая технологическая схема:

- за время Δt (10 – 60 минут) до достижения ВС точки или области передачи управления, ПО передающей АС УВД подбирает в БД полетной информации подходящее граничное соглашение АЗН;

- ПО передающей системы определяет критерии выбора граничного

соглашения в соответствии с маршрутом ВС, высотой его движения и действующими в районе полетной информации требованиями УВД;

- ПО передающей системы формирует и передает принимающей системе сообщение координации, касающееся подлежащего передаче борта и содержащее условия входа в соответствии с граничным соглашением;

- ПО передающей системы оповещает диспетчера, управляющего полетом, о приближении борта АЗН к области передачи управления и отображает ему детали приближения ВС к точке передачи;

- передающий диспетчер при поддержке ПО выполняет процедуру передачи управления и связи в соответствии с должностными инструкциями, регламентирующими его действия в конкретном регионе действия АС УВД;

- ПО оповещает пилота о смене позывного диспетчера УВД, пилот входит в контакт с принимающим органом УВД, используя обычные процедуры вступления в связь;

- ПО передающей системы сбрасывает все соглашения АЗН, действовавшие по переданному борту, и снимает с экрана оперативную информацию о его полете в зоне действия системы.

3.3. СИСТЕМНЫЕ ФУНКЦИИ ПО ОБРАБОТКИ ДАННЫХ АЗН

3.3.1. УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВОЙ ЛИНИЕЙ СВЯЗИ «ДИСПЕТЧЕР-ПИЛОТ». Тенденция развития АС УВД, поддержанная экспертами мирового авиационного сообщества, состоит в увеличении удельного веса «молчаливого» обмена информацией между диспетчерами и пилотами. Взаимодействие по громкоговорящей связи происходит с использованием стандартной фразеологии и в штатных ситуациях выполняется должностными лицами машинально. Уточняются параметры пролета точек маршрута, обстановка на трассе, даются рекомендации относительно дальнейших действий. В нештатных ситуациях переговоры могут отвлекать одну из сторон от принятия неотложных решений. В связи с этими и другими обстоятельствами получил развитие обмен текстовыми сообщениями, отображаемыми на экранах пилотов и диспетчеров, а также между диспетчерами смежных секторов УВД, при необходимости их общения. ПО системы, оснащенной цифровыми линиями связи между пилотом и диспетчером, поддерживает «молчаливый» обмен в целях эффективной обслуживания воздушного движения. Для формирования сообщения на экран выводится набор стандартных фраз, которые переносятся в готовый бланк щелчками мыши, и процедура отправки текста занимает меньше времени, чем вызов пилота по громкоговорящей связи и голосовая декламация. Допускается отправка неформализованного текста, а также комбинаций стандартных и «свободных» частей. ПО упаковывает сообщение в кодограмму, соответствующую действующему соглашению, и отправляет абоненту, где текст выводится на экран с подачей звукового сигнала для привлечения внимания получателя. При занятости более срочными делами, адресат может ненадолго отложить работу с поступившей информацией, а при ознакомлении с содержимым получает больше удобств, чем в разговорной

речи. Перечисленные достоинства, наряду со снижением нагрузки многочасовых переговоров в течение смены, показывают, почему оперативный персонал систем УВД с энтузиазмом воспринял данное нововведение в технологию его работы.

Технологическая схема организации сеанса цифровой связи распадается на две составляющие: «сверху вниз» и «снизу вверх».

Связь по инициативе борта (пилот с диспетчером):

- при возникновении ситуации, требующей послышки сообщения диспетчеру по цифровой линии связи, пилот формирует его текст на экране и вводит в бортовую систему, которая отправляет кодограмму в АС УВД;

- ПО наземной системы отображает сообщение соответствующему диспетчеру.

Связь по инициативе земли (диспетчер с пилотом):

- в случае необходимости передачи цифрового сообщения пилоту диспетчер составляет его, используя либо набор стандартной фразеологии, либо свободный текст, либо комбинацию того и другого и вводит результат в ПО, которое формирует и в рамках действующего соглашения посылает кодограмму соответствующему борту.

- бортовая аппаратура должна отобразить сообщение пилоту.

Вероятность ошибки обмена по цифровой линии связи не должна превышать 10^{-7} . Задержка времени от получения кодограммы до отображения сообщения адресату может достигать десяти секунд.

3.3.2. КОНТРОЛЬ И АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПЕРЕДАЧА БОРТОВЫХ ПОЛЕТНЫХ ДАННЫХ. Доклады о техническом состоянии бортовой аппаратуры включаются в кодограммы сообщений АЗН о местоположении и определены действующим на текущей фазе движения типом соглашения. Таким образом, наземному ПО передаются не только сведения о координатах, скорости, курсе и высоте ВС в указанный момент времени, но и характеристика изменения возможностей бортовой навигационной аппаратуры, сосредоточенная в упомянутом выше показателе качества (figure of merit). ПО АС УВД воспринимает периодически поступающие доклады и сравнивает расчетное местоположение с измеренным. Параллельно накапливается статистика по колебаниям величины показателя качества. В случае обнаружения значительных отклонений оцениваемых значений, они отображаются диспетчеру. Темп передачи докладов на землю устанавливается выбранным соглашением АЗН.

Основные задачи, решаемые ПО для выполнения данной функции:

- выбор критериев правильности выполнения полета, применимых к пространству (местные особенности района) и к текущей фазе полета (набор высоты, снижение, передача управления и т.д.);

- включение в соглашение АЗН значений моментов времени передачи докладов (длительности интервалов между ними);

- передача на борт выбранных критериев правильности полета для того, чтобы бортовая система могла распознать, когда хотя бы один из докладываемых параметров перестает удовлетворять им, чтобы готовить и отправ-

лять на землю донесения АЗН по каждому специфическому отклонению;

- анализ докладов АЗН и выработка сигнала тревоги, отображаемого диспетчеру, если какой-либо параметр выходит за пределы допустимого диапазона, представленного в таблицах 3.1 и 3.2;

Таблица 3.2

Аварийные значения рассогласования параметров пролета точки

| № | Наименование ограничения | Величина | Примечания |
|---|-----------------------------|-------------|--------------------------|
| 1 | Рассогласование по скорости | 20 узлов | морские мили в час |
| 2 | Рассогласование по курсу | 10° (град.) | между точками маршрута |
| 3 | Рассогласование координат | 1' (мин.) | ~ 1 морская миля по x, y |
| 4 | Рассогласование по высоте | 150 футов | ~ 50 метров |
| 5 | Рассогласование по времени | 1 – 5 мин. | от местных условий |

- распознавание функции распределения и моментов изменения статуса для значений показателя качества бортовой навигационной аппаратуры;

- оповещение диспетчера об изменениях состояния бортовых средств навигации – принудительное в аварийных ситуациях и по запросу в нормальных условиях полета.

Длительность задержки времени от приема системой критических (аварийных) значений параметров до их фиксации в базе данных и отображения обновлений на экране не должно превышать трех секунд.

3.3.3. ПРОГРАММНАЯ ПОДДЕРЖКА АВАРИЙНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ. Нештатные ситуации полетов ВС, оборудованных аппаратурой АЗН, распознаются наземной системой по содержанию принимаемых сообщений. ПО АС УВД должно в этом случае изменить класс докладов, если это необходимо, и перейти на работу по аварийному соглашению. Откладываются до нормализации ситуации все другие периодические донесения. По окончании аварии ПО дает команду на борт о восстановлении соглашения штатного режима. Круг задач поддержки аварийного режима включает в себя обеспечение всех процедур [7] оповещения и организации поисково-спасательных операций. В данном изложении он ограничен взаимодействием пилота ВС, терпящего бедствие, и диспетчера УВД.

Алгоритм действует единообразно как в случаях, если аварийный режим запускается пилотом, так и при автоматическом его установлении средствами бортового оборудования. Технологическая схема включает в себя:

- по событию определения аварийного режима (автоматическому или от ввода команды пилота) бортовая система формирует и передает базовый доклад АЗН с параметрами аварии, повторяющийся периодически и содержащий идентификатор рейса и состояние ВС, в том числе, параметры полета;

- ПО наземной системы распознает аварийный режим и оповещает диспетчера о случившемся;

- ПО наземной системы должно обладать способностью изменять класс аварийных докладов, если такая необходимость возникнет.

С момента установления аварийного режима отменяются до окончания его действия все существовавшие ранее периодические сеансы связи между наземной системой и терпящим бедствие бортом. На весь этот период любой запрос (доклад) периодической связи со статусом режима нормальной работы игнорируется. Однако связи по событиям сохраняются (пролет пункта обязательных донесений, изменение профиля полета, передача управления и т.д.). По окончании аварийного режима ПО наземной системы должно восстанавливать действие нормальной периодической связи по старому соглашению, либо назначить новое соглашение АЗН. Установлены следующие процедурные требования по времени реакции на объявление аварии:

- время перехода на взаимодействие с бортом в аварийном режиме (так называемый «начальный обвал») до 64 секунд;

- время между посылкой доклада об аварии и его отображением диспетчеру не должно превышать 5 секунд.

Общие требования к системам цифровой связи следующие:

- вероятность того, что какое-либо сообщение будет доставлено хотя бы с одной (или более) необнаруженной ошибкой должна быть менее 10^{-7} ;

- вероятность отсутствия уведомления о получении сообщения должна быть менее 10^{-6} ;

- вероятность неправильной адресации любого отдельного сообщения должна быть менее 10^{-7} ;

- минимальная доступность абонентов системы связи должна поддерживаться в пределах от $1 - 10^{-6}$ до $1 - 10^{-4}$ в заданный период времени, например, в течение месяца;

- за исключением катастрофических ситуаций, ни один сеанс передачи данных не должен по продолжительности превышать 30 секунд;

- отклонение бортового времени от всемирного скоординированного времени не должно превышать одной секунды.

3.3.4. ТРЕБОВАНИЯ СИСТЕМЫ АЗН К ПО НАЗЕМНОГО ЦЕНТРА АС УВД. Перечислим рассмотренные выше функции ПО по обработке данных АЗН:

- отображение полетной информации в удобном для восприятия виде;
- обработка функций ввода диспетчера для корректировки полетных данных в соответствии с его действиями при осуществлении ОВД;

- обеспечение реакции на запросы индивидуальной (по каждому ВС) и интегральной (списки, графика) информации с «подкраской» бортов АЗН;

- исполнение команд диспетчера по переходу на новый тип соглашения АЗН, если этого потребуют обстоятельства;

- поддержка диспетчеров в процессе приема-передачи управления ВС;

- освобождение диспетчера от оповещения пилота о передаче управления диспетчеру следующего сектора УВД по маршруту;

- предоставление возможности диспетчеру начать процедуру приема-передачи управления и связи в удобное для него время;

- обеспечение возможности оперативной отправки диспетчером на

борт текстовых сообщений пилоту;

- распознавание борта АЗН и возможностей его аппаратуры связи из зарегистрированного плана полета ВС, хранящегося в базе данных;
- прием запроса сеанса связи от подлетающего ВС, оснащенного АЗН;
- сопровождение корреляционной таблицы всех управляемых в текущий момент времени бортов, оснащенных аппаратурой АЗН;
- утверждение и фиксация связи позывного ВС с его описанием в БД;
- формирование ответа на запрос сеанса связи с подлетающим ВС;
- установление в случаях необходимости цифровой связи с ВС по собственной инициативе;
- формирование и отправка запроса связи с бортом;
- прием запроса связи и содержащихся в нем координат текущего положения ВС;
- обновление информации о текущем положении ВС и других данных в БД по сообщениям, посылаемым с борта;
- подтверждение борту получения сообщений действующего соглашения (формирование квитанций);
- поддержка и сопровождение текущей информации о связи с бортами и возможностях наблюдения;
- определение необходимости подтверждения бортового четырехмерного профиля полета при входе ВС в пространство системы;
- выдача запроса планируемого четырехмерного профиля полета ВС у бортовых систем в случае необходимости;
- прием планируемого четырехмерного профиля полета ВС от бортовых систем;
- сопоставление четырехмерного профиля, полученного от бортовых систем, с рассчитанным ПО АС УВД планом полета;
- определение приемлемости планируемого четырехмерного профиля;
- назначение соглашения АЗН борту, основанное на данных плана полета, получаемых с борта сообщениях и в зависимости от местных условий УВД и динамики воздушной обстановки;
- назначение и передача на борт новых соглашений АЗН бортовой аппаратуре соответствующих ВС;
- распознавание принятия бортом нового соглашения по ответному сообщению;
- прием докладов, переданных ВС, оснащенными аппаратурой АЗН, для планирования дальнейшего развития воздушной обстановки;
- использование докладов АЗН для обновления базы полетных данных;
- анализ условий входа ВС в контролируемое воздушное пространство;
- отображение диспетчеру обновляемого местоположения ВС;
- определение необходимости отображения диспетчеру деталей фазы приема ВС на управление;
- фиксация в базе данных акта приема ВС на управление диспетчером;

- отображение деталей текущего полета, включая показатель качества АЗН-сопровождения ВС, диспетчеру соответствующего сектора;
- обновление отображения для индикации изменений статуса полета;
- формирование сообщений координации для фазы передачи управления ВС, если это требуется граничными соглашениями;
- распознавание граничных соглашений АЗН;
- выбор граничного соглашения в соответствии с конфигурацией маршрута и высотой следования ВС, оборудованного аппаратурой АЗН;
- рассылка сообщения об уточненном расчетном профиле полета борта АЗН в центры УВД по маршруту, не использующие данные АЗН;
- оповещение диспетчера о достижении ВС, оборудованного аппаратурой АЗН, точки или области передачи управления;
- прием и обработка указаний диспетчера, передающего управление и связь, в соответствии с действующими соглашениями между взаимодействующими органами УВД;
- «молчаливое» уведомление пилота ВС, оснащенного аппаратурой АЗН (без голосовой связи, с помощью текста на экране), о смене диспетчера УВД (о передаче управления в следующий сектор по маршруту);
- сброс «занятости» всех соглашений АЗН, действовавших по переданному ВС, после передачи управления следующему центру УВД по маршруту;
- прием и обработка цифровых сообщений, посланных с ВС, оснащенных цифровыми линиями и находящихся под контролем системы;
- отображение сообщения диспетчеру;
- обеспечение диспетчеру возможности создавать цифровые сообщения из набора стандартных сообщений, либо свободного текста, либо комбинации того и другого;
- формирование и рассылка цифровых сообщений бортовым системам соответствующих ВС;
- приостановка цифрового обмена с ВС по действующим соглашениям при установлении статуса аварийной ситуации;
- обеспечение простого механизма начальной установки прямой голосовой связи диспетчера с пилотом;
- поддержание доступности для диспетчера голосовой связи с пилотом;
- вычисление характеристик соответствия полета ВС местным условиям и его текущей фазе (набор высоты, снижение, горизонтальное движение);
- выбор набора докладываемых характеристик из множества допустимых данным типом соглашения АЗН;
- получение докладов АЗН для специфических условий полета;
- получение докладов при изменении возможностей бортовой навигационной аппаратуры;
- распознавание изменения показателей качества поступающей с борта информации АЗН;
- оповещение диспетчера об изменении возможностей бортовой нави-

гационной аппаратуры;

- прием и обработка сообщения об аварийном режиме на борту и оповещение диспетчера;
- управление частотой следования аварийных сообщений с борта;
- временная приостановка действующего соглашения при объявлении аварийного режима с возможностью его восстановления и модификации после сброса аварии;
- поддержание обмена цифровыми сообщениями для взаимодействия со смежными наземными центрами УВД;
- рассылка зарегистрированных планов полетов для ВС, оборудованных аппаратурой АЗН, в соответствующие органы УВД по маршруту;
- транзитная пересылка поступивших сообщений следующим центрам;
- обмен сообщениями координации, касающимися условий перехода ВС из зоны действия одного центра УВД в зону действия другого;
- организация обмена всеми цифровыми сообщениями между передающим и принимающим диспетчерами в фазе передачи управления и связи;
- поддержание взаимодействия диспетчеров смежных центров в соответствии с действующими граничными соглашениями на всем протяжении процедуры передачи управления ВС;
- поддержание взаимодействия диспетчеров при передаче ВС от центра, использующего данные АЗН, к центру, не оснащеному АЗН.

4. ПРОГРАММНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАВИСИМОГО НАБЛЮДЕНИЯ

4.1. СОСТАВ И СТРУКТУРА КОДОГРАММ СООБЩЕНИЙ АЗН

Основным источником информации о текущем положении ВС, совершающих полеты в воздушном пространстве системы, использующей данные АЗН, являются унифицированные кодограммы сообщений, периодически посылаемых в наземный центр УВД бортовым оборудованием. В материалах рабочих групп экспертов международной организации ГА предложены стандартные форматы десятков типов таких сообщений, которые должны восприниматься ПО АС УВД и обрабатываться автоматически. Несмотря на обилие номенклатуры кодограмм, основным является донесение (доклад) АЗН, передаваемое с борта ВС в рамках назначенного соглашения, которое может содержать до десяти информационных блоков. Обязательным для передачи в АС УВД является так называемый базовый блок, содержащий координаты текущего местоположения (широта и долгота), а также значения высоты полета, момента времени формирования сообщения (в единицах всемирного скоординированного времени), признаки наличия на борту системы предупреждения столкновений и вычисленную величину показателя качества работы бортового навигационного оборудования. Остальные информационные блоки добавляются в кодограмму по запросу наземной системы в соот-

ветствии с назначенным рейсу соглашением АЗН.

