

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТАМИ
И ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ
АВИАЦИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Учебное пособие

Москва

Издание ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина

2010

УДК 656.7.052.071.13

ISBN 5-277-00158-1

Автоматизированные системы управления полетами и воздушным движением авиации Российской Федерации. Учебное пособие. — М.: Изд-во ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, 2010 — с.

В учебном пособии представлены основные понятия, определения и характеристики, относящиеся к вопросам организации воздушного пространства и системам управления полетами и воздушным движением РФ. Рассматривается состав систем управления авиацией в аэродромном и во внеаэродромном воздушном пространстве, их структурно-функциональные схемы и содержание процессов управления на этапах подготовки к полету и в процессе полета воздушных судов. Описываются схемы АСУ полетами и воздушным движением, математические методы, модели и алгоритмы, реализуемые в системах, а также существующие и перспективные средства и системы управления авиацией с использованием спутниковых технологий.

Учебное пособие предназначено для курсантов, слушателей и адъюнктов высших авиационных учебных заведений МО РФ, а также слушателей курсов повышения квалификации, инженеров и научных сотрудников, специализирующихся в области автоматизации процессов управления полетами и воздушным движением авиации Российской Федерации.

Иллюстраций — , таблиц — , библиография —

© Изд-во ВВИА им. проф.Н.Е. Жуковского, 2010.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЛЕТОВ И ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ АВИАЦИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....	8
1.1 Основные руководящие документы по организации полетов и воздушного движения.....	8
1.2 Воздушное пространство Российской Федерации. Классификация полетов	12
1.3 Зоны и районы системы УВД авиации РФ	19
1.4 Аэродромное воздушное пространство, траектории движения воздушных судов в аэродромном воздушном пространстве, бортовые и наземные аэронавигационные средства	21
1.5 Внеаэродромное воздушное пространство и его элементы	28
ГЛАВА 2 СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТАМИ И ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ	32
2.1 Цели, содержание управления и состав систем управления полетами и воздушным движением. Классификация систем управления	32
2.2 Системы управления полетами и воздушным движением в аэродромном воздушном пространстве	36
2.3 Системы управления воздушным движением во внеаэродромном воздушном пространстве	44
2.3.1 Единая система организации воздушного движения Российской Федерации.....	44
2.3.2 Органы и средства управления воздушным движением в ЕС ОрВД.....	50
2.4 Заявки на использование воздушного пространства РФ	54
2.5 Планирование и непосредственное управление воздушным движением оперативными органами ЕС ОрВД.....	60
2.6 Содержание оперативного управления воздушными судами при выполнении маршрутно-трассовых полетов.....	66
2.7 Безопасность полетов и воздушного движения — показатель качества систем управления П и ВД.....	69
ГЛАВА 3 АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТАМИ И ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ.....	73
3.1 Методы и модели процессов управления воздушным движением воздушных судов и функционирования органов управления воздушным движением.....	73
3.1.1 Существо процессов обработки заявок на полеты воздушных судов	75

3.1.2 Динамическая модель движения воздушного судна в АСУ полетами и воздушным движением	79
3.1.3 Кинематическая модель движения воздушного судна	87
3.1.4 Определение конфликтных ситуаций на этапах суточного и текущего планирования.....	93
3.1.5 Определение конфликтных ситуаций при непосредственном управлении воздушным движением.....	97
3.1.6 Информационная модель процесса планирования воздушного движения	99
3.1.7 Методы и алгоритмы оптимального управления воздушными судами в аэродромном воздушном пространстве	116
3.2 Автоматизированные системы управления полетами и воздушным движением.....	135
3.2.1 Структурные схемы АСУ полетами и воздушным движением во внеаэродромном и в аэродромном воздушном пространстве	135
3.2.2 Система управления воздушным движением «Небосвод».....	136
3.2.3 Бортовые средства и системы автоматизированного управления воздушным судном.....	144
ГЛАВА 4 СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТАМИ И ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ.....	153
4.1 АСУ полетами и воздушным движением в аэродромном воздушном пространстве.....	153
4.2 АСУ воздушным движением во внеаэродромном воздушном пространстве.....	157
4.3 Космические технологии в системах управления полетами и воздушным движением.....	165
4.4 Перспективы развития АСУ полетами и воздушным движением.....	172
4.5 Система управления полетами группировки ВВС США.....	178
4.5.1 Боевые задачи группировки ВВС США	178
4.5.2 Управление полетами авиации при выполнении боевых задач.....	181
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	190
СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ.....	191
ЛИТЕРАТУРА.....	192