4.1.1. Основной блок доклада АЗН. Формат блоков представлен на рис. 4.1. По горизонтали на схеме указаны биты, по вертикали – байты сообщения. В первом поле кодограммы содержится идентификатор типа сообщения, по значению которого ПО выбирает правила обработки данных. Во втором поле кодограммы пересылается широта текущего местоположения ВС, в третьем – долгота. Обе координаты включают в себя знаковый бит S, т.е. направление отсчета относительно экватора или гринвичского меридиана. Четвертое поле – измеренная высота полета. Пятое поле – момент времени измерения координат ВС. Значение поля «Т» устанавливается равным нулю, если данные бортовой системы предупреждения столкновений не доступны аппаратуре АЗН, и равным единице в противном случае. Поле «R» содержит информацию об избыточности бортового навигационного оборудования. $R = 0$, если ВС располагает одним комплектом и $R = 1$, если на борту сосредоточены несколько комплектов навигационной аппаратуры. Числовые значения показателя FOM качества бортовой системы АЗН и соответствующие им возможности навигации представлены в таблице 4.1. Два битовых поля, обозначенные символом «O» на нижней строке чертежа, являются резервными.

Форматы необязательных блоков, включаемых в доклады АЗН по мере необходимости (в соответствии с назначенными типами соглашений), изображены на рис. 4.2 – 4.8. Приведены кодограммы о позывном номере ВС и 24-битном идентификаторе ИКАО, метеоблок, профиль полета и другие.

Напомним, что битовые поля кодограммы, обозначенные символом «O», зарезервированы для будущих дополнений информационного обмена. Поле «Т» отражает состояние бортовой системы предупреждения столкновений (СПС). Его значения формируются по следующему правилу:

$$\begin{cases} T = 0, \text{ если СПС не сопряжена с аппаратурой АЗН,} \\ T = 1, \text{ если данные СПС доступны аппаратуре АЗН.} \end{cases}$$

По той же схеме заполняется поле «R»:

$$\begin{cases} R = 0, \text{ если ВС с одним комплектом навигационной аппаратуры,} \\ R = 1, \text{ если комплектов навигационной аппаратуры несколько.} \end{cases}$$

Значения поля FOM (Figure Of Merit) представлены таблицей 4.1.

Приведенные в таблице 4.1 англоязычные сокращения обозначают:

- INS (*Inertial Navigation System*) – инерциальная система навигации;
- VOR (*VHF Omni Directional radio range*) – радиотехническая система ближней навигации (РСБН), радиомаяк ультракоротковолнового (УКВ) диапазона с дальностью действия 350 – 400 км;
- DME (*Distance Measuring Equipment*) – радиомаячная РСБН диапазона УКВ, аппаратура измерения дальности;
- LORAN-C – разностно-дальномерная система дальнего действия (до 2500 – 3000 км);
- GPS (*Global Positioning System*) – глобальная навигационная система

местоопределения ВС в любом районе Земли, предполагающая использование сплошного радионавигационного поля.

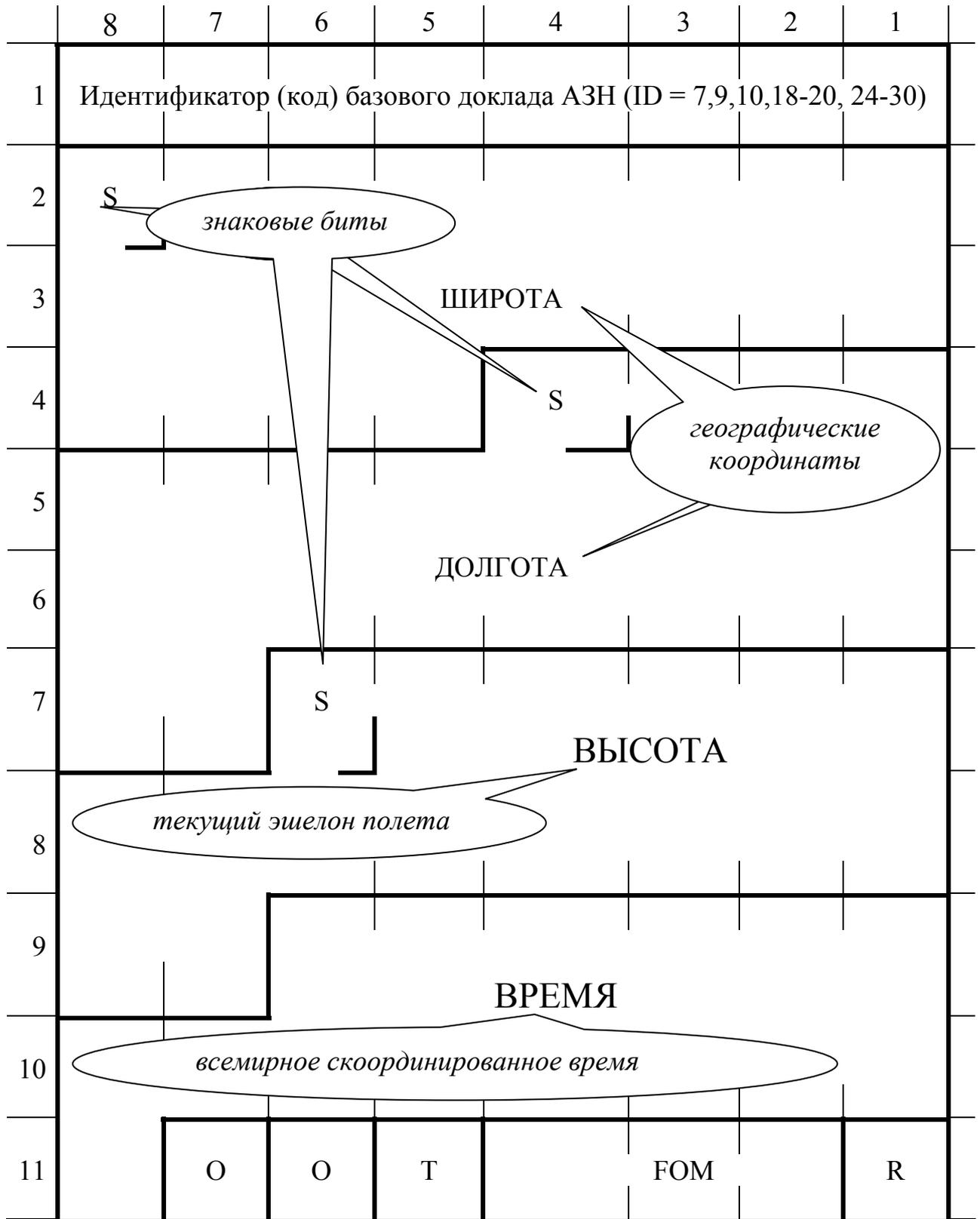


Рис. 4.1. Формат основного блока (обязательной кодограммы) доклада АЗН

Таблица 4.1.

| значения FOM | точность данных АЗН (с вероятностью 95%) | соответствие значений FOM возможностям известных радионавигационных систем |
|--------------|--|---|
| 0 | более 30 морских миль | полная потеря возможностей навигации |
| 1 | до 30 морских миль | согласуется с INS на дальних полетах (без юстировки в течение 11,5 часов) |
| 2 | до 15 морских миль | согласуется с INS на Тихоокеанских трассах (7 – 7,5 часов полета с уровнем дрейфа до двух морских миль в час) |
| 3 | до 8 морских миль | согласуется с INS в Северной Атлантике (3,5 – 4 часа) и с ручной навигацией на удалении свыше 50-ти морских миль от VOR |
| 4 | до 4 морских миль | согласуется с точностью VOR на удалении менее 51 морских миль или с полетами над океаном менее двух часов |
| 5 | до 1 морской мили | соответствует наземной сети DME |
| 6 | до 0,25 морской мили | соответствует точности системы LORAN-C |
| 7 | до 0,05 морской мили | соответствует ожидаемой точности GPS |

ПО сопоставляет полученные данные с ранее рассчитанным профилем полета для корректировки плановой информации и для отображения метки текущего положения на экране рабочего места диспетчера УВД.

4.1.2. ОПОЗНАВАТЕЛЬНЫЙ ИНДЕКС ВС. Формат дополнительного блока сообщения АЗН о позывном номере ВС, формируемого бортовой аппаратурой по запросу наземного центра, представлен на рис. 4.2. Блок содержит кодовую комбинацию, состоящую из восьми символов. Каждый символ кодируется шестью битами.

ПО использует информацию опознавательного блока для идентификации на экране диспетчера метки текущего положения ВС, упаковывая код позывного номера в первом поле формуляра сопровождения. В совокупности с данными других дополнительных блоков, позывной индекс формирует составной ключ поиска в базе данных системы плана полета, соответствующего наблюдаемому борту. План автоматически сопоставляется с докладами АЗН и при необходимости корректируется по результатам измерений системы спутниковой навигации. При обнаружении значительных отклонений от заданной траектории, превышающих допустимый порог, на экран диспетчера выдаются предупреждающие сообщения, оповещающие о нарушении плана.

4.1.3. ПЛАНИРУЕМЫЙ ПРОФИЛЬ. Формат дополнительного блока доклада АЗН о планируемом профиле полета ВС, включаемого в сообщение с борта по запросу наземной системы, представлен на рис. 4.3. Блок содержит измеренные средствами спутниковой навигации географические координаты и высоту пролета ближайшей (в направлении движения) точки маршрута по плану, а также следующей за ней точки. Символ «S» введен на схеме рис. 4.1 и обозначает знаковые биты информационных полей.

| | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|---|---|---|-----------------------------------|---|---------------------------------|---|------------|---|
| 1 | Идентификатор доклада (по запросу) о позывном номере ВС (ID = 12) | | | | | | | |
| 2 | Первый символ позывного номера | | | | | | 2-й символ | |
| 3 | Второй символ позывного номера | | | | Третий символ позывного номера | | | |
| 4 | 3-й символ | | Четвертый символ позывного номера | | | | | |
| 5 | Пятый символ позывного номера | | | | | | 6-й символ | |
| 6 | Шестой символ позывного номера | | | | Седьмой символ позывного номера | | | |
| 7 | 7-й символ | | Восьмой символ позывного номера | | | | | |

Рис. 4.2. Опознавательный блок ВС (включается в сообщение по запросу)

| | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|---|--|--|---|--|---|---|---|---|
| 1 | Идентификатор доклада о расчетном профиле полета (ID = 13) | | | | | | | |
| 2 | S | ШИРОТА СЛЕДУЮЩЕЙ (N) ТОЧКИ МАРШРУТА | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | S | ДОЛГОТА СЛЕДУЮЩЕЙ (N) ТОЧКИ МАРШРУТА | | |
| 5 | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | |
| 7 | | | S | ВЫСОТА ПРОЛЕТА СЛЕДУЮЩЕЙ (N) ТОЧКИ МАРШРУТА | | | | |

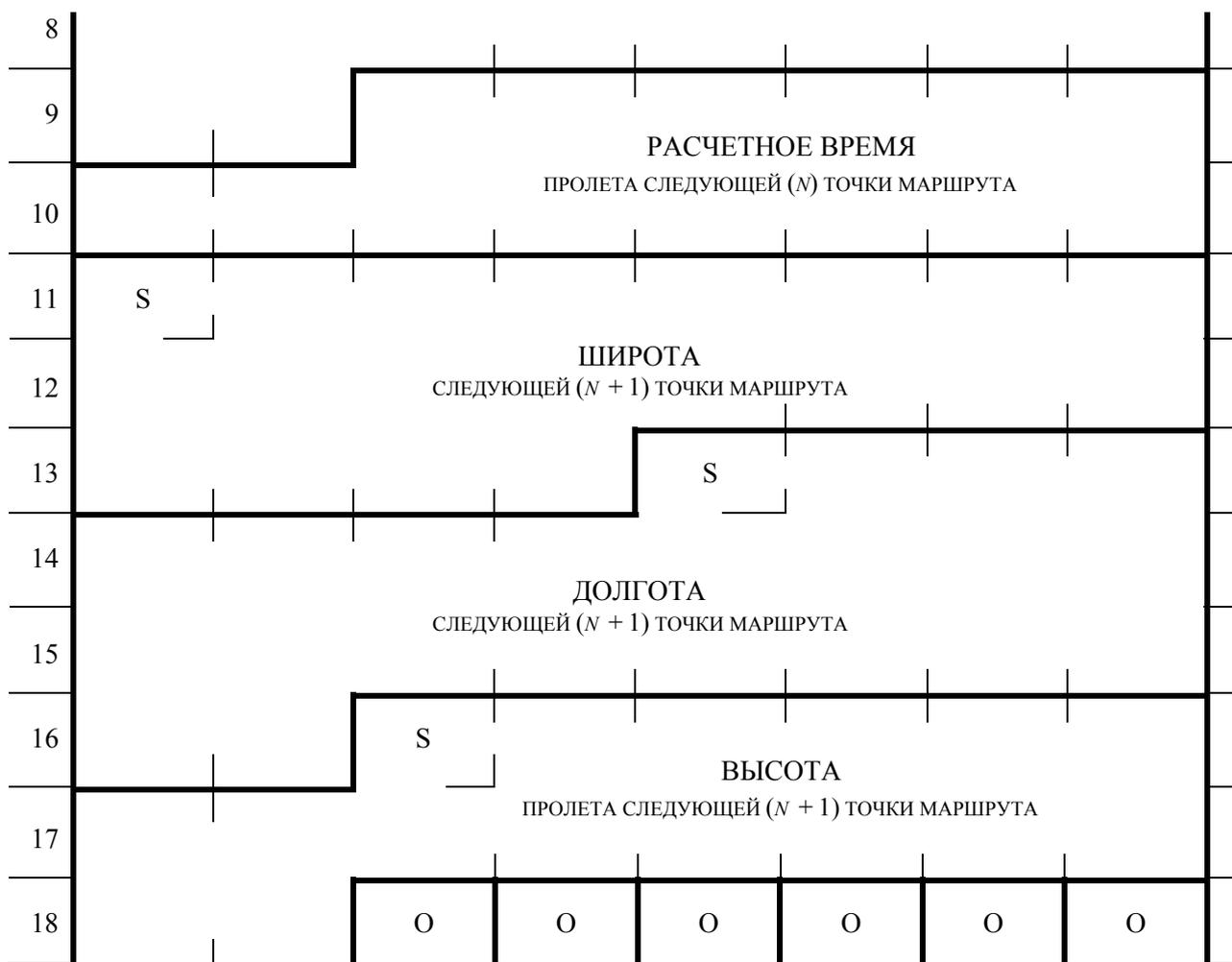


Рис. 4.3. Блок планируемого профиля полета (включается по запросу)

По существу, доклад содержит расчетные условия пролета двух ближайших следующих подряд точек маршрута. ПО использует их для сопоставления с ранее рассчитанным планом полета, хранящимся в базе данных.

4.1.4. ВЕКТОР ПУТЕВОЙ СКОРОСТИ. Формат дополнительного блока доклада АЗН о значении путевой скорости ВС, включаемого в сообщение с борта по запросу наземной системы, представлен на рис. 4.4.



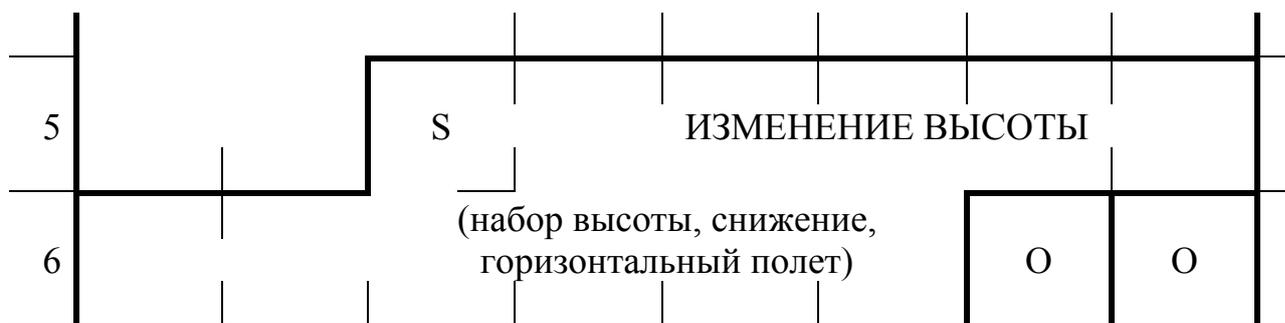


Рис. 4.4. Блок вектора путевой скорости ВС (включается по запросу)

Условные обозначения: символ «V» указывает бит размерности путевого угла, символ «S» – знаковый бит. Путевая скорость по определению есть скорость перемещения проекции центра масс ВС по земной поверхности. С учетом сноса любого летательного аппарата ветровыми течениями, реальное направление движения не совпадает с курсом полета, измеренным бортовыми приборами. Значения этого показателя вычисляются штурманом в полете. Путевой угол характеризует фактическое направление с учетом скорости ветра, т.е. вектор путевой скорости. Его величина также рассчитывается на борту. В случаях значительных отклонений линии фактического пути ВС от заданного маршрута, ПО наземного центра использует информацию данного блока, чтобы самостоятельно решать навигационные задачи для таких рейсов. Результаты позволяют давать экипажам рекомендаций по юстировке приборов или по коррекции параметров движения.

4.1.5. ВЕКТОР ИСТИННОЙ СКОРОСТИ ВС. Формат дополнительного блока АЗН о значении истинной воздушной скорости, включаемого в сообщение с борта по запросу наземной системы, представлен на рис. 4.5.



Рис. 4.5. Блок вектора истинной скорости ВС (включается по запросу)

Истинной воздушной скоростью называется скорость перемещения ВС относительно воздушной массы. Для задач пилотирования используется приборная (инструментальная) воздушная скорость, определяемая на борту измерением скоростного напора воздуха и включающая погрешности прибора и приемника воздушного давления. Курсом называют угол в горизонтальной плоскости между направлением на север (истинный, магнитный, условное начало отсчета) и проекцией на горизонтальную плоскость продольной оси ВС. Значения курса также измеряются бортовой аппаратурой. Необходимость в формировании и передаче данного блока сообщения АЗН, как и в других случаях включения дополнительной информации, возникает при нарушениях экипажем линии заданного пути. Анализ содержимого доклада позволяет ПО определить причину отклонения ВС от оси трассы (показания приборов или действия экипажа) и выработать рекомендации по коррекции параметров дальнейшего движения.

4.1.6. ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ ПОЛЕТА. Формат дополнительного блока доклада АЗН о состоянии погоды, включаемого в сообщение с борта по запросу наземной системы, представлен на рис.4.6. Условные обозначения на схеме приведены выше. В кодограмму включены измеренные значения скорости ветра и температуры за бортом ВС, а также показатель турбулентности атмосферы. Данный блок необходим ПО не только для анализа причин отклонения линии фактического пути ВС от заданного. Он нужен, кроме того, для обновления системной информации о метеорологической обстановке в воздушном пространстве АС УВД. Ветер в реальной атмосфере меняется во времени и пространстве. В так называемом слое трения (до 1000 м от поверхности земли) скорость ветра увеличивается с высотой, при этом происходит его поворот вправо. На перемещение воздушных масс здесь оказывает влияние вращение планеты вокруг своей оси. Выше слоя трения ветер направлен вдоль линий равного давления – изобар и определяется положением областей с различным давлением. Обычно изменение ветра в функции высоты составляет в среднем 10-15 км/час на каждые 1000 м. В струйных течениях на высотах 9-12 км скорость ветра может составлять 200-300 км/час. Наблюдались случаи [] струйных течений со скоростями более 700 км/час. Учет пространственной и временной изменчивости ветра в зоне действия системы становится более достоверным и оперативным при использовании в расчетах ПО докладов АЗН о состоянии погоды.

| | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Идентификатор доклада (по запросу) о состоянии погоды (ID = 16) | | | | | | | |
| 2 | СКОРОСТЬ ВЕТРА | | | | | | | |

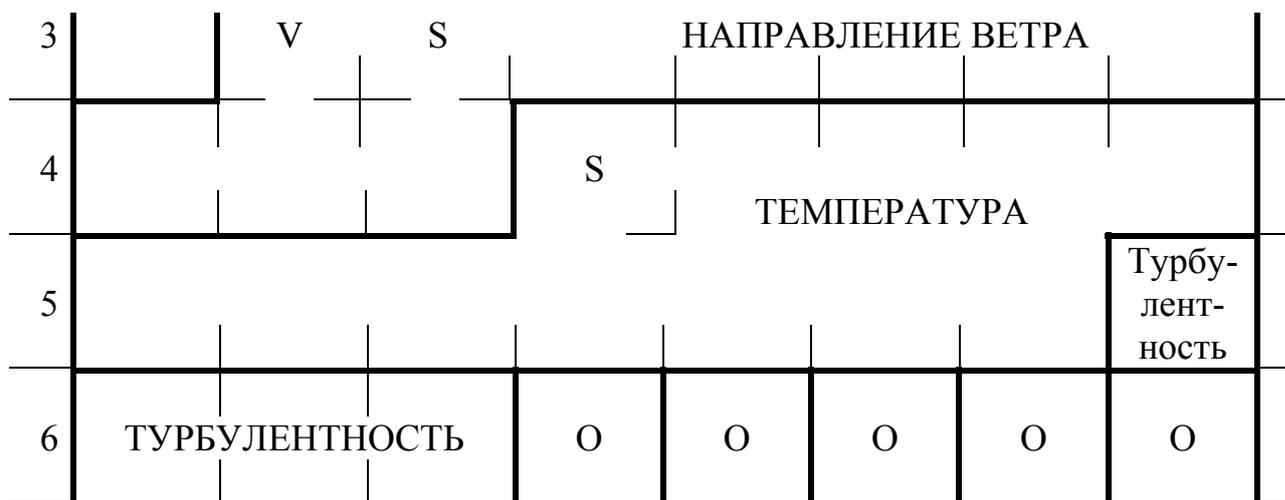


Рис. 4.6. Блок состояния погоды (включается по запросу)

Наличие в воздухе беспорядочных движений его отдельных масс называют турбулентностью. При ветре атмосфера всегда турбулентная. Даже в условиях штиля перемещение любого тела в воздухе образует позади него турбулентный след. С уменьшением скорости потока турбулентность исчезает, и движение становится струйным, или ламинарным. Сопротивление движению при ламинарном течении пропорционально скорости потока, а при турбулентном течении – приблизительно квадрату скорости. Энергия движения ветрового потока определяется перепадом давления воздуха в атмосфере.

При турбулентном течении отдельные объемы воздуха совершают беспорядочные, неустановившиеся движения по сложным траекториям. В каждой точке потока скорость изменяется со временем и носит пульсационный характер. Пульсационные изменения испытывают также давление и плотность среды, происходит интенсивное перемешивание отдельных масс движущегося воздуха. При высоких скоростях ветра случайные колебания (возмущения) свободных струй не затухают, но благодаря энергии потока возрастают, и их амплитуда достигает критической величины. Движение становится сложным, составленным из колебаний различных частот и амплитуд и с различными начальными фазами. При этом наиболее крупные возмущения получают энергию из основного (осредненного) движения потока, передают ее более мелким возмущениям и т.д., а энергия самых мелких рассеивается в тепловое движение молекул.

Главное следствие турбулентности для авиации – широко известное явление болтанки. В менее значительной мере, чем явление конвекции, она определяет электрическое состояние атмосферы и способствует образованию грозных фронтов. По каждому конкретному полету ПО пересчитывает план с учетом направления и силы ветра. При этом диспетчеру выдаются рекомендации о корректировке маршрута в обход зоны турбулентности, снижающей комфорт пассажиров и привлекательность авиапутешествий.

4.1.7. СМЕННЫЙ КОД ИКАО. Формат дополнительного блока АЗН о присвоенном рейсу 24-битном коде ИКАО, включаемого в сообщение с бор-

та по запросу наземной системы, представлен на рис. 4.7.

| | | | | | | | | |
|---|--|---|---|---|---|---|---|---|
| | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 1 | Идентификатор доклада (по запросу) о коде ИКАО (ID = 17) | | | | | | | |
| 2 | 24-битовый код ИКАО, присвоенный рейсу | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |

Рис. 4.7. Блок 24-битового кода ИКАО (включается по запросу)

ВС, выполняющие международные рейсы, используют для радиосвязи с наземными центрами стандартное оборудование и сменный позывной номер. Ограниченная двадцатью четырьмя битами длина кодовой комбинации (восемь из которых являются служебными) не позволяет присвоить каждому рейсу уникальный идентификатор – самолетов в ВП планеты ежедневно бывает больше. Достаточно высока вероятность того, что в пространстве одного района УВД в течение продолжительного времени будут совершать полеты два или более ВС с одинаковым кодом. Для удовлетворения требования об уникальности каждого позывного предусмотрена процедура назначения сменного кода ИКАО. Новый позывной выбирается ПО из хранящегося в БД банка сменных кодов. Каждому району централизованно назначается так называемая «фамилия», т.е. семейство кодовых комбинаций, любую из которых можно предложить пилоту принимаемого на управление ВС в целях обеспечения неповторяемости идентификаторов рейсов в системе. Переход к новому позывному номеру осуществляется пилотом простым набором предложенного кода на приборной панели. По завершении обслуживания рейса использованный код ИКАО возвращается в системный банк для разрешения подобных конфликтов в процессе дальнейшей работы. Количество кодовых комбинаций, составляющих «фамилию», подбирается исходя из средних показателей интенсивности воздушного движения ВС иностранных авиакомпаний в районе УВД.

4.1.8. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ БЛОКИ УЧАСТКОВ МАРШРУТА. Дополнительные блоки АЗН о штурманских расчетах навигационных параметров на очередном участке маршрута (идентификаторы 22 и 23) предоставляют ПО фрагмент профиля полета на ближайший отрезок пути. Отличие блоков 22 и 23 между собой состоит в форме пересылаемой в наземный центр информации. Доклад ID=22 содержит величины дальности и путевого угла ВС до очередного пункта, в то время как доклад ID=23 транслирует его географические координаты. ПО запрашивает вариант ID=22, если есть необходимость в уточнении вектора путевой скорости ВС, известного из блока ID=14, либо альтернативно ему. Вариант ID=23 предпочтителен при необходимости анализа текущего местоположения ВС. Как тот, так и другой блоки включаются

в сообщении с борта по запросу наземной системы. Форматы обеих кодограмм представлены на рис. 4.8 и 4.9.



Рис. 4.8. Блок плана полета на участке маршрута (включается по запросу)

Фактический путевой угол, вычисленный на борту, представляет собой направление линии фактического пути и позволяет ПО оперативно отслеживать отклонение ВС от заданной трассы. Значения высоты полета и времени фиксации включены в блок для этой же цели. Расчетное время пролета очередного пункта маршрута формируется в единицах всемирного скоординированного времени. Символы V, S и O введены выше.



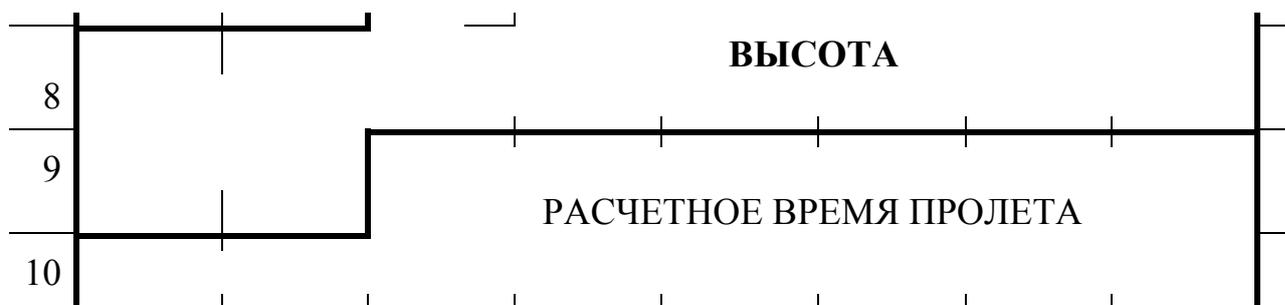
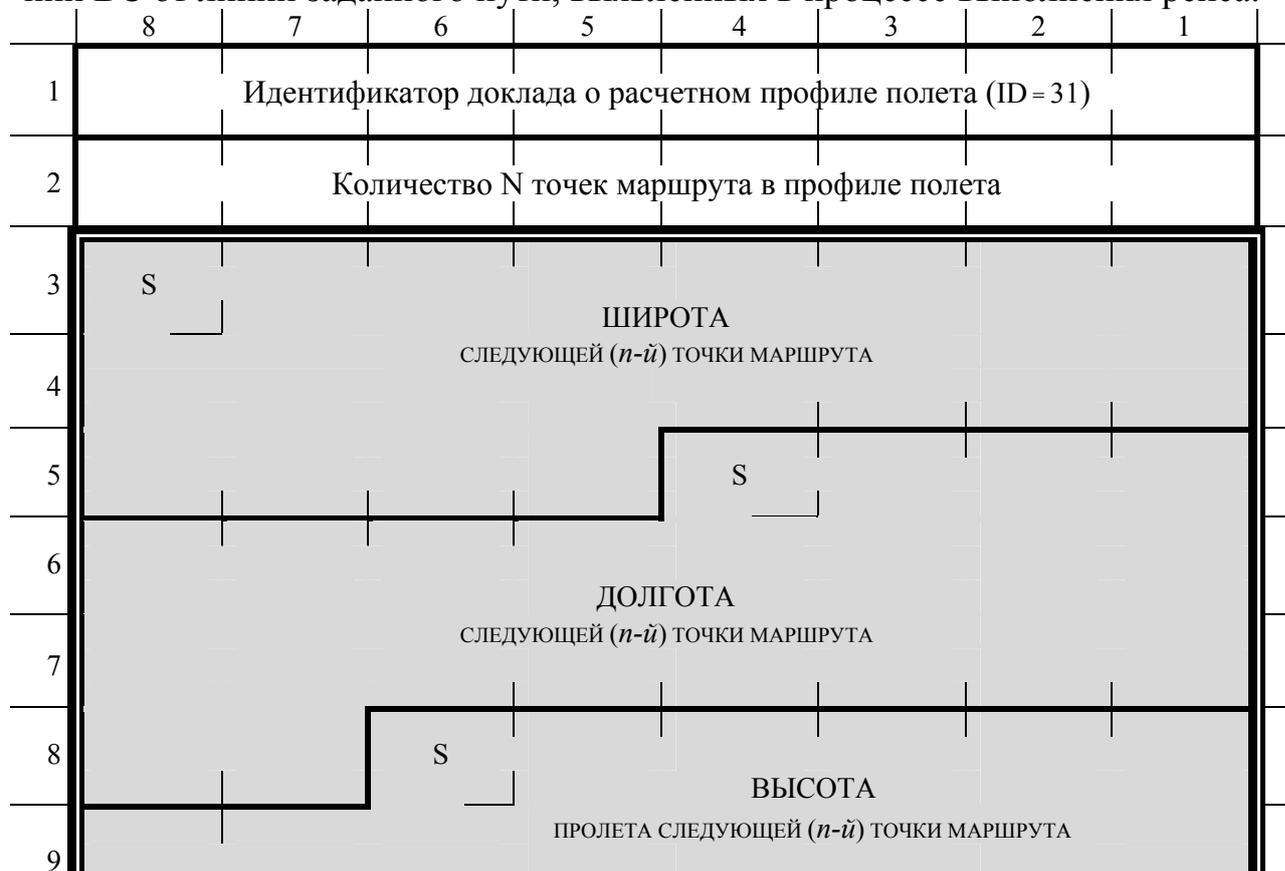


Рис. 4.9. Сокращенный блок плана на участке маршрута (по запросу)

Условные обозначения пояснены выше.

4.1.9. РАСШИРЕННЫЙ ПЛАНОВЫЙ ПРОФИЛЬ. Формат расширенного блока АЗН о планируемом профиле полета ВС, включаемого в сообщение с борта по запросу наземной системы, представлен на рис. 4.10. Блок содержит рассчитанные географические координаты и высоту полета нескольких ближайших (в направлении движения) точек маршрута по плану. Количество точек задается наземным центром при формировании соглашения о докладах и, как правило, охватывает ПОД по маршруту, принадлежащие АС УВД, включая точку передачи управления в следующий РЦ.

Объем кодограммы не фиксирован и зависит от количества точек маршрута, по которым формируются рассчитанные на борту навигационные параметры профиля полета. Отличие новых данных от предыдущих версий плановой траектории состоит в учете метеоусловий и фактических отклонений ВС от линии заданного пути, выявленных в процессе выполнения рейса.



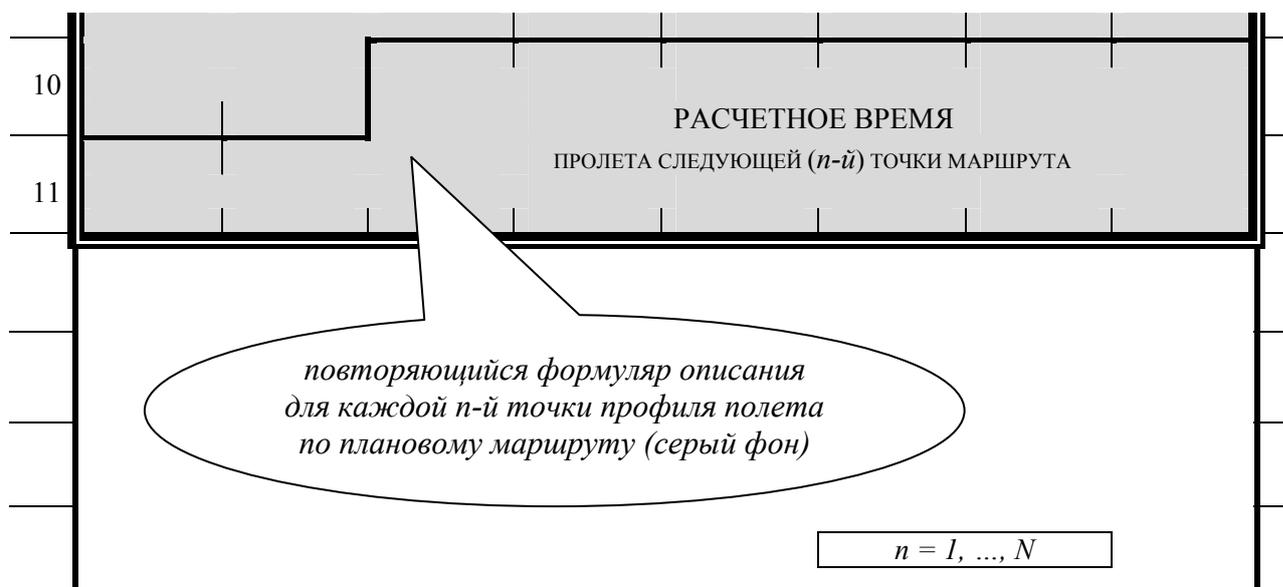


Рис. 4.10. Расширенный блок планируемого профиля полета (по запросу)

Длина L кодограммы составляет, таким образом, $L = 2 + 9 \times N$ байт, где постоянную часть образуют байты идентификатора блока ($ID = 31$) и количества N точек профиля, а зависящая от N переменная часть содержит N девятибайтных описаний каждой затрагиваемой маршрутом точки. ПО сопоставляет полученные данные с хранящимся в системе расчетом плана, и в случае обнаружения значительных расхождений линий заданного пути, вычисленных на борту и наземным центром, оповещает об этом диспетчера.

4.2. ПОСТРОЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА ВС

4.2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. При активизации плана ВС, подлетающего к зоне действия системы, ПО рассчитывает траекторию его движения в хронологической последовательности прохождения ПОД от точки входа до точки выхода с учетом влияния ветра и температуры воздуха. Задача программной функции состоит в определении моментов времени и высот пролета каждого пункта траектории, в том числе, в определении трехмерных координат и моментов времени пересечения высотных границ секторов. На участке горизонтального полета используется модель прямолинейного равномерного движения со скоростью, указанной в поле 15 плана. Переменный профиль моделируется с учетом летно-технических характеристик (ЛТХ) набора высоты и снижения ВС. Формируются данные для обработки интегральных запросов плановой информации (списков), отсутствующие в исходном плане:

- расчетное время входа и расчетная высота входа ВС в каждый затрагиваемый маршрутом сектор;
- расчетные времена вылета и (для прибывающих на известные системе аэродромы) посадки ВС по плану;
- расчетное время и (для приземляющихся на не известные системе аэродромы) расчетная высота выхода ВС из района УВД по плану.