ВВЕДЕНИЕ

Современная авиация Российской Федерации является мощным и уникальным средством решения важных государственных и ведомственных задач, средством вооруженной борьбы и переброски войск, средством транспорта для оперативной доставки на любые расстояния специальных грузов и групп для ликвидации аварий и катастроф, а также для перевозки значительного количества пассажиров в различные районы нашей страны. Авиация с учетом специфики ее свойств требует особого внимания к обеспечению безопасности ее использования. Выполнение безопасного полета одиночным самолетом или группой предусматривает тщательную подготовку к полету не только летного состава и авиационной техники, но и подготовку личного состава органов и систем управления авиацией. При выполнении полетов от момента взлета и до посадки самолетов система мер по обеспечению безопасности предусматривает непрерывный контроль выполнения экипажами полетных заданий и обмен необходимой информацией между экипажами и наземными органами управления. Для выполнения авиацией стоящих перед ней задач и обеспечения безаварийного ее применения создана система управления авиацией, функционирующая в масштабе страны, региона, района, аэродромного узла и аэродрома. Система управления авиацией любого уровня (масштаба) включает в себя органы управления, пункты управления и средства управления. Основное назначение систем управления авиацией состоит в реализации следующих процессов:

- распределение воздушного пространства (ВП) для решения задач экономики и обороны;
- предварительное и текущее планирование полетов и воздушного движения органами управления авиацией всех уровней;
- непосредственное управление авиацией в воздухе в зонах ответственности пунктов управления.

Развитие экономики страны и соответствующий рост объемов перевозок, осуществляемых воздушным транспортом, привели к увеличению числа самолетов, одновременно находящихся в одних и тех же областях ВП, что вызвало необходимость постоянного совершенствования технологии управления авиацией с целью обеспечения безопасности полетов и воздушного движения. Современные технологии управления авиацией непосредственно связаны с разработкой и внедрением средств автоматизации процессов сбора и обработки данных о воздушной обстановке и их отображение на пунктах

управления в удобной для оперативного персонала форме, а также процессов предварительного и текущего планирования с целью выработки бесконфликтных планов и траекторий движения самолетов. Дальнейшее развитие средств и систем автоматизации процессов управления полетами и воздушным движением осуществляется за счет использования новейших достижений науки и техники в области компьютерных технологий, связи, телевидения, мультимедиа, искусственного интеллекта и др. Обобщенный взгляд на эволюционное развитие оперативных органов, средств и систем управления авиацией России представлен в таблице 1.1.