Для расчета вертикальной составляющей скорости в фазе набора высоты обычно используется экспоненциальная модель траектории полета; в фазе снижения – кусочно-линейная аппроксимация. Расчетная высота на участках переменного профиля вычисляется с учетом системных ограничений по высоте пролета точек в районе аэродрома. Горизонтальная составляющая скорости рассчитывается с использованием линейной схемы. В результате построения четырехмерной модели полета появляется возможность определить точки пересечения с высотными границами секторов. Они вводятся в описание маршрута для правильного определения рубежей передачи управления.

При невозможности однозначного построения модели полета по данным плана организуется диалог системы с диспетчером, облегчающий редактирование вводимой информации. Контрастным цветом подсвечиваются ошибочные поля, и отображается сообщение о первой в порядке просмотра обнаруженной ошибке. По планам, удовлетворяющим требованиям расчета маршрута, формируются вычисленные данные для алгоритмов распределения плановой информации.

Входной информацией является плоская проекция маршрута в зоне действия системы в виде последовательности точек в порядке их пролета, запись с информацией об обрабатываемом плане полета, а также ЛТХ ВС, выполняющего полет по данному плану. Результат представляет собой рассчитанные программой значения высот полета в соответствующие моменты времени. В графическом виде результат расчета пространственно-временной траектории выглядит так, как это показано на рис. 4.11. Выходная информация содержит рассчитанные программой значения элементов $\{T_r\}$ (массив значений времени пролета над точками маршрута) и $\{H_r\}$ (массив значений высоты пролета над точками маршрута).

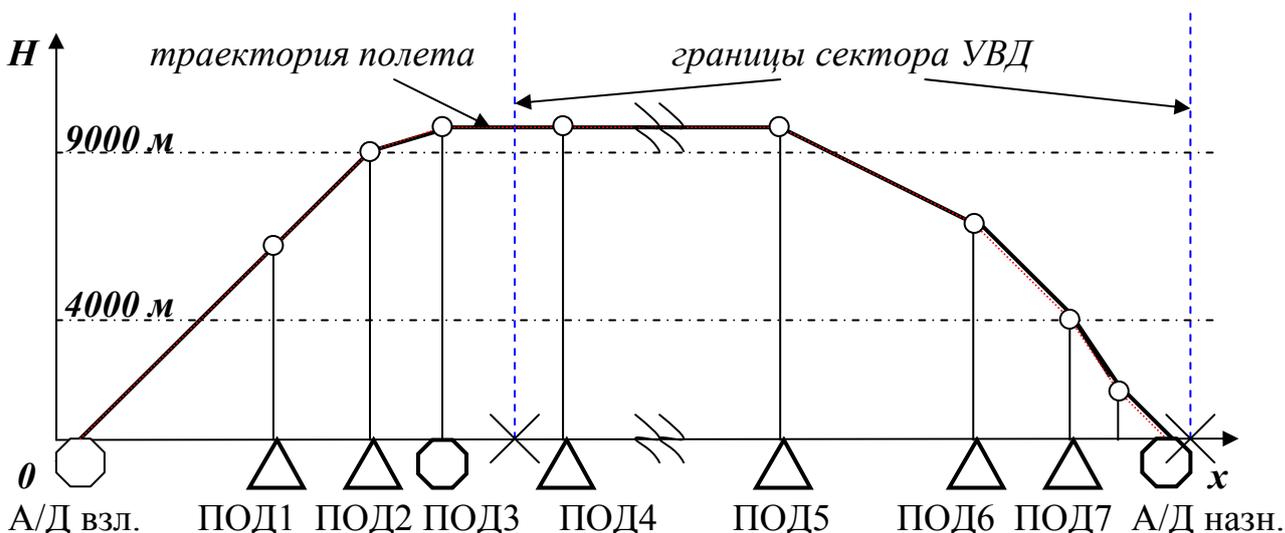


Рис. 4.11. Вертикальная проекция траектории

Возможны четыре варианта сочетания начальных условий:

- вылет;
- транзит;

- посадка;
- внутренний полет.

Программа представляет собой коммутатор, включающий специализированные модули (функции) в зависимости от выбранного варианта.

Ниже приводятся алгоритмы расчета траектории на всех участках полета ВС и схема их подключения.

4.2.2. КОММУТАТОР МОДЕЛИ ПОЛЕТА. Программный переключатель фаз полета осуществляет управление процессом формирования модели на основе заданного сочетания начальных данных и анализа выполнения логических условий. Упрощенная блок-схема программного модуля представлена на рис. 4.12. В ней не учтен цикл реорганизации модели полета при наличии в поле 15 ("описание маршрута") точек $\{KT_i\}$ смены высоты H и скорости V полета ВС. Запланированные изменения навигационных параметров используются ПО для своевременного оповещения диспетчерского персонала о намерениях экипажа, совершающего полет. При поступлении в ПО таких заявок на ИВП коммутатор модели производит последовательный расчет участков траектории от очередной точки KT_i изменения V или H до точки выхода из системы. С каждым шагом алгоритма рассчитанные участки накладываются друг на друга, замещая предшествующие образы горизонтального и переменного профилей полета. Результат представляет собой суперпозицию фрагментов маршрута, последовательно рассчитанных ПО в серии $\{KT_i\}$ точек изменения навигационных параметров полета ВС. И при каждом подключении, коммутатор рассматривает составную часть маршрута.

В начале работы возвращаемой переменной присваивается код аварийного завершения. Проверяется принадлежность аэродромов вылета и посадки контролируемой системой территории. Если оба аэродрома находятся за пределами района УВД, тогда план полета рассматривается как транзитный маршрут. Вызывается функция расчета горизонтального участка полета.

Если анализируемое условие не выполняется, тогда проверяется, находится ли аэродром посадки в зоне действия системы. Если это так, тогда план полета рассчитывается на основе модели приземления ВС. Управление последовательно передается процедурам фазы снижения и горизонтального участка полета. Такой порядок обусловлен возможностью сочетания исходных данных, когда попавшее в сектор ВС уже приступило к снижению, и в рассчитываемой траектории отсутствует участок горизонтального полета.

Если не выполняется и второе условие, тогда проверяется, находится ли аэродром вылета в зоне действия системы. В этом случае производится расчет траектории для ситуации вылета. Используются процедуры имитации фазы набора высоты, затем – горизонтального участка. Последовательность подключения процедур обусловлена возможным отсутствием горизонтального участка полета, если ВС при взлете, не набрав крейсерский эшелон, покидает территорию системы.

В остальных случаях реализуется универсальная схема расчета, включающая в себя фазы снижения, набора высоты и горизонтального полета.

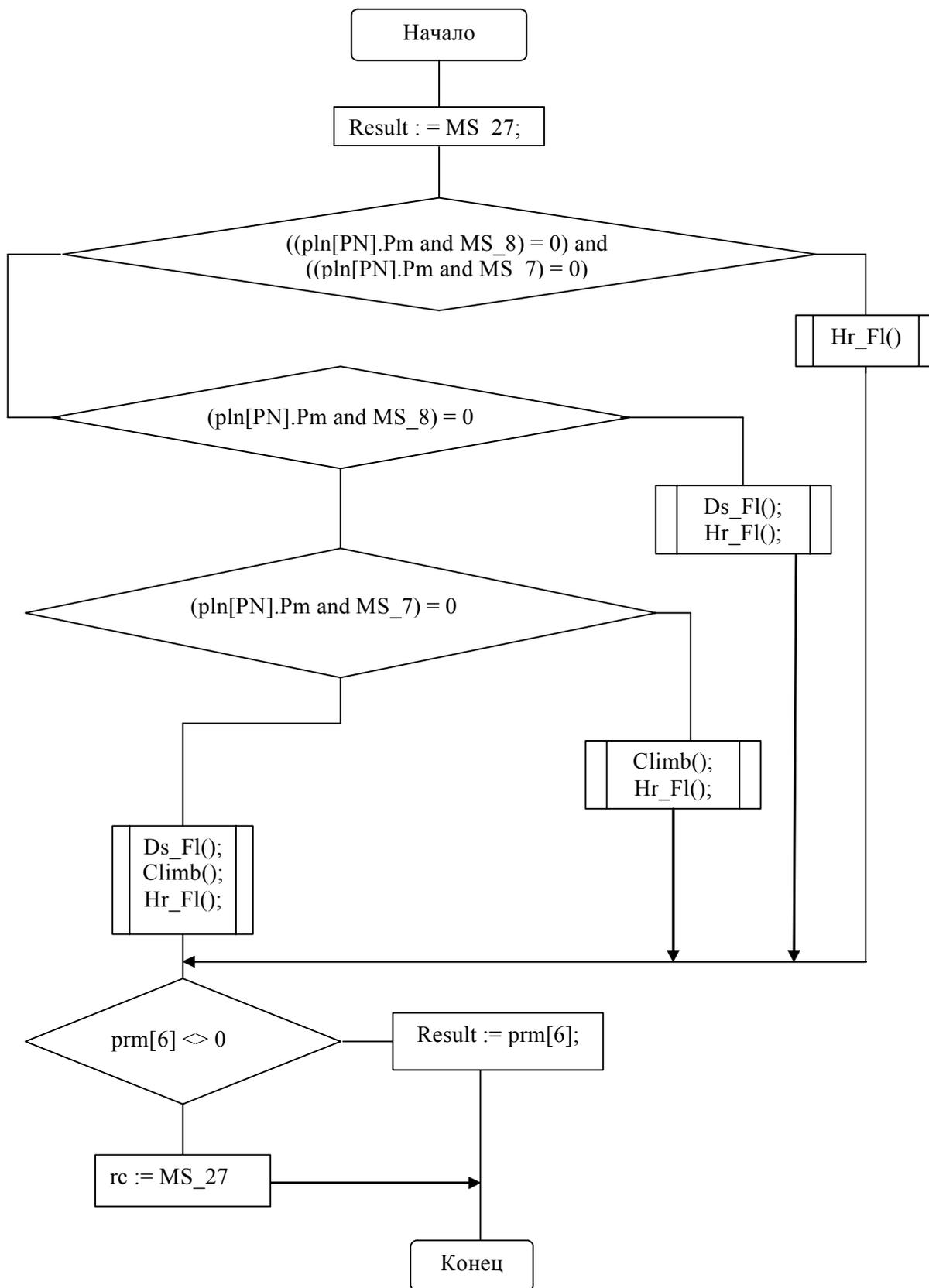


Рис. 4.12. Упрощенная блок-схема коммутатора модели полета

- $Hr_Fl()$ – функция расчета участка горизонтального полета;
- $Ds_Fl()$ – функция расчета участка снижения;
- $Climb()$ – функция расчета участка набора высоты.

4.2.3. РАСЧЕТ УЧАСТКА НАБОРА ВЫСОТЫ. Участок набора высоты в большинстве известных систем аппроксимируется показательной функцией. Фаза соответствует ситуации, когда аэродром вылета находится в зоне действия системы. Алгоритм приведен на рис. 4.12 – 4.14. Возможны два варианта:

- ВС в своем движении после вылета прекращает набор высоты по достижении крейсерского эшелона, и вертикальная проекция траектории состоит из двух участков – набора высоты и горизонтального полета, который завершается в точке выхода ВС из зоны действия системы;
- ВС в соответствии с комбинацией исходных данных не успевает набрать высоту в зоне действия системы, и тогда высотная траектория состоит только из участка набора высоты.

В начале работы процедуры производится присваивание локальным переменным начальных значений: переменной вертикальной скорости присваивается значение вертикальной скорости на уровне земли, переменной скороподъемности – значение для данного типа ВС, адресуемое из таблицы ЛТХ БД. Обнуляются переменные пройденного пути и высоты полета.

Проверяется значение высоты входа в ВП системы, т.е. состояние ВС в точке начала расчета. Если ВС входит в район на крейсерском эшелоне, тогда набор высоты отсутствует, и процедура завершается. Если ВС в точке входа находится в полете, то в качестве исходных данных используются значения высоты и времени, указанные в сообщении активизации плана. Если не выполняются оба условия, значит, ВС взлетает с известного системе аэродрома. В этом случае используются высота аэродрома и плановое время вылета.

Переменной горизонтальной скорости присваивается значение для нижнего слоя атмосферы, известное из таблицы ЛТХ ВС для указанного в плане типа ВС. Организуется цикл итераций по точкам маршрута на территории системы. Шаг итерации определяется при расчете значений высоты и времени. В новом вложенном цикле проверяется условие – не достигнут ли крейсерский эшелон. Если нет, то при достижении очередной точки маршрута переменной шага итерации по времени присваивается новое пересчитанное значение – частное от деления пройденного пути и горизонтальной скорости полета. Эти операции продолжают, пока не будет достигнута очередная точка маршрута. По достижении точки маршрута происходит расчет скорости посредством суммирования вычисленного текущего значения V_t со скоростью ветра V_i в данной точке. Затем определяются высота H_r и время T_r пролета над очередной точкой. Величина времени T_r рассчитывается как сумма значения времени в точке входа $T_{вх}$ и значения переменной tt шага итерации. Высота анализируется с учетом ограничений схемы выхода из района аэродрома. Если (в рамках модели) ВС уже превысило допустимый предел, то в массив результатов необходимо записать не рассчитанную, а указанную в ограничении высоту. Если же ограничение еще не превышено или его вовсе нет, тогда в формуляре плана фиксируется расчетная величина $\{V_p\}$.

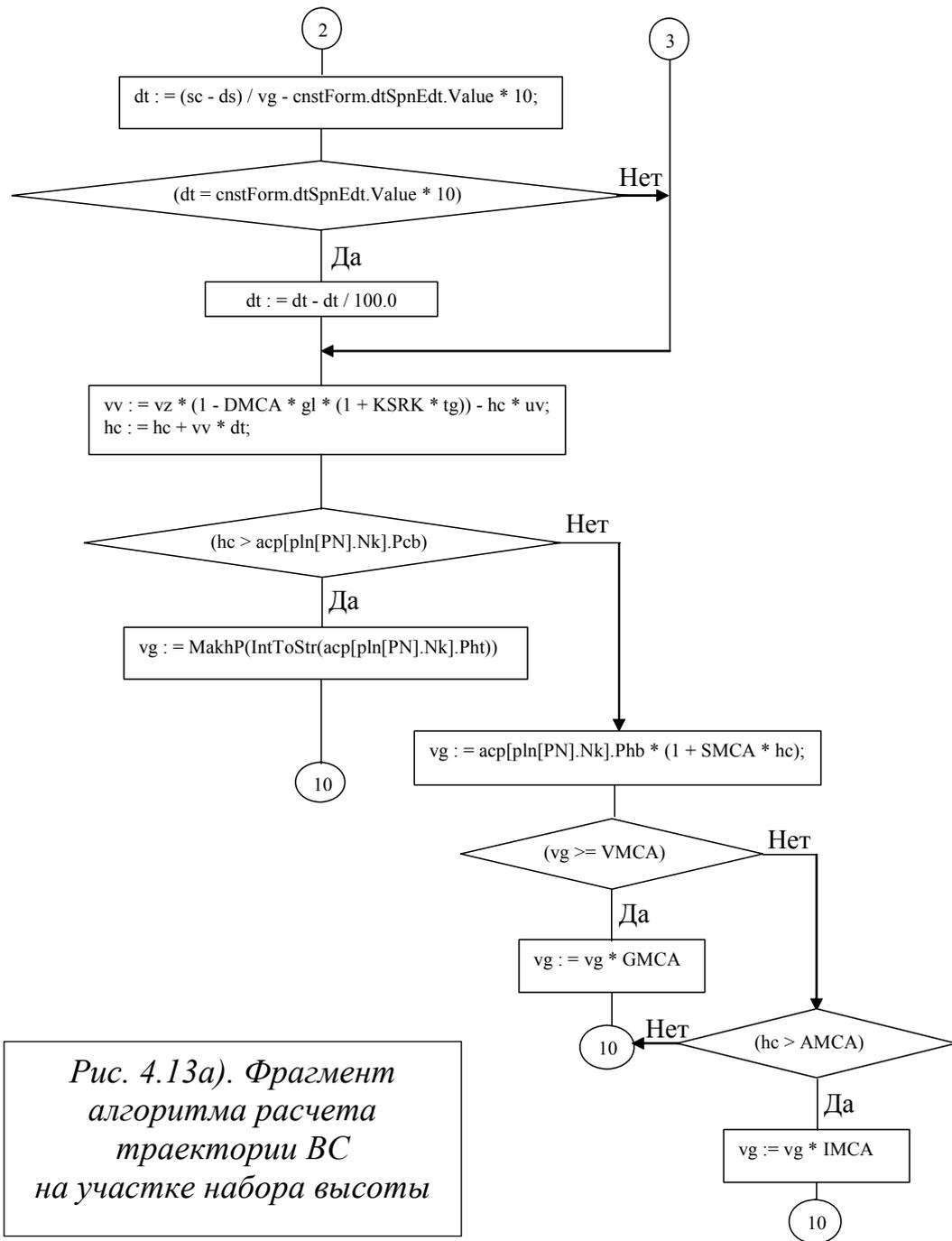


Рис. 4.13а). Фрагмент алгоритма расчета траектории ВС на участке набора высоты

Если по результатам расчета достигнута точка окончания набора высоты, а ВС еще не покинуло территорию системы, то коммутатор моделей полета передает управление процедуре расчета горизонтального участка.

При отсутствии участка горизонтального полета необходимо вычислить время выхода из зоны действия АС УВД. Если оно не совпадает с рассчитанным для последней точки маршрута в районе, то время выхода определяется как сумма значения текущего времени tt и пройденного на этот момент пути, деленная на текущее значение горизонтальной скорости V_p полета ВС. Обе эти величины также заносятся в массивы $\{T_r\}$ и $\{H_r\}$ как особые параметры, которые понадобятся для дальнейших расчетов в системе.

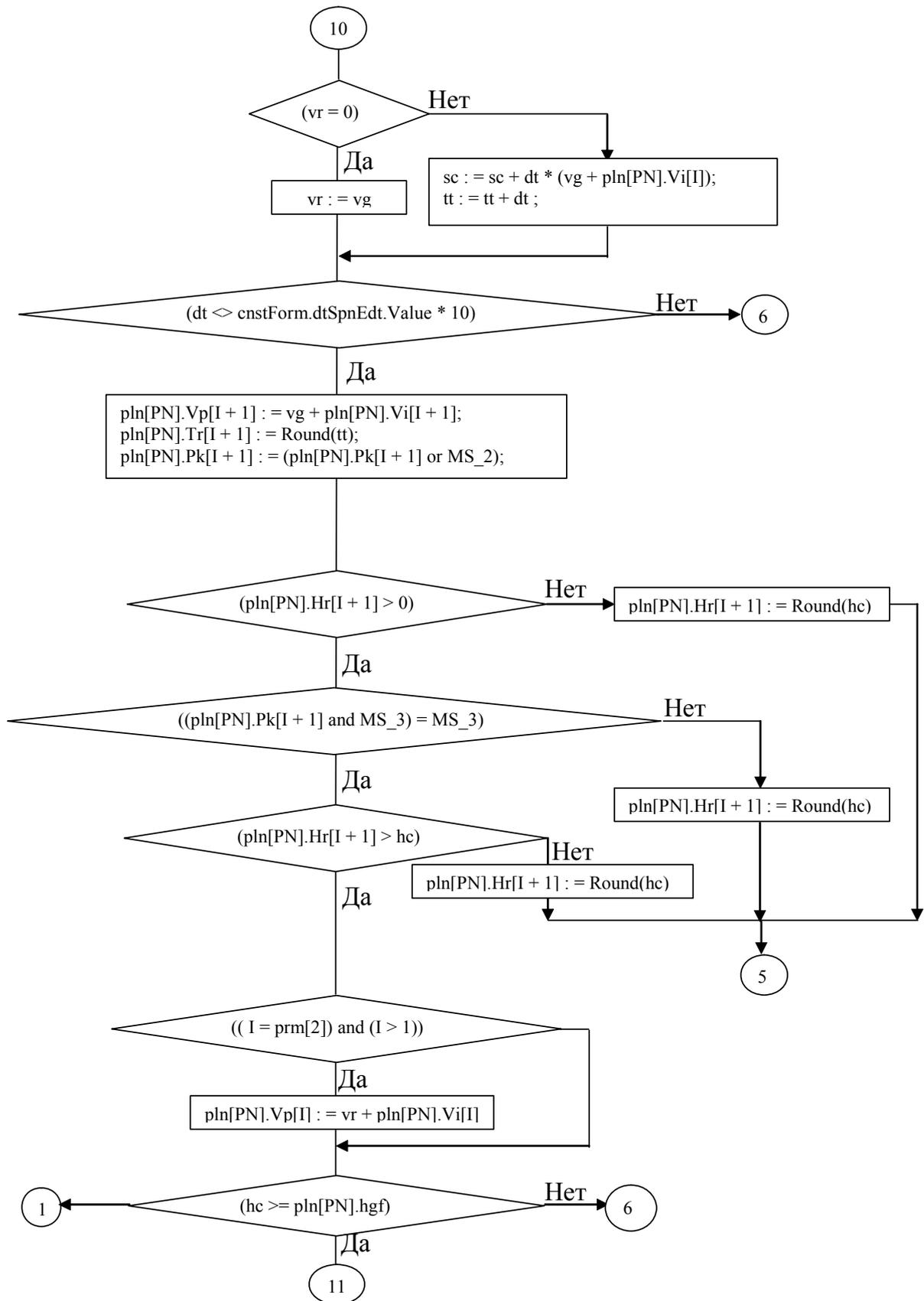


Рис. 4.13б). Итерационная процедура расчета параметров движения ВС на участке набора высоты. Сосуществование различных схем вычисления горизонтальной и вертикальной составляющих скорости.

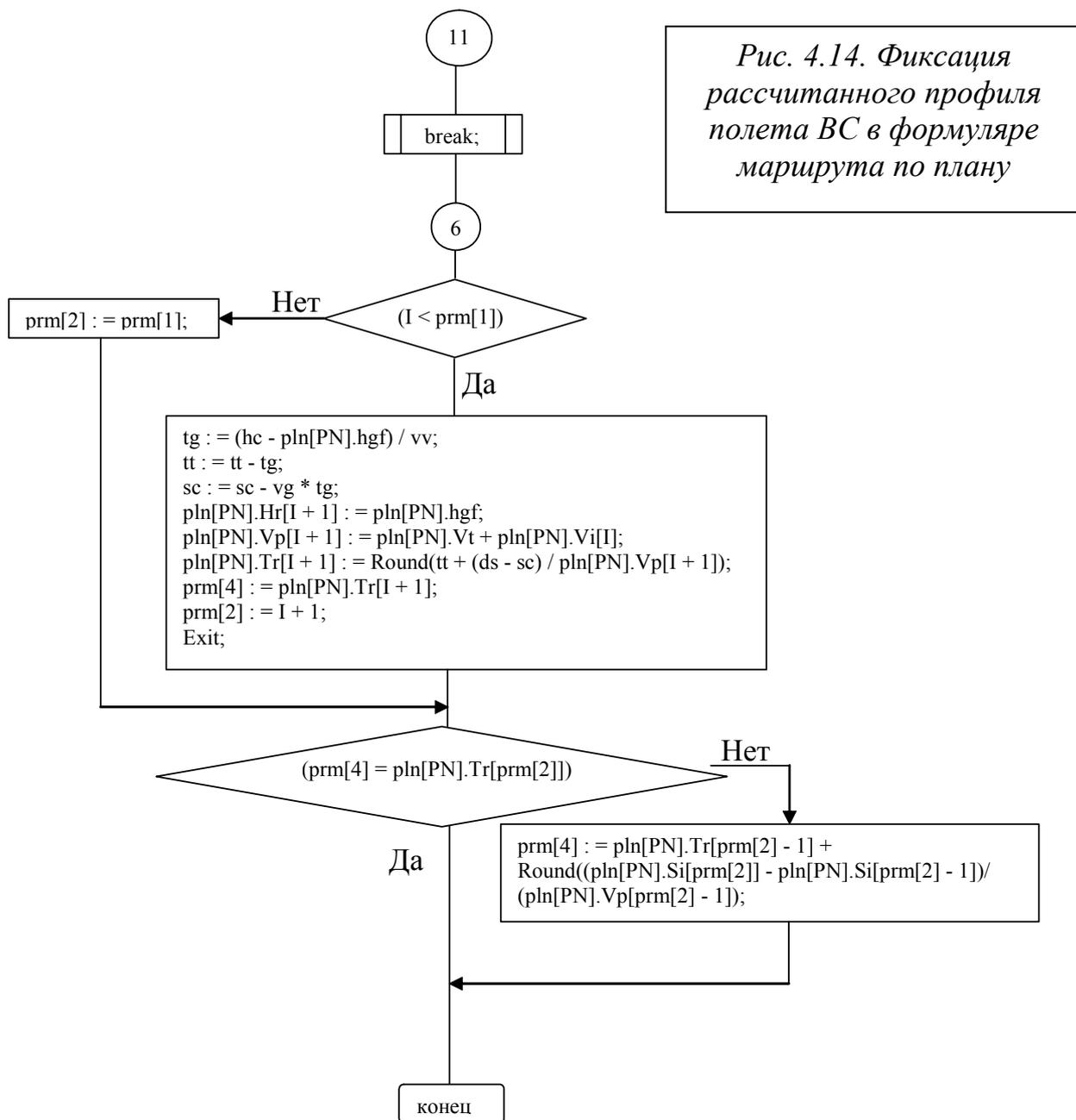


Рис. 4.14. Фиксация рассчитанного профиля полета ВС в формуляре маршрута по плану

4.2.4. РАСЧЕТ УЧАСТКА СНИЖЕНИЯ. Фаза приземления, как правило, рассчитывается с помощью кусочно-линейной аппроксимации экспериментальных зависимостей $H(t)$ высоты и $S(t)$ пути, пройденного ВС, от времени. Модель соответствует ситуации, когда аэродром назначения находится в зоне действия системы. Фрагменты блок-схемы алгоритма представлены на рис. 4.15 – 4.16. Процедура начинается с проверки наличия признака снижения, и если он отсутствует, то происходит выход из программы. Если признак обнаружен, то в локальные переменные из таблиц ЛТХ ВС адресуются значения вертикальной и горизонтальной скоростей движения в нижнем слое. Как упомянуто выше, расчет ведется от места посадки к точке начала снижения, и первыми элементами массивов T_r и H_r становятся нули.

Далее организуется цикл, параметр которого уменьшается до единицы от количества точек маршрута по данному рейсу в районе УВД. В цикле проверяется, достигнут ли крейсерский эшелон, и если нет, то определяется, в каком высотном слое находится ВС. В соответствии с высотой переменным горизонтальной и вертикальной составляющим скоростей присваиваются их значения из таблиц БД ЛТХ ВС.

В цикле, проверяющем условия достижения очередного пункта маршрута, при каждом вхождении вычисляются значения времени, расстояния и высоты полета. По прохождении пункта рассчитывается скорость полета над ним как сумма значений горизонтальной скорости ВС и скорости ветра в данном воздушном слое. Фиксируется время пролета точки. Проверяется условие ограничения высоты полета. Если в рассматриваемой точке расчетная высота ниже допустимой, то в массив $\{H_r\}$ заносится величина ограничения. Если нарушения по высоте нет или нет ограничения, то в массиве $\{H_r\}$ сохраняется текущая рассчитанная высота полета.

Расчет фазы приземления заканчивается, когда достигается превышение по высоте крейсерского эшелона. Всем точкам участка присваивается соответствующий признак для дальнейшей обработки. Параметры точки начала снижения сохраняются, и в поля записи плана полета заносятся значения времени пролета точки, высоты, расстояния от начала маршрута, декартовых координат, а также технологические признаки. Точка начала снижения, как и точка окончания набора высоты, является особой точкой маршрута.

После того как рассчитаны все необходимые параметры фазы снижения, элементы массивов, в которых они содержатся, нужно подвергнуть перестановке. Напомним, что расчет фазы снижения производится от точки посадки к точке входа в зону АС УВД, то есть в обратном направлении, и все элементы массивов располагаются так же. Необходимо организовать цикл, в котором производится «разворот» элементов, рассчитанных на участке приземления, что и делается на завершающем этапе расчета. По окончании работы процедуры на выходе имеются массивы значений времени, высоты и скорости пролета точек маршрута с правильно расположенными элементами.

4.2.5. РАСЧЕТ УЧАСТКА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПОЛЕТА. Процедура (рис. 4.17) начинается с проверки, соответствует ли признак состояния, в котором находится ВС, фазе горизонтального полета. Если это условие выполняется, то текущие элементы массивов значений высоты, времени и скорости переписываются из плана полета. Это значения запрошенного эшелона, времени начала фазы горизонтального полета, сумма крейсерской скорости ВС и скорости ветра в текущей точке маршрута. Далее организуется цикл с количеством итераций, равным количеству контрольных точек, содержащихся в рассматриваемом участке маршрута. Количество точек известно по результатам выполнения процедур анализа и формирования маршрута. В цикле на каждой итерации рассчитывается скорость ВС и время пролета над каждой контрольной точкой с порядковым номером, равным индексу итерации цикла. В массив значений высоты полета над точками маршрута осуществляется под-

становка значения крейсерского эшелона. Время пролета над точкой рассчитывается как сумма значения времени для предыдущей точки и частного от деления разности расстояния от аэродрома вылета в текущей и предыдущей точках маршрута, деленной на значение скорости в текущей точке маршрута.