Т а б л и ц а 1.1

Этапы развития	Органы и службы управления	Средства и системы управления П и ВД в аэродромном ВП	Средства и системы УВД во внеаэродромном ВП (на ВТ и МП)
I этап (20-30 г.г. XX ст.)	Диспетчерские службы (пункты) аэродромов и районов вдоль ВТ с помощью телефонной и телеграфной связи между диспетчерами аэродромов и районов.	Сигнальные средства для взлета и посадки. КВ-радиопеленгаторы и КВ-связь с экипажем самолета, приводные аэродромные радиостанции (ПАР).	Полеты по правилам визуальных полетов на малых и средних высотах. Средства связи с экипажами отсутствуют. Полет от аэродрома до аэродрома с помощью радиомаяков типа «VOR», вещательных РС (по принципу «от—на»).
II этап (40-60 г.г. XX ст.)	Диспетчерские службы аэродромов, командно-диспетчерские пункты (КДП), диспетчерские службы районов со средствами связи.	Сигнальные средства. РЛС типа П-35, П-37, «Утес». Системы посадки СП-50, 70, РСР-4, 5, 6; РСБН, УКВ РС (для связи с экипажами).	РСБН, приводные радиостанции, радиомаяки типа «VOR-DME», УКВ РС для связи экипажа с диспетчерами района. Радиолокационный контроль на ВТ и МП отсутствует.
III этап (70-90 г.г. XX ст.)	Диспетчерские службы аэродромов и аэропортов, КДП; ЕС ОрВД СССР (РФ) с зональными и районными центрами УВД.	РЛС 1Л117 «Лира», 22Ж6 «Десна», 39Н6Е «Каста-2Е2» и др; Системы посадки «РСР - 6М2» «РСР-10»; РСБН -4Н, РСБН - 8Н; ПРМГ-76У; УКВ РС; АСУП «Старт», «Теркас», «Плуг», «Висп-97», «Альфа-В».	РСБН, ОПРС, радиомаяки типа «VOR-DME», ТРЛК, УКВ РС. АСУ ВД типа «Теркас», «Стрела», «Трасса», «Альфа», «Небосвод (С-500)» и др.
IV этап (2000-2015 г.г. XXI ст.)	Диспетчерские службы аэродромов и аэропортов, КДП. Укрупнение районов УВД РФ. Модернизация ЕС ОрВД.	РЛС различных типов с унификацией, система АЗН, РСБН, РСР, ПРС, УКВ РС, унификация АСУ П и ВД.	ТРЛК, система АЗН, РСБН, ОПРС, УКВ РС, станции космической связи, модернизация и унификация АСУ ВД.

Авиация с момента своего появления стала объектом управления для наземных органов и систем. Деятельность этих органов управления в период

становления и развития авиации была определена как «земное обеспечение самолетовождения». Первоначально навигация (определение местоположения и направления движения летательных аппаратов) в районе аэродрома и в полете по маршруту осуществлялась экипажем самолета визуально по наземным ориентирам с использованием навигационной карты, магнитного компаса, часов и необходимых пилотажных приборов. Средствами управления самолетом в районе аэродромов были сигнальные средства. Появление в составе бортового оборудования радиостанций (РС) и радиокompаса (РК), а на аэродромах радиопеленгаторов и приводных радиостанций в совокупности с сигнальными средствами позволяло экипажам выходить в район аэродрома при отсутствии визуальной видимости ориентиров и осуществлять посадку, используя информацию радиопеленгатора и сигнальные посадочные средства. Размещение приводных радиостанций на аэродромах и вдоль маршрутов полетов (МП) и воздушных трасс (ВТ) позволяло осуществлять воздушную навигацию по принципу «от — на»: после вылета с аэродрома самолет по радиокompасу летит в направлении приводной станции, производит посадку или продолжает полет в направлении следующей приводной станции. Таким образом, наличие даже ограниченного состава средств земного обеспечения самолетовождения позволяло снизить риск потери экипажами ориентировки в районе аэродрома и на маршрутах полета и тем самым выполнять полетные задания в более широком диапазоне условий и режимов полета с учетом их безопасности.

Создание и совершенствование аэродромных и районных систем управления авиацией происходило на основе внедрения в состав аэродромных и трассовых систем управления новых радиолокационных станций (РЛС), систем посадки (СП), отдельных приводных радиостанций (ОПРС), азимутальных и дальномерных радиомаяков различных типов. В современных системах управления воздушным движением (УВД) реализован принцип «вижу — слышу — управляю».

ГЛАВА 1 ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЛЕТОВ И ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ АВИАЦИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

1.1 Основные руководящие документы по организации полетов и воздушного движения

Любая организационно-техническая система в области воздушного транспорта, какими являются Федеральная аэронавигационная служба РФ (ФАНС РФ) и ее составляющие: Единая система организации воздушного движения Российской Федерации (ЕС ОрВД РФ), Госкорпорация по организации и обеспечению воздушного движения, системы управления полетами в аэродромном и во внеаэродромном ВП и другие функционируют в соответствии с положениями руководящих документов федерального, регионального и ведомственного уровня. Такими документами являются: законы, указы, приказы, наставления и руководства, содержащие положения, регламентирующие деятельность должностных лиц, их взаимоотношения при решении организационных, финансовых, технических и других вопросов.

Приведем краткое содержание некоторых основных руководящих документов по организации использования воздушного пространства РФ, порядку и правилам подготовки и выполнения полетов.

Воздушный кодекс Российской Федерации устанавливает правовые основы использования ВП России и деятельности в области авиации, которые направлены на обеспечение потребностей обороны и безопасности государства, народного хозяйства и граждан в воздушных перевозках, авиационных работах, а также на обеспечении безопасности полетов воздушных судов и экологической безопасности. Этим документом в РФ устанавливается три вида авиации: гражданская, государственная и экспериментальная.

Гражданская авиация предназначена для обеспечения потребностей граждан и народного хозяйства, она используется на коммерческой и безвозмездной основе.

Государственная авиация предназначена для выполнения государственных задач: обороны, внутренних дел, безопасности, ликвидации чрезвычайных ситуаций, мобилизационно-оборонных задач и других. Государственная авиация включает в себя авиацию Министерства обороны в составе авиации ВВС, СВ и ВМФ, авиацию Министерства внутренних дел, авиацию Министерства чрезвычайных ситуаций; авиацию ФСБ, авиацию Росавиакосмоса, авиацию РОСТО (ДОСААФ) России.

Экспериментальная авиация предназначена для проведения опытно-конструкторских, экспериментальных и научно-исследовательских работ, а также для испытания авиационной и другой техники.

В воздушном кодексе РФ отражены вопросы управления и обеспечения полетов воздушных судов (ВС), использования средств связи, организации поиска и спасения терпящих или потерпевших бедствие экипажей и пассажиров воздушных судов, а также другие вопросы деятельности органов и должностных лиц всех видов авиации РФ.

Воздушным кодексом РФ установлены приоритеты, предоставляемые пользователям воздушного пространства. Высшим приоритетом обладают действия, связанные с предотвращением вооруженного вторжения на территорию РФ, воздушного нападения и нарушений Государственной границы. Низшим приоритетом обладают действия, направленные на удовлетворение потребностей отдельных граждан в использовании воздушного пространства (ИВП). В воздушном кодексе также приведены часто встречающиеся в различных документах по организации и ИВП понятия. К таким понятиям относятся следующие.

Воздушное судно — летательный аппарат, поддерживаемый в атмосфере за счет взаимодействия с воздухом, отличного от взаимодействия с воздухом, отраженным от поверхности земли или воды.

Аэродром — участок земли или воды с расположенными на нем зданиями, сооружениями и оборудованием, предназначенным для взлета, посадки, руления и стоянки воздушных судов.

Аэродром совместного базирования — аэродром, на котором совместно базируются воздушные суда гражданской и государственной авиации и (или) экспериментальной авиации.

Аэродром совместного использования — аэродром государственной авиации, на котором осуществляется взлет, посадка, руление и стоянка гражданских воздушных судов, выполняющих полеты по расписанию и не имеющих права базирования на этом аэродроме.

План полета воздушного судна — документ, представляемый пользователем воздушного пространства соответствующему органу управления воздушным движением при наличии разрешения на использование ВП.

Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации, разработанные в соответствии с Воздушным кодексом РФ, устанавливают порядок ИВП всеми видами авиации РФ в интересах экономики и обороны страны в целях удовлетворения потребностей пользователей воздушного пространства, а также обеспечения безопасности при его

использовании. В этом документе определены основные понятия, относящиеся к структуре воздушного пространства, пространственным элементам и их размерам, методам и нормам эшелонирования воздушных судов в элементах ВП.

Федеральные правила ИВП определяют основные положения по организации управления воздушным движением (УВД) авиации РФ во внеаэродромном ВП, например, такие как принципы использования ВП; структуру и содержание работ органов оперативного управления ВД; содержание и порядок подачи заявок на ИВП; сущность и виды планирования ИВП и непосредственного управления ВД; организацию связи и радиотехнического обеспечения при ИВП и другие.