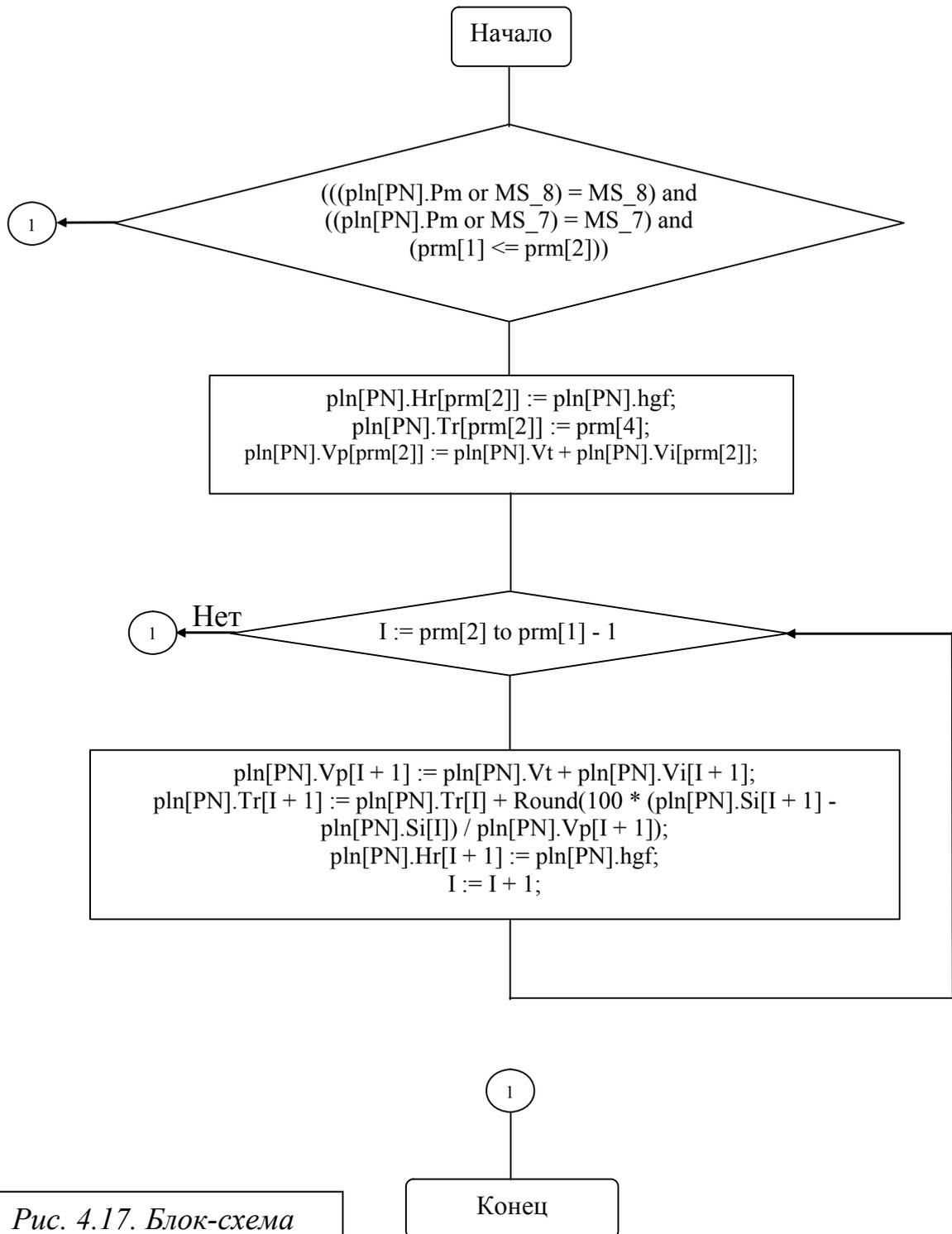


Рис. 4.17. Блок-схема алгоритма расчета фазы горизонтального полета

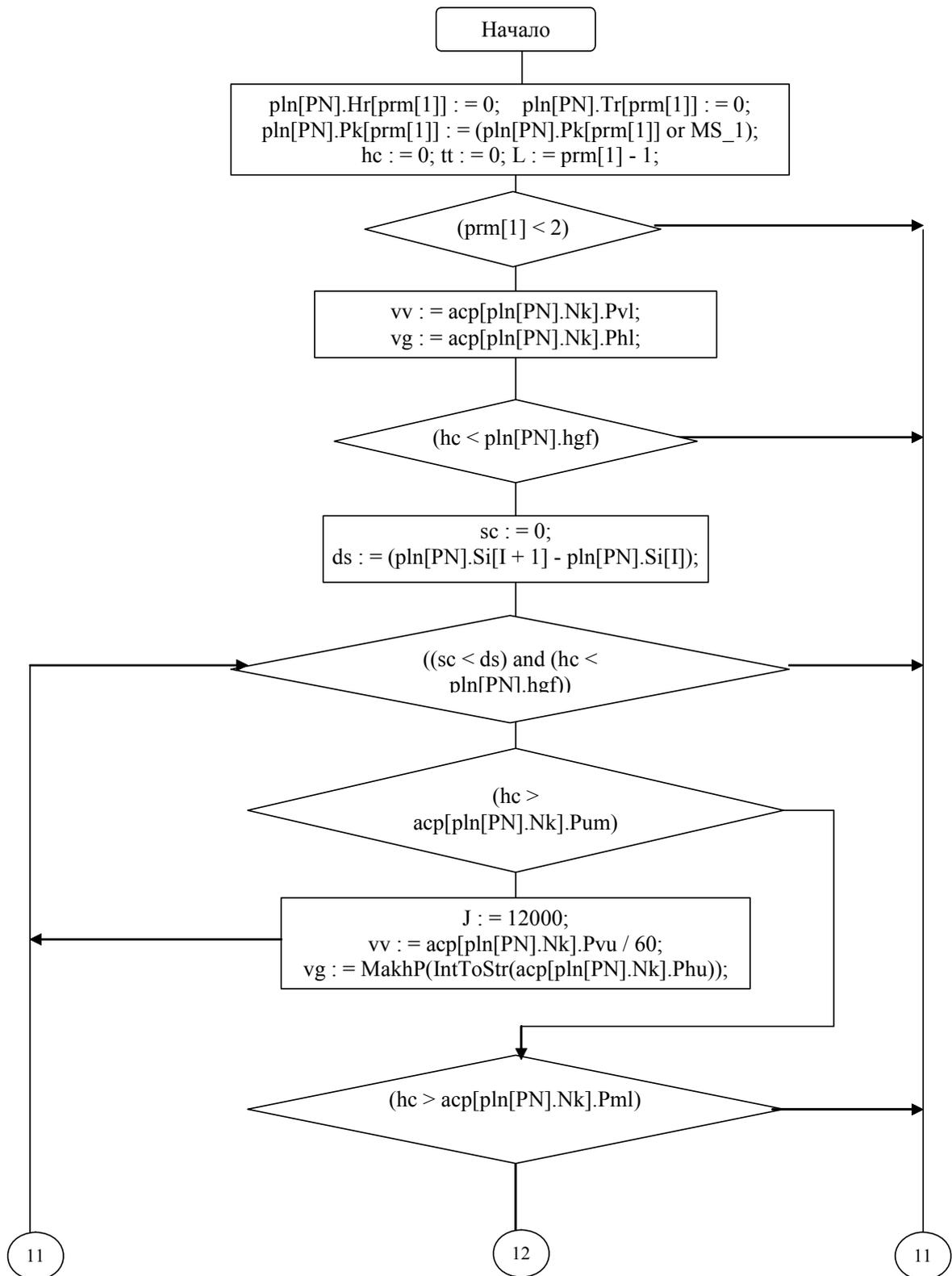


Рис. 4.15. Фрагмент блок-схемы алгоритма расчета участка снижения ВС

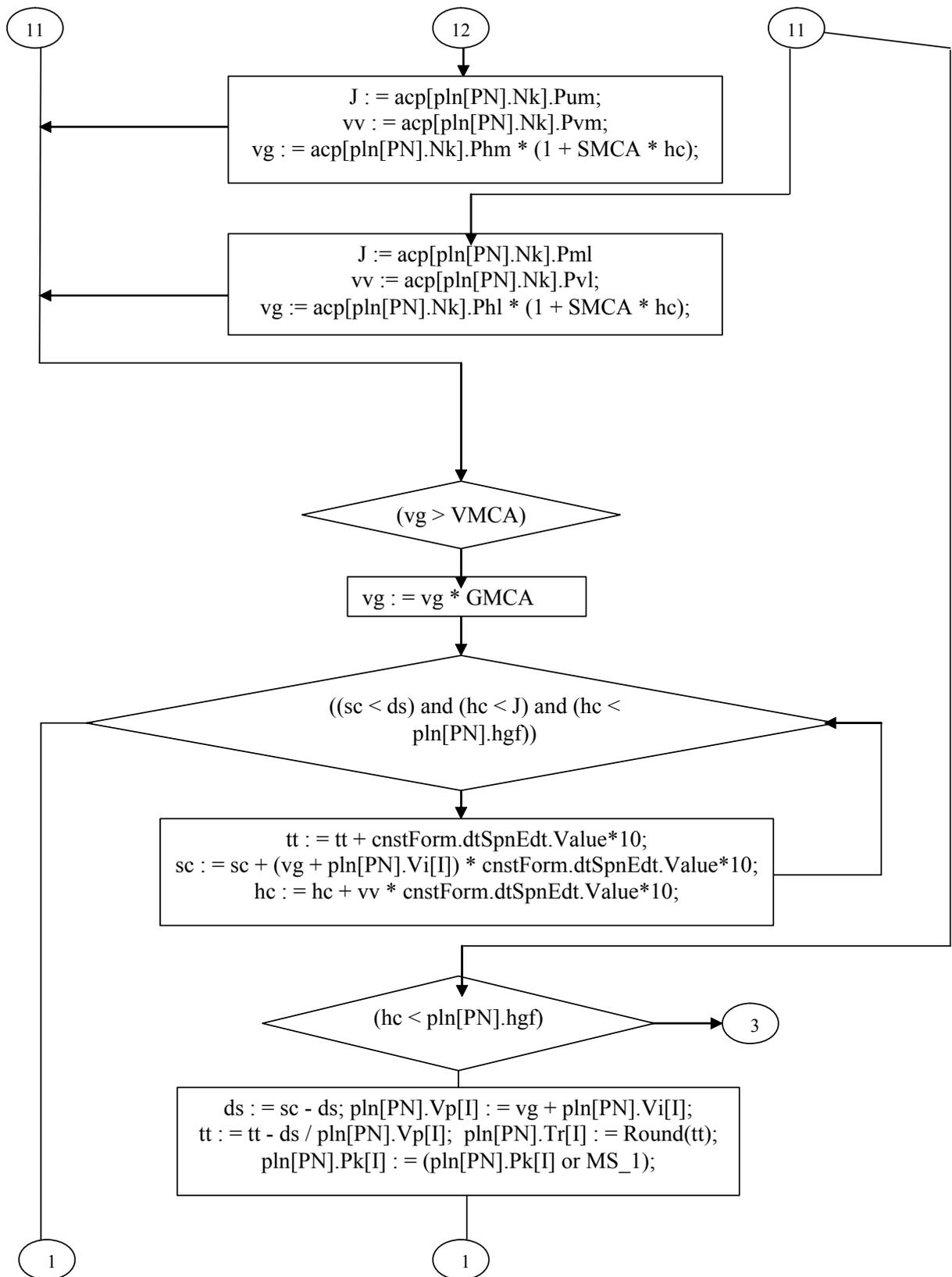


Рис. 4.16. Фрагмент блок-схемы алгоритма расчета участка снижения ВС

- Sc – переменная пути, пройденного в фазе снижения;
- tt – переменная времени движения в фазе снижения;
- hc – переменная высоты движения в фазе снижения;

По окончании цикла в массивах значений времени и высоты пролета точек маршрута содержатся значения, полученные с помощью процедуры.

4.2.6. РАСЧЕТ ТЕКУЩЕГО МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ВС. Программа определения положения ВС на текущий момент времени подключается с периодом обзора антенны РЛС для создания иллюзии традиционного темпа обновления координатной информации на рабочих местах диспетчеров. Анализируется, есть ли переход через 0 часов в данном маршруте. Если это так, то определяется номер контрольной точки, в которой происходит переход в новые сутки; далее, начиная с этой точки, времена пролета всех пунктов корректируются.

Поясним выражение «переход через 0 часов». Если полет начинается в конце суток, например, в 23.30, а заканчивается в следующие сутки, то часть точек ВС пролетает в последние моменты времени «вчера», а другую часть – в начальные моменты «завтра». Например, такая последовательность моментов T_r пролета точек: 23.30 – 23.40 – 23.55 – 00.05 – 00.15 и т.д. Программа поиска точки, которая уже пройдена в полете, настроена на естественный ход событий. Для предотвращения скачков времени последовательность T_r преобразуют в монотонно возрастающую, прибавляя 24 часа: 23.30 – 23.40 – 23.55 – 24.05 – 24.15. На всякий случай подстраховываются проверками корректности данных, чтобы не работать с искаженной информацией.

Далее осуществляется поиск опорной точки маршрута ($J00$). Опорная точка – это контрольная точка маршрута, время прохода которой меньше текущего времени TZ , и разность времен прохода и текущего – наименьшая. Если бы времена T_r не сдвигали на 24 часа, то разность оказалась бы еще меньше – отрицательной. Расчет положения ВС по известному профилю полета начинается с задания исходных значений параметров движения. Другими словами, отыскивается опорная точка ($J00$), которую в текущий момент времени ВС уже пролетело, но следующая еще не достигнута. Параметры пролета точки ($J00$) берутся из плана. Это время, высота, курс и тенденция (набор, снижение) полета. Тенденция определяет модель расчета: прямолинейный участок, или набор, или снижение. Время названо экстраполяционным, потому что оно не связано с текущим, а относится к периоду полета. Это расчетное время, и алгоритм вычисляет параметры движения, экстраполируя их из плана, на будущее, прошедшее или настоящее с шагом Δt :

- значения счетчика экстраполяционного времени принимается равным времени прохода опорной точки ($TC=TR(J00)$);
- текущая экстраполяционная высота приравнивается высоте пролета опорной точки ($HC=HR(J00)$);
- текущий курс принимается равным курсу в опорной точке ($QT = QM(J00)$);
- определяется фаза полета для найденной опорной точки.

Текущий шаг экстраполяции на горизонтальном участке полета ВС определяется как разность между заданным моментом времени и счетчиком экстраполяционного времени. Алгоритм находит интервал времени DI от опорной точки до текущего момента и умножает его на скорость полета с

учетом ветра на эшелоне, чтобы рассчитать путь, пройденный за это время:

$$DI = TZ - TC; DS = DI * (VG + VI(J00)), \text{ где}$$

- VG – горизонтальная скорость, задается в плане полета;
- $VI(J00)$ – скорость ветра в опорной точке.

Текущие координаты ВС:

$$XT = XM(J00) + DS * \cos(QT); YT = YM(J00) + DS * \sin(QT);$$

где $XM(J00)$, $YM(J00)$ – координаты опорной точки.

Текущие параметры движения выбираются из описания опорной точки:

$$QT = QM(J00), HT = HC(J00), VT = VG;$$

В фазе набора высоты для расчетов используются ЛТХ ВС. Если заданное время (TZ) меньше или равно сумме показаний счетчика экстраполяционного времени (TC) плюс текущий шаг DI экстраполяции, то шаг экстраполяции равен принятому значению. Если $TZ > (TC + DI)$, тогда:

$$DI = TZ - TC.$$

На каждый текущий шаг экстраполяции определяется:

- отклонение температуры (TD) на высоте HC ; если $HC \geq 11000$ м, то $TD = 0$; если $HC < 11000$, то $TD = (TA - 15) * (1 - HC / 11000)$;
- TA – температура на главном аэродроме РЦ, формируемая подсистемой обработки метеорологической информации.

Физика атмосферы такова, что выше 11 км сопротивление воздуха фактически не влияет на скорость полета. Да и температура там постоянная – минус 55 градусов. Ниже 11 км реактивной тяге противостоит воздух, который становится плотнее в нижних слоях атмосферы. И чем на поверхности Земли холоднее, тем воздух становится еще плотнее. Известны зависимости и от высоты, и от времени года. ПО обновляет при расчете данные о температуре и о векторе (направление и сила) ветра в точках маршрута. Процедуру включают при активизации плана, она обращается к метеосистеме и читает информацию о погоде.

Текущая вертикальная скорость VV :

$$VV = VZ * (1 - C1 * GL * (1 + C2 * TD)) - HC * UV, \text{ где}$$

- VZ – вертикальная скорость на уровне земли;
- UV – уменьшение вертикальной скорости от высоты;
- GL – взлетный вес категории ВС в процентах;
- $C1$ – коэффициент учета взлетного веса $C1 = 0,0079$;
- $C2$ – коэффициент учета температуры $C2 = 0,0125$

Текущая экстраполяционная высота:

$$HC = HC + VV * DI;$$

По окончании расчета высоты, которую набирает ВС к моменту времени TT , алгоритм вычисляет, насколько ВС продвинулись за это же время между точками, т.е. горизонтальную скорость VH и путь. VH аппроксимируется не по экспоненте, а по двум прямым: для нижнего слоя (большое сопротивление воздуха) и для верхнего слоя (малое сопротивление). Высота границы слоев задается для каждой категории ЛТХ. Высоту полета мы только что вычислили. Теперь определяем, в каком мы слое, и в той же зоне ЛТХ читаем

для данного шага экстраполяции значение коэффициента GI . Далее, по значению текущей экстраполяционной высоты HC и значению высоты граничного слоя определяется текущая горизонтальная скорость – VH .

Для нижнего высотного слоя VH определяется следующим образом:

$$VH = GI * (1 + 0,000067 * HC), \text{ где}$$

- GI – горизонтальная скорость набора в нижнем слое;
- коэффициент 0,000067 учитывает изменение скорости в зависимости от высоты (разрежение воздуха).

Если полученная текущая горизонтальная скорость VH больше скорости звука, то она корректируется (уменьшается):

$$VH = VH * 0.94$$

Еще одна эмпирическая величина: на больших скоростях тормозящий эффект воздушной среды растет нелинейно, и мы вводим новый коэффициент (0.94), учитывающий снижение скорости

Если текущая горизонтальная скорость VH меньше скорости звука, и текущая экстраполяционная высота HC больше 9000 м, то VH корректируется (увеличивается): $VH := VH * 1.08$. На больших высотах воздух даже для большой скорости не способен давать прирост сопротивления, и мы опять корректируем результат. Коэффициент 1,08 учитывает возрастание скорости на больших высотах.

Для верхнего высотного слоя VH определяется следующим образом:

$$VH = G2 * (0.0308 * T0 + 8.0864) / 5.$$

если $HC \geq 11000$, тогда $T0 = 216,5$;

если $HC < 11000$, тогда $T0 = 216,5 + (56 + TA) * (1 - HC / 11000)$;

$G2$ – горизонтальная скорость набора в верхнем слое;

Следующий шаг – определение текущей горизонтальной скорости с учетом ветра на данном участке маршрута:

$$VH = VH + V1(J00);$$

Далее определяется пройденный путь для данного шага экстраполяции:

$$SC = SC + DI * VH.$$

Переменная SC на каждом шаге накапливается и своей величиной показывает, на какое расстояние от опорной точки удалено ВС в процессе набора высоты. Первоначально $SC = 0$.

Если текущий шаг экстраполяции DI равен принятому интервалу экстраполяции DT , то корректируется значение счетчика текущего экстраполяционного времени:

$$TG = TG + DT,$$

и осуществляется переход к определению информации для следующего шага экстраполяции. Если $DI \neq DT$, т.е. достигнут последний шаг экстраполяции, и он меньше принятого интервала, то вычисляются текущие координаты и другие параметры движения:

- $HT = HC$ – текущая высота, отображается в формуляре сопровождения (ФС) ВС;

- $VT = VH$ – текущая горизонтальная скорость;

- $QT=QM(J00)$ – текущий курс, отображается стрелкой, исходящей из метки ВС;

- $XT=XM(J00)+SC*\cos(QT)$, $YT=YM(J00)+SC*\sin(QT)$ – координаты метки ВС, т.е. номера пикселей экрана;

- $PY(7,8 \text{ биты}) = '01' В$ – отображается символ набора высоты.

На участке снижения текущий шаг экстраполяции DI определяется как разница между заданным моментом времени TZ и показаниями счетчика экстраполяционного времени TG : $DI=TZ-TG$. Текущие координаты на первом шаге экстраполяции принимаются равными координатам опорной точки:

$$XT=XM(J00); YT=YM(J00).$$

Зависимость вертикальной скорости от высоты (от плотности воздуха) при снижении зависит не столько от физики атмосферы, сколько от правил снижения. Для торможения пилот выпускает закрылки, использует другие средства гашения скорости. По силе воздействия они намного превосходят эффекты, связанные с плотностью или с движением воздуха. Модель полета ВС на участке приземления основана на кусочно-линейной аппроксимации. Рассматриваются три высотных слоя. Обычно в верхнем и нижнем слоях замедление сильное, а в промежуточном – слабое. Однако во всех слоях значение скорости принимается постоянным.

Далее, выбирается высотный слой DN , в котором находится текущая точка. Для этого текущая высота HC сравнивается со значением границы между верхним и средним слоями $H1$, и если последняя меньше HC , то производится сравнение со значением границы между средним и нижним слоями $H2$. Для выбранного высотного слоя определяются текущая вертикальная скорость VV и текущая горизонтальная скорость VH . VV – для каждого слоя выбирается из описания ЛТХ – $VV = V1, V2, V3$, где $V1$ – текущая вертикальная скорость для верхнего слоя; $V2$ – текущая вертикальная скорость для среднего слоя; $V3$ – текущая вертикальная скорость для нижнего слоя.

Горизонтальная скорость, как и вертикальная, аппроксимируется также в трех слоях. На больших высотах торможение слабое, так как воздух разрежен, и для верхнего слоя текущая горизонтальная скорость VH определяется аналогично VH в верхнем слое при наборе: $VH=GV*(0.0308*T0+8,0864)/5$, где все обозначения приведены выше.

При $HC > 11000$ используется GV – горизонтальная скорость на участке снижения в верхнем слое. Для среднего и нижнего слоев VH выбирается из описания зон ЛТХ: $VH=GS$ – для среднего слоя; $VH=GN$ – для нижнего слоя. Далее VH для среднего и нижнего слоев снижения корректируется аналогично VH для нижнего слоя в модели набора высоты. Речь идет об умножении на коэффициенты 0.94 и 1.08 в зависимости от высоты и т.д. В любом выбранном слое VH корректируется с учетом скорости ветра: $VH=VH+V1(J00)$. Если граница выбранного слоя меньше высоты пролета следующей контрольной точки маршрута ($H(J00+1)$), то в качестве границы высотного слоя DN принимается высота ВС в следующей точке. Иными словами, расчет от опорной точки идет только в одном слое аппроксимации, горизонтальная скорость ос-

тается постоянной, и алгоритм вычисляет путь за один просмотр маршрута.

Далее определяется интервал экстраполяции, т.е. время снижения от текущей экстраполяционной высоты HC либо до выбранной границы слоя DN , либо полностью внутри слоя $DT=(HC - DH)/VV$. Если интервал экстраполяции DT не меньше текущего шага экстраполяции DI (последний шаг, так как текущее время TZ находится внутри шага DI), то текущие координаты и другие параметры движения определяются следующим образом:

- $HT=HC-VV*DI$ – текущая высота;
- $VT=VH$ – текущая горизонтальная скорость;
- $QT=QM(J00)$ – текущий курс движения ВС;
- $XT=XT+VH*DI*cos(QT)$; $YT=YT+VH*DI*sin(QT)$ – координаты;
- $PY(7,8 \text{ биты}) = '10'$ В; в формуляре сопровождения ВС отображается символ снижения.