Федеральные авиационные правила полетов в воздушном пространстве Российской Федерации устанавливают общий порядок выполнения полетов пилотируемыми воздушными судами гражданской, государственной и экспериментальной авиации в ВП РФ. В документе определены основные понятия, которые употребляются в правилах. Эти понятия относятся к воздушным судам, аэродромам, метеоусловиям, элементам ВП РФ; к видам и траекториям полета; к полетам в условиях обледенения, грозовой деятельности, турбулентности, отказа бортовых или наземных средств радиосвязи, отказа радиолокационных и радиотехнических средств. Знания правил полета необходимы не только экипажам ВС, но и диспетчерам оперативных органов управления полетами и воздушным движением для контроля за действиями экипажей, передачи управляющих команд, информационных сообщений и оказания помощи.

Инструкция по составлению формализованных заявок на использование воздушного пространства. Этот документ введен в действие совместным приказом Министра обороны и Министерства транспорта РФ и предназначен для приведения к единой форме подаваемых от пользователей ВП заявок на использование воздушного пространства РФ, планов полетов ВС, заявок на запуски аэростатов, шаров-зондов, проведения стрельб, пусков ракет и взрывных работ. Заявки составляются на специальных стандартных бланках, оформляются в виде телеграмм и передаются в органы обеспечения воздушного движения (управления полетами). Каждая телеграмма состоит из трех частей: первая часть — адресная; вторая — информационная; третья — подписная. Первая и третья части телеграмм заполняются в соответствии с установленными правилами адресования и передачи телеграфных сообщений. Вторая (информационная) часть заявок на ИВП заполняется данными в строго установленных местах бланка, соблюдая установленный шрифт, пунктуацию, обозначение элементов, время и другие правила. Смысл форма-

лизации заявок состоит в том, что принимаемые заявки в оперативных органах управления полетами и воздушным движением подвергаются автоматическому формально-логическому контролю на правильность заполнения и наличие в базе данных той информации, которая указана в заявке. Если в заявке обнаруживаются ошибки, которые нельзя оперативно исправить, то она не принимается к исполнению.

Наставление по производству полетов авиации Вооруженных сил является основополагающим документом по организации аэродромных полетов военной авиации и руководству ими. Документ разработан в соответствии с правилами полетов в воздушном пространстве РФ. В нем дается толкование специфических терминов, относящихся к деятельности военной авиации и часто употребляемых в данном Наставлении. В документе подробно излагается порядок подготовки к полетам летного состава, лиц групп руководства полетами и обеспечивающих полеты различных служб, указан порядок разработки и содержание планирующих документов. Для руководства полетами приведен состав группы руководства полетами (ГРП) и указаны зоны ответственности должностных лиц, входящих в состав группы; представлены необходимые документы, схемы, таблицы и прочие данные, используемые должностными лицами ГРП в процессе управления полетами. Подробно изложены виды обеспечения полетов и их содержание. Обеспечение полетов военной авиации, входящей в состав государственной и экспериментальной авиации, включает: обеспечение аэронавигационной информацией, штурманское обеспечение, аэродромно-техническое обеспечение, инженерно-авиационное обеспечение, связь и радиотехническое обеспечение, метеорологическое обеспечение, орнитологическое обеспечение, медицинское обеспечение, парашютно-спасательное обеспечение, поисково-спасательное обеспечение, объективный контроль полетов.

Знание положений рассматриваемого документа необходимо не только при организации полетов государственной и экспериментальной авиации и руководстве ими, но и органам внедрассового управления зональных, районных и укрупненных центров УВД РФ.

Наставление по производству полетов в гражданской авиации. Этот документ по структуре и содержанию похож на предыдущий документ, предназначенный для авиации Вооруженных сил. Его отличие состоит в специфике понятий, относящихся к правилам выполнения и обеспечения полетов гражданской авиации, а также управлению воздушным движением.

В гражданской авиации движение ВС по аэродрому от места стоянки к исполнительному старту или после посадки и руления к месту стоянки (перрону) рассматривается как воздушное движение и управляется диспетчерами.

На площади маневрирования аэродрома и в аэродромном ВП управление воздушным движением осуществляют диспетчерские пункты руления (ДПР), диспетчерские пункты старта (ДПС), диспетчерские пункты посадки (ПДП), диспетчерские пункты круга (ДПК), диспетчерские пункты подхода (ДПП). Знание положений этого документа необходимы не только диспетчерам аэродромного диспетчерского центра (АДЦ) или пункта (АДП), но и органам трассового управления зональных, районных и укрупненных центров УВД РФ.

В связи с образованием в рамках Министерства транспорта РФ отдельного специального ведомства «Федеральной аэронавигационной службы РФ» (ФАНС РФ) или сокращенно «Росаэронавигации» руководящими документами являются изданные в 2005-2007 годах Указ Президента и Постановления Правительства РФ «О единой системе авиационно-космического поиска РФ», «О федеральной аэронавигационной службе», а также документы ведомства ФАНС по различным вопросам деятельности авиации в воздушном пространстве РФ.

1.2 Воздушное пространство Российской Федерации. Классификация полетов

Рассмотрим наиболее важные для изучения рассматриваемых здесь вопросов основные понятия и определения [1-3, 7-9, 11].

Воздушное пространство Российской Федерации представляет собой пространство в пределах сухопутных и морских границ России, простирающееся от поверхности земли до высот, позволяющих воздушным судам находиться и осуществлять движение под воздействием аэростатических и аэродинамических сил.

Структура воздушного пространства определяется составом связанных между собой его пространственных элементов, ограниченных по высоте, длине и ширине.

Воздушное пространство РФ включает в себя следующие пространственные элементы:

- зоны и районы Единой Системы Организации Воздушного движения (ЕС ОрВД);
- воздушное пространство приграничной полосы;
- районы аэродромов и аэроузлов (аэродромное и аэроузловое ВП);
- воздушные трассы (ВТ) и местные воздушные линии (МВЛ);
- спрямленные воздушные трассы (СВТ);

- маршруты полетов воздушных судов (МПВС);
- воздушные коридоры пролета государственной границы;
- коридоры входа на воздушные трассы и выхода с воздушных трасс;
- специальные зоны полетов ВС (для отработки техники пилотирования, проведения соревнований и демонстраций, испытательных и других полетов);
- запретные зоны;
- районы полигонов, взрывных и других работ.

Границы элементов ВП указываются в аэронавигационных документах и устанавливаются по географическим координатам и высотам. Воздушное пространство условно делится на «нижнее» и «верхнее». Границей верхнего и нижнего ВП является высота 8100 м, которая относится к верхнему ВП.

Воздушная обстановка (ВО) — одновременное взаимное расположение воздушных судов и других материальных объектов в определенном районе воздушного пространства.

Воздушное движение (ВД) — движение воздушных судов, находящихся в полете и движение воздушных судов на площади маневрирования аэродромов.

Воздушное пространство с воздушным движением — любой элемент воздушного пространства, имеющий определенные размеры и буквенное обозначение, в пределах которого могут выполняться конкретные виды полетов, для которого определены правила полетов и обслуживание ВД.

Использование воздушного пространства (ИВП) — деятельность, в процессе которой осуществляется перемещение в ВП различных материальных объектов (ВС, ракет и других объектов), а также строительство высотных сооружений; электромагнитное или другие виды излучений; выброс в атмосферу веществ, ухудшающих видимость; проведение взрывных работ или другая деятельность, создающая опасности для полетов ВС.

Организация использования воздушного пространства — совокупность мероприятий, осуществляемых авиационными органами управления и направленных на обеспечение безопасности выполнения пользователями ВП полетных заданий с учетом экономичности и регулярности воздушного движения.

Организация ИВП включает в себя:

- установление структуры ВП;
- планирование и координирование ИВП в соответствии с государ-

ственными приоритетами;

- обеспечение разрешительного порядка ИВП;
- организацию воздушного движения.

Пользователи воздушного пространства — гражданские и юридические лица, наделенные в установленном порядке правом на осуществление деятельности по ИВП.

Безопасность использования воздушного пространства — комплексная характеристика установленного порядка использования воздушного пространства, определяющая его способность обеспечивать выполнение всех видов деятельности по ИВП без угрозы жизни и здоровью людей, материального ущерба государству, гражданам и юридическим лицам.

Обслуживание воздушного движения (ОВД) — совокупность мероприятий, включающая полетно-информационное обслуживание, консультативное обслуживание, диспетчерское обслуживание (районное, аэродромное), а также аварийное оповещение.