Если $DT < DI$, то определяются текущая высота $HC=HC-VV*DT$ и текущие координаты $XT=XT+VH*DT*cos(QT)$; $YT=YT+VH*DT*sin(QT)$, корректируется значение счетчика текущего времени $TC=TC+DT$ и осуществляется переход к определению информации следующего шага экстраполяции.

Результаты имитации движения ВС отображаются в окне воздушной обстановки, которое занимает основную часть экранов рабочих мест диспетчерского персонала, для сопоставления с измеренными значениями в моменты приема докладов АЗН. Более важную роль играет расчетная информация в промежутках между сообщениями. Период обмена наземного центра с бортами, оборудованными аппаратурой АЗН, устанавливается намного протяженнее, чем длительность времени оборота антенны РЛС. Соответственно, возрастает до минут интервал между обновлениями данных. В эти перерывы ПО и рассчитывает текущее местоположение борта по данным ряда последних докладов, и выдает их на отображение в том же самом виде, что и фактически измеренные метки положения ВС.

4.3. ОТОБРАЖЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ АЗН

4.3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. Основным назначением ПО АС УВД является предоставление диспетчерскому персоналу необходимой для работы информации в удобном для восприятия виде. На рабочих местах в современных системах реализован привычный интерфейс взаимодействия человека с ЭВМ, использующий многооконный и многоцветный режим отображения данных и диалоговый режим выполнения пультовых операций. Цвет используется для смыслового выделения различных видов отображаемой информации, а также для привлечения внимания к нестандартным ситуациям управления воздушным движением. В основном окне принудительно воспроизводится текущая воздушная обстановка отметки движущихся ВС – на фоне границ секторов, геометрии трасс и другой картографической информации. Той же цели служат компактные постоянные окна, содержащие списки потерь, ожидания, входа, вылета и прилета. Для дополнительных данных предусмотрены окна, вызы-

ваемые по запросу диспетчера – погода на аэродроме, списки по сектору, ПОД, аэродрому, планы полетов рейсов, известные системе. Большинство функций ввода диспетчера воспринимается системой в диалоговом режиме. Пример компоновки окон на экране диспетчера представлен на рис. 4.18. Для удобства восприятия дано негативное изображение.

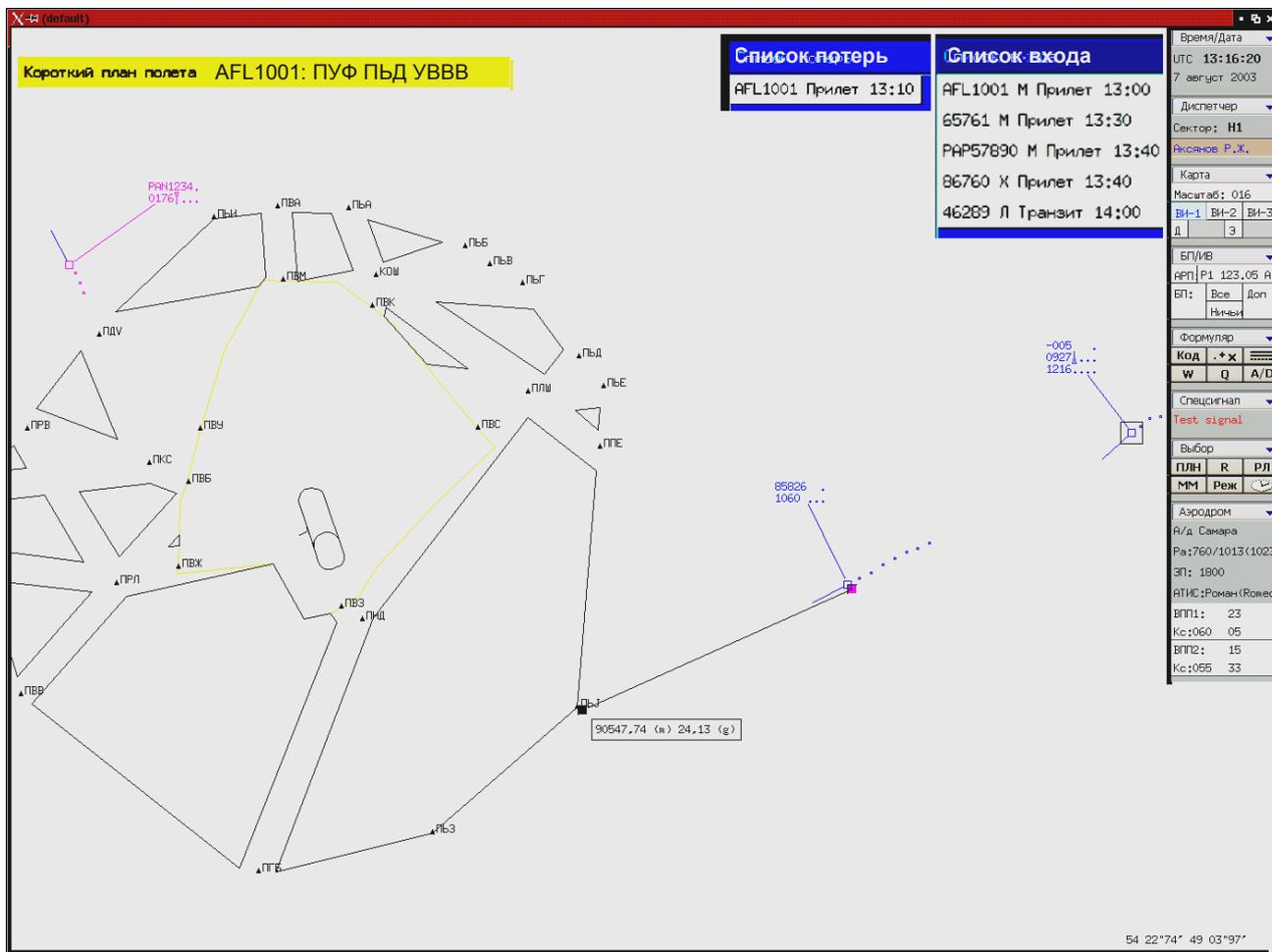


Рис. 4.18. Окно воздушной обстановки (цвет инвертирован)

Окно воздушной обстановки занимает основную часть экрана и предназначено в основном для отображения в графическом и символьном виде:

- координатной информации о бортах, оснащенных аппаратурой АЗН;
- радиолокационной информации о ВС, находящихся в полете;
- пеленгационной информации;
- плановой информации;
- метеорологической информации;
- картографической информации;
- ограничений воздушного пространства;
- формуляров сопровождения, векторов экстраполированного местоположения ВС и т.д.

Возможность изменения размеров окна блокируется, оно постоянно отображается на всем поле экрана. Дополнительные окна размещаются по-верх него, могут перемещаться по полю экрана и подвергаться изменению

линейных размеров. По краю экрана размещается ряд (набор) постоянно отображаемых системных табло, функциональных панелей и клавиш. В их число входят табло текущего времени, табло кода сектора управления, клавиша выбора секторов для просмотра, клавиша вызова на отображение окна функций управления, окно вызова карт, клавиша задания режима отображения азимутально-дальномерной сетки, панель географических координат, табло действующего курса посадки и аэродромного давления. По желанию диспетчера данный блок может располагаться либо по правому, либо по левому краю.

Табло текущего времени содержит цифровые значения времени в часах, минутах и секундах всемирного скоординированного времени (UTC – *Universal Time Coordinated*). По желанию диспетчера табло можно перевести в режим отображения местного времени.

Значения аэродромного давления отображаются на рабочих местах диспетчеров аэродромной зоны в миллиметрах ртутного столба и в гектопаскалях, величина действующего курса посадки – в градусах, установленный эшелон перехода – в метрах. Они задаются с рабочего места руководителя полетов аэродрома с помощью специальной функции рассылки системных данных. В табло кода сектора представлено двухсимвольное обозначение сектора УВД, к которому относится данное рабочее место. Панель отображения географических координат используется для индикации цифровых значений широты и долготы точки воздушного пространства района УВД, соответствующей текущему местоположению маркера манипулятора «мышь» в окне воздушной обстановки. При перемещении маркера мыши по экрану, ПО производит пересчет и обновление значений отображаемых координат.

Информационные панели и табло заблокированы с окнами ввода функций управления, выполненными в виде выпадающих списков наименований функций и линеек функционального меню, состоящих из совокупности клавиш. Каждая клавиша предназначена для выбора соответствующих функций, таких как выбор отображаемых карт (границы секторов, ПОД, аэродромы, трассы и т.п.), установка колец дальности и азимутальной сетки, масштаба и сдвига изображения, выбор автоматических радиопеленгаторов, вид формуляра сопровождения и т.д.

Ряд основных функций может исполняться с помощью всплывающих (контекстных) меню, формируемых непосредственно в окне воздушной обстановки.

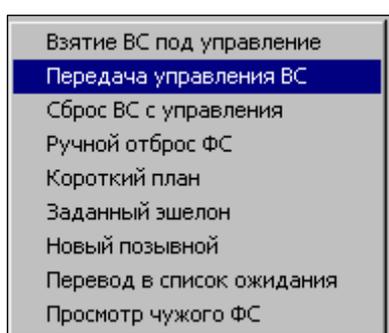


Рис. 4.19. Пункты всплывающего меню

Первое из них – индивидуальное – вызывается нажатием правой клавиши мыши при фиксации маркера на координатном символе (отметке) ВС или в любом поле его формуляра сопровождения. Пункты всплывающего меню (рис. 4.19) соответствуют следующим функциям ввода диспетчера:

- взятие неуправляемого ВС под управление или прием управления от передающего сектора;
- передача управления ВС из сектора в сектор;
- сброс ВС с управления;

- ручной сброс формуляра сопровождения;
- вызов или сброс с отображения сокращенной информации о плане полета ВС;
- ввод заданной высоты в ФС;
- ввод нового позывного в ФС;
- перевод данных о ВС в список ожидания;
- индивидуальный просмотр ФС «чужого» ВС или ВС, не взятого на управление.

Перечисленные функции выполняются только по информации ВС, указанного маркером мыши диспетчером. В отличие от индивидуального контекстного меню, предусмотрено групповое всплывающее меню (рис. 4.20) вызова функций управления дополнительными окнами (списками и таблицами). Оно вызывается щелчком правой кнопки мыши при нахождении маркера в поле окна воздушной обстановки, свободном от координатных символов и ФС. К этим функциям относятся следующие:

- вызов на экран или гашение (сброс) окна списка входа в сектор;
- вызов/сброс списка бортов, оснащенных аппаратурой АЗН, выполняющих полеты в данном секторе УВД;
- вызов/сброс окна списка потерь;
- вызов/сброс окна списка ожидания;
- вызов/сброс окна списка ограничений режима использования ВП;
- выбор вида окон формуляров сопровождения ВС (двухстрочные, трехстрочные);
- установка масштаба изображения;
- смещение центра изображения;
- выбор состава картографической информации, отображаемой в окне

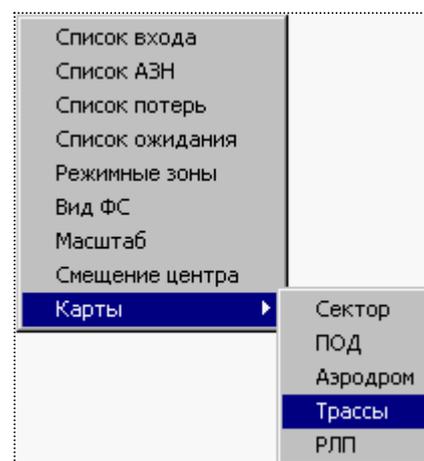


Рис. 4.20. Пункты группового меню

Существуют специальные меню для других пультовых операций, таких как вектор-измеритель, привязка строки списка потерь к ФС и т.д. Местоположение всплывающих меню на экране определяется маркером мыши. На нем фиксируется левый верхний угол меню.

Дополнительные окна и таблицы, часть из которых представлена выше на рис. 4.18, построены по единой схеме. Верхняя строка содержит информацию заголовка, остальные составляют информационную часть. Общими для всех табличных и диалоговых окон функциями являются СДВИГ и ЗАКРЫТИЕ. Первая осуществляет перемещение окна с помощью мыши по обычным правилам: маркер подводится к полю заголовка окна, нажимается левая клавиша, после чего окно сдвигается мышью в место его желательного расположения. Новое место фиксируется ПО, и при повторных гашениях и вызовах окно появляется именно в нем. Вторая функция может исполняться или с помощью всплывающего меню, или щелчком мыши по кнопке  на верхней

(заголовочной) строке закрываемого окна.

4.3.2. ОТОБРАЖЕНИЕ КООРДИНАТНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ВС. Идеалом решения задачи УВД является реализация заранее составленного бесконфликтного плана использования воздушного пространства, оптимального по критериям экономичности и регулярности полетов. В силу обсуждавшихся ранее объективных и субъективных причин выполнить все позиции плана не удается, и на этапе управления возникают ситуации, требующие оперативного вмешательства диспетчера для предотвращения летных происшествий. Простейший пример – совместные действия экипажа и наземных служб в процессе самолетовождения, в результате которых удается выдерживать линию заданного пути и моменты пролета пунктов маршрута одного из участников движения, т.е. единственного рейса. Задача усложняется с увеличением количества ВС, совершающих полеты под управлением одного диспетчера. В общем случае приходится иметь дело с совокупностью отклоняющихся от первоначального плана ВС с различными навигационными параметрами, объединенными лишь областью ВП, в которой они оказались. Диспетчер должен содействовать каждому из них в достижении его конкретной цели – достичь аэродрома назначения по заданному маршруту – и при этом не допустить предпосылок к конфликтным ситуациям. Очевидно, что для решения этой задачи диспетчеру должна быть предоставлена в удобном для восприятия виде вся необходимая информация. В первую очередь ему нужны данные о текущем местоположении и навигационных параметрах (вектор скорости) всех ВС, совершающих полеты в секторе. Эту информацию желательно дополнять характеристиками качества предоставляемых сведений и другими показателями. Сбором, обработкой и отображением совокупности необходимых данных занимается ПО АС УВД.

4.3.2.1. СИМВОЛ ТРЕКА. Трек определяется как совокупность рассчитанных по результатам последовательных радионавигационных измерений (сглаженных) значений параметров траектории ВС в текущий момент времени. Если траектория представлена дискретной функцией времени $f = \{f_i(t_i)\}$, то k -м треком является образ f_k этой функции в момент t_k . Текущее состояние характеризуется усредненными координатами, скоростью, курсом. Оно отображается на экране рабочего места диспетчера установленными графическими символами, дополняемыми линиями и текстовой информацией. Местоположение трека в окне воздушной обстановки периодически обновляется системой для индикации истинных координат ВС, совершающих полеты в ВП сектора управления. Графические символы, используемые для идентификации треков, включают в себе информацию о специфике источников измерений навигационных параметров ВС. Для каждого источника специалистами рекомендован собственный вид представления трека на экране (табл. 4.1).

Таблица 4.1.

| Символ | Тип трека |
|---|--|
|  | ПЕРВИЧНЫЙ (наблюдаемый по данным пассивной локации) |
|  | ВТОРИЧНЫЙ (наблюдаемый по данным активной локации) |
|  | ВТОРИЧНЫЙ, ОБЪЕДИНЕННЫЙ С ПЕРВИЧНЫМ |
|  | КОРРЕЛИРОВАННЫЙ (наблюдаемый радиолокационными средствами и отождествленный с планом полета ВС) |
|  | АЗН (трек по данным автоматического зависимого наблюдения) |
|  | АЗН, объединенный с ПЕРВИЧНЫМ |
|  | АЗН, объединенный со ВТОРИЧНЫМ |
|  | АЗН, объединенный с ПЕРВИЧНЫМ и/или со ВТОРИЧНЫМ |
|  | ПЛАНОВЫЙ (рассчитанный по данным плана полета ВС) |
|  | СИНТЕТИЧЕСКИЙ (наблюдаемый радиотехническими средствами всех типов и отождествленный с планом полета ВС) |

Отметим, что в ряде АС УВД по требованию заказчика символы трека приобретают вид, отличный от приведенного в табл. 4.1. Их начертание восходит к графике средств отображения третьего поколения, рассчитанных на монохромный режим и обладавших недостаточной разрешающей способностью. В системах Стрела, ТЕРКАС и зарубежных АС УВД тех времен символом неуправляемого первичного трека служила окружность, вторичного – кольцо. Взятие ВС на управление индцировалось символом «плюс», вписанным в окружность для первичных треков или в кольцо для вторичных. Отождествление радиолокационной и плановой информации фиксировалось заменой вписанного плюса на точку. Такого рода символика унаследована ПО ряда комплексов средств автоматизации УВД девяностых годов (Альфа, КСА УВД, АэроСофт, Топаз). Считается, что преемственность компьютерной графики позволяет диспетчеру быстрее адаптироваться к формам отображения воздушной обстановки при переходе от одной системы к другой.

Период обновления местоположения трека на экране традиционно устанавливается равным темпу поступления измеренной информации о сопровождаемых ВС. Для бортов, оснащенных аппаратурой АЗН, частота передачи докладов в наземные центры определяется установленными системой соглашениями, рассмотренными в п. 3.1. Интервалы между сообщениями в различных ситуациях УВД могут составлять от секунды до нескольких минут.

На рис. 4.21 представлен вид на экране диспетчера УВД трека ВС, движущегося на фоне геометрии трасс и ПОД, с формуляром отображения.



Рис. 4.21. Экранная форма представления трека и формуляра

Символ трека  расположен здесь в правом верхнем углу. От трека к формуляру сопровождения (ФС) направлена линия связки, устанавливающая его соответствие (как метки местоположения ВС) сопровождающей текстовой информации, упакованной в строках ФС. Рис. 4.22 поясняет состав и содержание полей формуляра трека. Верхняя строка индицируется в перечисленных ниже особых ситуациях УВД. В ней содержатся код диспетчера и признаки состояния ВС: бедствие, потенциальная конфликтная ситуация, изменение ранее принятого соглашения АЗН.