Диспетчерское обслуживание (управление) воздушного движения — обслуживание (управление) с целью предотвращения столкновений воздушных судов между собой и другими материальными объектами в воздухе, столкновений с препятствиями, в том числе на площади маневрирования аэродромов, а также регулирование воздушного движения и обеспечение его экономичности.

Аэронавигационное обслуживание полетов воздушных судов включает обеспечение пользователей воздушного пространства аэронавигационной информацией, средствами и возможностями систем связи, навигации и наблюдения для УВД, метеорологической информацией, а также системы поиска и спасения экипажей и пассажиров ВС.

Аэронавигационная информация — сведения (аэронавигационные данные) о характеристиках и фактическом состоянии аэродромов, аэроузлов, элементов структуры ВП и средств радиотехнического обеспечения воздушных трасс, необходимые для организации и выполнения полетов.

Метеорологическая информация содержится в метеорологических сводках, результатах анализа или прогноза метеоусловий, а также в любых других сообщениях, касающихся фактических или ожидаемых метеоусловий.

Единая автоматизированная радиолокационная система (ЕАРЛС) — совокупность технически совместимых средств радиолокации, систем автоматизации управления и связи разной ведомственной принадлежности, разнесенных в пространстве и объединенных в единую систему с целью добы-

вания, сбора, обработки и автоматизированной выдачи потребителям данных о воздушной обстановке в реальном масштабе времени.

Главный координационный центр поиска и спасения — оперативный орган Единой системы авиационно-космического поиска и спасения экипажей, терпящих бедствие или совершивших вынужденную посадку.

Движение пилотируемых ВС в воздушном пространстве осуществляется в соответствии с Федеральными авиационными правилами полетов, которые, как и правила движения транспортных средств на земле или на воде, имеют одну и ту же цель: обеспечить безопасность движения. Одним из способов обеспечения безопасности полетов и воздушного движения является эшелонирование ВС в воздушном пространстве.

Эшелонирование воздушных судов в воздушном пространстве — способ вертикального, продольного и бокового рассредоточения ВС в воздушном пространстве, обеспечивающий безопасность воздушного движения.

Эшелон полета — установленная высота полета с постоянным атмосферным давлением относительно поверхности с давлением 760 мм рт. ст. и отстоящая от других высот полета на величину установленных интервалов.

Вертикальное эшелонирование ВС в воздушном пространстве осуществляется по полукруговой системе с курсовыми углами полета, отсчитываемыми от северного направления истинного меридиана по часовой стрелке в пределах углов от 0° до 179° — полеты в восточном направлении на установленных эшелонах, и от 180° до 359° — полеты в западном направлении на других (отличных от восточных) установленных эшелонах. Расстояния между соседними встречными эшелонами составляют:

- 300 м от эшелона 900 м до 8100 м;
- 500 м от эшелона 8100 м до 12100 м;
- 1000 м от эшелона 12100 м и выше.

На рисунке 1.1 приведены установленные эшелоны полета ВС для курсовых углов восточного и западного направления.

Указанное вертикальное эшелонирование не гарантирует предотвращение столкновений ВС, летящих в одном направлении (восточном или западном) на одних и тех же эшелонах с разными курсовыми углами, а также при пересечении ВС встречных и попутных эшелонов при снижении или наборе высоты. Поэтому предотвращение столкновений ВС в воздухе, а также любых других конфликтных ситуаций для них, является одной из главных задач органов УВД.