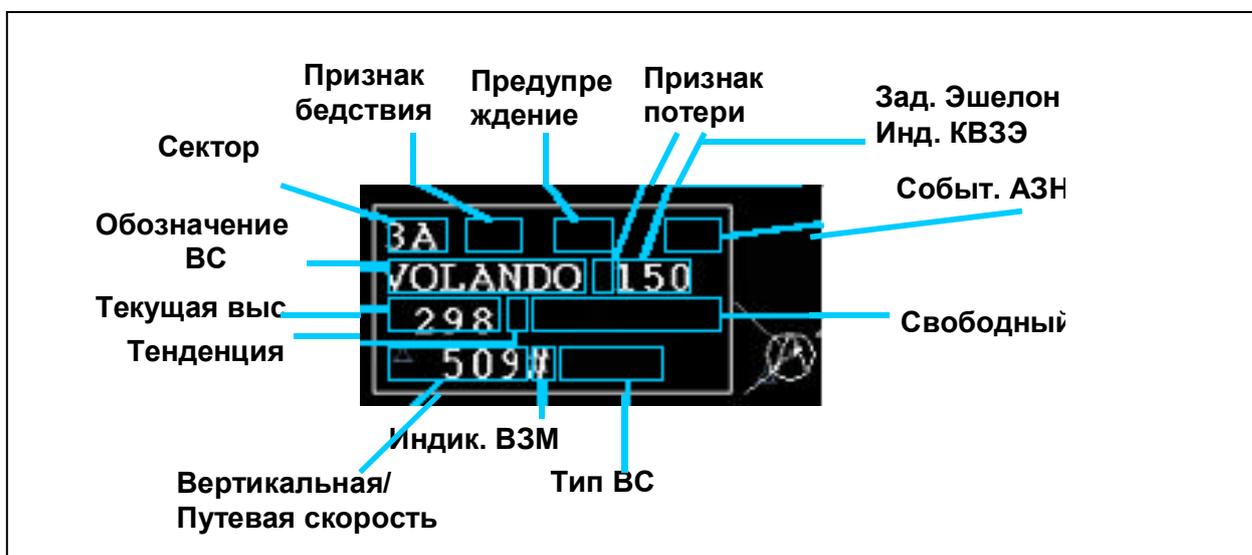


Рис. 4.22. Состав и содержание полей трека АЗН

Рис. 4.22 поясняет состав и содержание полей формуляра трека. Верхняя (нулевая в порядке нумерации) строка ФС в режиме нормальной работы обычно не отображается, чтобы не загромождать экран избыточной информацией. Диспетчер, обслуживающий движение ВС, не только знает код своего сектора (поле А), но и видит его статическую метку на пульте, и необходимости в дублировании кода в каждом ФС, как правило, не возникает. Однако при передаче управления из сектора в сектор индикация кода диспетчера становится средством документальной фиксации момента перехода юри-

дической ответственности за выполняемый рейс между должностными лицами оперативного персонала, и с этой целью ПО автоматически заполняет нулевую строку. Коды бедствия (поле В) формируются в соответствии с характером поступающей с борта информацией комбинацией из двух символов (НП, РС, БД). В поле С упаковывается код нарушения правил производства полетов, обнаруженного системой. В крайнем справа поле D формируются символы последнего наступившего события АЗН – изменение соглашения, нарушение действующей дисциплины обмена, превышение порога допустимого отклонения от заданной траектории и т.д. Описание полей верхней строки формуляра трека сведено в таблицу 4.2.

Таблица 4.2

| Строка | Поле | Отображаемая информация |
|----------|--------|---|
| Строка 0 | Поле А | Обозначение сектора УВД (2 символа) |
| | Поле В | Признак бедствия (2 символа) НП ⇒ Нападение на экипаж РС ⇒ Потеря радиосвязи БД ⇒ Бедствие |
| | Поле С | Признак сигнализации (2 символа) МБ ⇒ Признак МБВ (минимальная безопасная высота) КП ⇒ Признак КПП – конфликт по плану полета ПР ⇒ Признак ПКС (прогноз конфликтной ситуации) КР ⇒ Признак ПКС (нарушение норм эшелонирования) ОП ⇒ Признак попадания в опасные зоны (прогноз от КП обработки плановой информации) ОО ⇒ Признак попадания в опасные зоны (прогноз от КП обработки радиолокационной информации) ОР ⇒ Признак попадания в опасные зоны (нарушение, обнаруженное КП обработки РЛИ или АЗН) ПРИМЕЧАНИЕ: Система устанавливает приоритетное отображение сигнализации, и если сигналы подаются одновременно разными КП, тогда в этом поле отображается сигнализация КП с высшим приоритетом |
| | Поле D | Событие автоматического зависимого наблюдения |

Табл. 4.3 содержит описание полей следующих (нижележащих) строк формуляра сопровождения.

Таблица 4.3

| | | |
|----------|--------|---|
| Строка 1 | Поле А | <p>Обозначение воздушного судна Позывной по плану полета Регистрационный (РЕГ) номер ⇒ пять десятичных цифр Код ВРЛ ИКАО ⇒ четыре восьмеричных цифры Примечание: Данное поле заполняется символами “////” для треков ПРЛ без назначенного вручную кода. Для бортов, коррелированных с планами полетов, в этом поле по умолчанию находится «Позывной по плану» до запроса оператором для отображения кода ВРЛ или РЕГ номера (действие декодирования кода) Это поле заполняется символами “XXXX” для треков с нарушениями формата кода ВРЛ</p> |
| | Поле В | Признак потери “▼” |
| | Поле С | Разрешенный (заданный) эшелон полета (Н _{здн}) и признак сигнализации от программной функции контроля выдерживания заданного эшелона (КВЗЭ) |
| Строка 2 | Поле А | <p>Высота полета ВС Текущая высота – режим С (4 цифры) Примечание: Это поле заполняется символами “////” для треков без режимов С или Н и символами “XXXX” для треков с недостоверными режимами С или Н Буква “А” отображается в качестве первого знака, если принята относительная текущая высота полета</p> |
| | Поле В | <p>Тенденция изменения высоты полета (1 знак) ▲ ⇒ ВС в наборе высоты ▼ ⇒ ВС в снижении Пробел ⇒ горизонтальный полет ВС</p> |
| | Поле С | Свободный текст (7знаков) |
| Строка 3 | Поле А | <p>Скорость ВС (путевая или вертикальная) Четыре цифры ⇒ Путевая скорость в км/час +/- Три цифры ⇒ Вертикальная скорость в м/сек; обозначения: + ⇒ Набор, - ⇒ Снижение Примечание: В этом поле по умолчанию находится “Путевая скорость” до запроса оператором режима отображения вертикальной скорости (действие декодирования скорости)</p> |
| | Поле В | <p>Признак выдерживания маршрута – от программной функции контроля выдерживания маршрута (КВМ) Символ « » означает, что ВС следует по заданному маршруту плана полета Символ “#” означает, что ВС отклоняется от маршрута</p> |
| | Поле С | Тип ВС (4 знака) |

Некоторые из полей формуляра трека предоставляют диспетчеру возможность выполнения функциональных действий. В таблице 4.4 приведены поля с доступом и возможные операции над ними.

Таблица 4.4

| Строка | Поле | Доступные операции |
|----------|-------------------------|---|
| Строка 0 | Обозначение сектора УВД | Нет |
| | Признак бедствия | Нет |
| | Признак сигнализации | Подтверждение попадания рейса в опасную зону (ОП) |
| | Событие АЗН | Нет |
| Строка 1 | Обозначение ВС | Переключение: позывной или код ВРЛ Процедура приема-передачи Создание сокращенного плана полета |
| | Признак потери | Нет |
| | Заданный эшелон полета | Ввод нового $H_{здн}$ (заданного эшелона) Отображение маршрута полета |
| Строка 2 | Текущая высота | Поместить трек в список ожидания или Удалить трек из списка ожидания |
| | Тенденция полета | Нет |
| | Свободный текст | Отображение окна «Свободный текст» |
| Строка 3 | Скорость ВС | Переключатель «Путевая скорость» или «Вертикальная скорость» |
| | Индикатор КВМ | Нет |
| | Тип ВС | Отображение на экране линии маршрута по плану полета Отображение расчетных данных пролета следующего ПОД |

4.3.2.2. ФОРМАТ ФОРМУЛЯРА ТРЕКА. Система поддерживает три типа форматов для формуляра трека. Формат может быть выбран либо индивидуально (применяется к выбранному треку), либо глобально (применяется сразу ко всем отображаемым на экране собственным трекам сектора). Возможные варианты форматов для формуляра трека приведены на рис. 4.23. Они характеризуются количеством заполненных строк формуляра.

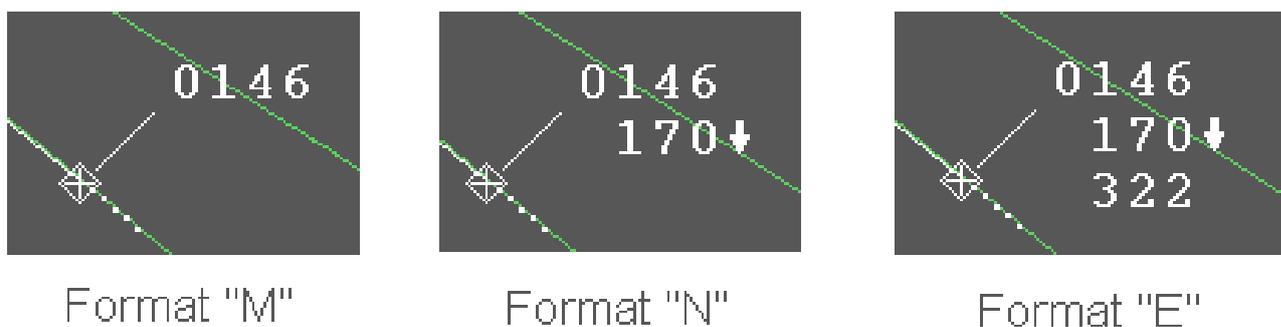


Рис. 4.23. Форматы формуляров сопровождения ВС

Определения форматов сведены в таблицу 4.5.

Таблица 4.5

| Формат | Описание |
|----------|------------------------------|
| Формат М | Отображается строка 1 |
| Формат N | Отображаются строки 1 и 2 |
| Формат E | Отображаются строки 1, 2 и 3 |

Переключение формата отображения осуществляется диспетчером с помощью мыши или клавиши прямой функции «Вид формуляра». Фактически, это выбор между однострочным (Minimum), двустрочным (Normal) и трехстрочным (Extended) формулярами сопровождения ВС.

Строка «0» отображается только в следующих случаях:

- Активизирована функция быстрого просмотра (выдача на экран диспетчеру формуляров сопровождения бортов, управляемых взаимодействующими соседними секторами УВД), и трек контролируется одним из секторов, выбранных для быстрого просмотра.

- Трек (собственный или «чужой») в состоянии аварии, бедствия или нарушения порога минимальной безопасной высоты.

- Трек собственный и находится в состоянии обнаруженной потенциальной конфликтной ситуации или прогноза конфликта по плану полета.

- Трек в состоянии приема-передачи управления из сектора в сектор.

- Трек указан диспетчером с помощью маркера мыши.

- Трек собственный и находится в состоянии попадания в зоны опасных явлений.

4.3.2.3. ЦВЕТОВАЯ ИНДИКАЦИЯ ТРЕКОВ. Для уверенной идентификации диспетчером нештатных ситуаций воздушной обстановки, система обеспечивает возможность классифицировать их с помощью цвета. Цветовое кодирование потенциальной угрозы нарушения правил выполнения полетов – это визуальная модификация воспроизводимых данных, применяемая к основным элементам трека, таким как описанные выше символ, линия связки и формуляр. Окрашиваются, кроме того:

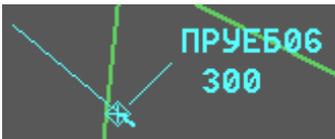
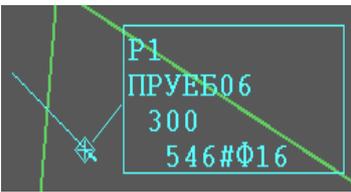
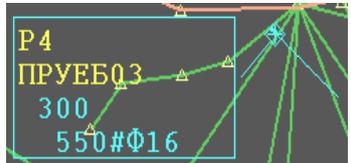
- предыстория движения (последовательность точек местоположения ВС по результатам нескольких предыдущих навигационных измерений);

- вектор экстраполяции (линия, направленная по курсу движения трека и пропорциональная по величине скорости полета).

В таблице 4.6 представлена цветовая гамма подкраски, используемая для различения специфики состояния треков в соответствии со складывающейся воздушной обстановкой. Используемая в таблице аббревиатура RVCМ, образованная прямым переводом английского RVSM (*Reduced Vertical Separation Minimum*), соответствует русскоязычному «сокращенный минимум вертикального эшелонирования». Программа внедрения RVSM в Европейском регионе направлена на значительное увеличение пропускной способности системы УВД. Однако полеты RVCН совершаются по специфическим правилам и требуют особого внимания диспетчеров. Сокращенный ми-

нимум вертикального эшелонирования применяется в воздушном пространстве, занимающем объем между эшелонами полета 290 и 410 включительно.

Таблица 4.6

| Пример | Цвет | Значение |
|---|---|---|
|  | Бледный БЕЛЫЙ | Несобственные треки |
|  | ГОЛУБОЙ | Собственные треки |
|  | КРАСНЫЙ мигающий индикатор аварии (см. примечание) | Треки в состоянии аварии, МБВ или ПКС (только при обнаруженном нарушении) |
|  | ГОЛУБОЙ с рамкой | Выбранный трек |
|  | ГОЛУБОЙ формуляр, трек ЖЕЛТЫЙ | Трек РВСМ |
|  | Трек ГОЛУБОЙ, обозначение сектора (строка 1, поле А) и ВС (строка 2) ЖЕЛТОЕ | Трек в состоянии приема-передачи управления |

ПРИМЕЧАНИЕ: Для остальных сигналов тревоги по опасным зонам (для собственных треков), по КПП (если активизирована функция [КОНФЛИКТ ПО ПЛАНУ]) и по функции Контроля Выдерживания Заданного Эшелона (собственные и «чужие» треки) – становятся КРАСНЫМИ не все строки формуляра сопровождения, а только поля, соответствующие выработанному сигналу (признак тревоги или $N_{здн}$).

2. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существующие традиционные средства навигации и УВД обладают рядом принципиальных недостатков. Дальность действия РЛС ограничена прямой видимостью, вследствие чего возникают трудности создания сплошного радиолокационного поля, особенно на малых высотах и в труднодоступных местностях. Высока погрешность измерения параметров движения ВС. Аналогичные проблемы встают при организации связи ВС, совершающих полеты, с наземными центрами. Преодоление этих и ряда других затруднений возможно с помощью использования спутниковых систем навигации и УВД. Их развертывание дает ряд существенных преимуществ:

- позволяет сохранить требуемый уровень безопасности полетов на основе распространения концепции ТНП;
- предоставляет возможность местоопределения ВС в любой точке планеты с любой наперед заданной точностью;
- обеспечивает требуемую навигационную поддержку при различных сочетаниях бортового радионавигационного оборудования.

Главным фактором, препятствующим широкому распространению спутниковых систем, является их высокая стоимость. Технические проблемы разрешимы. Погрешность измерений компенсируется дифференциальными поправками, определяемыми путем внесения в процесс априорно известных отклонений физических величин, которые затем используются как приращения реальных координат и дальностей.

Поддержание целостности системы, включающей в свой состав наземный, самолетный и космический сегменты, невозможно без применения современных информационных и вычислительных технологий. Организация устойчивой совместной работы плановой подсистемы, радиолокационных комплексов, спутников, источников метеорологических данных, бортовой навигационной аппаратуры, подсистемы связи представляет собой сложную техническую задачу. Наряду с ее решением, к разработчикам ПО АС УВД предъявляются традиционные жесткие требования по своевременному отображению на экранах рабочих мест необходимого минимума информации о текущей воздушной обстановке, ее особенностях и тенденциях развития в удобном для восприятия виде.

В данной брошюре определяются назначение и структура комплекса средств АЗН и ПО для обработки и отображения полетной информации. Формулируются требования к программной поддержке технологии работы диспетчера с использованием данных автоматического зависимого наблюдения. Приводятся алгоритмы организации сеансов обмена информацией с бортами, оснащенными аппаратурой автоматического зависимого наблюдения, и алгоритмы ее обработки. Рассмотрены состав кодограмм докладов АЗН, модели построения траекторий ВС на различных участках траектории и формы отображения результатов вычислений.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Логвин А.И., Орлов О.Е.** Спутниковые системы навигации и связи для УВД. Учебное пособие. – М.: МГТУ ГА, 2002.
2. **Анодина Т.Г., Кузнецов А.А., Маркович Е.Д.** Автоматизация управления воздушным движением. – М.: Транспорт, 1992.
3. **Соловьев Ю.А.** Системы спутниковой навигации. – М.: Эко-трэндз, 2000.
4. **Болтачев В.Ю.** Планирование безопасности воздушного движения. // Научный Вестник МГТУ ГА, № 63, серия Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полетов. – М.: МГТУ ГА, 2003.
5. **Савицкий В.И., Владимиров Ю.А., Мищенко Н.Г., Точиллов В.В.** Автоматизированные системы управления воздушным движением. – М.: Транспорт, 1986.
6. Табель сообщений о движении воздушных судов транспортной системы Российской Федерации (ТС ТА-95). – М.: Воздушный транспорт, 1997.
7. Воздушный кодекс Российской Федерации – М.: Воздушный транспорт, 1997.

[На начало документа](#)

[На исходный документ](#)