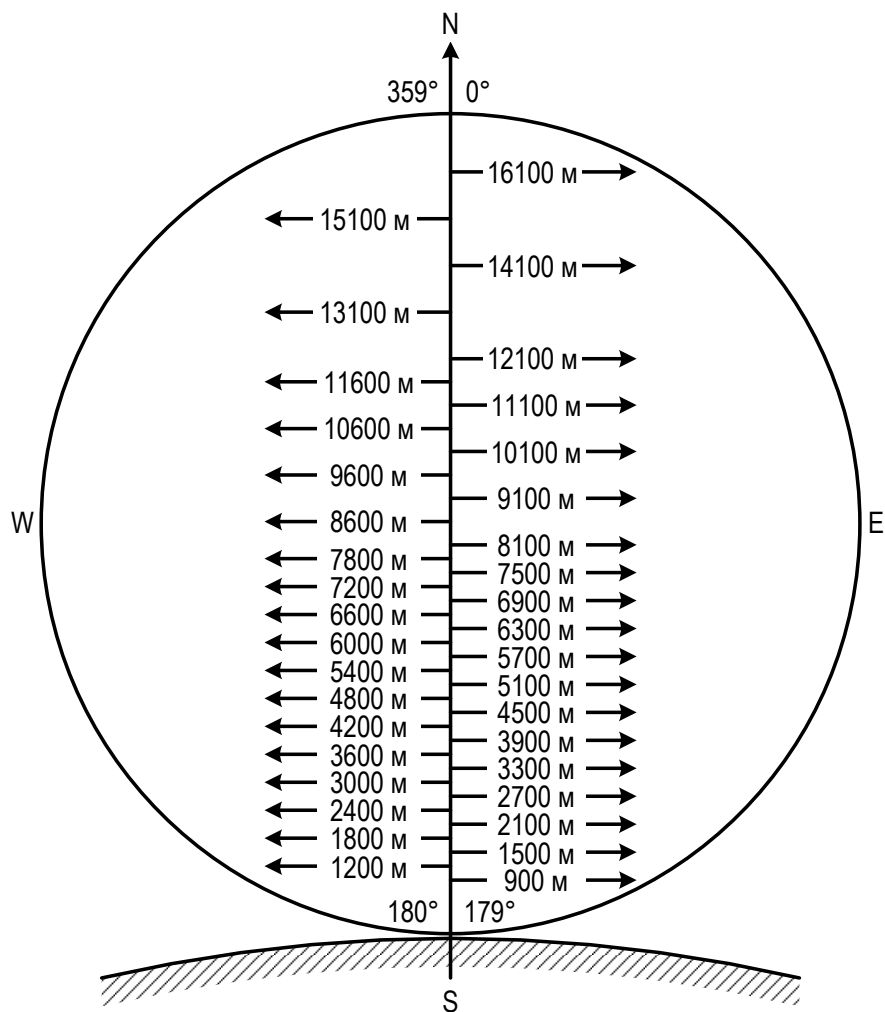


Рисунок 1.1 — Установленные эшелоны полета ВС для курсовых углов восточного и западного направления

Важными понятиями, введенными Федеральными авиационными правилами полетов в воздушном пространстве РФ, являются понятия абсолютной, относительной и истинной высоты полета ВС (рисунок 1.2).

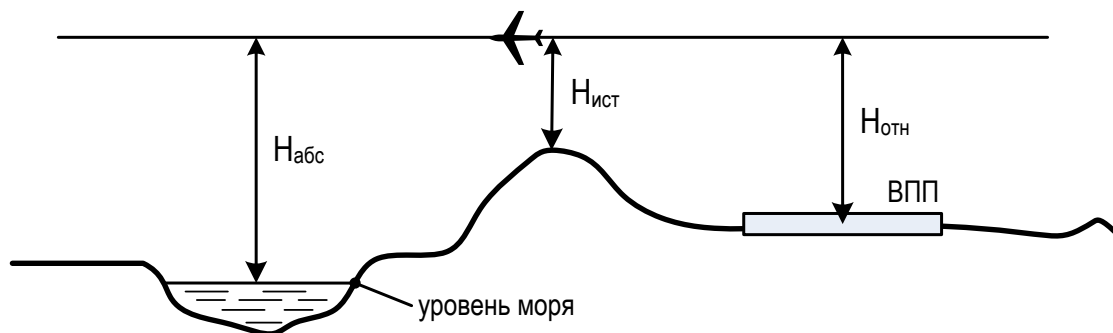


Рисунок 1.2 — Высоты полета воздушного судна:

$H_{абс}$ — высота относительно уровня моря; $H_{ист}$ — высота по вертикали от ВС до точки на поверхности земли; $H_{отн}$ — высота относительно некоторой поверхности, например, относительно взлетно-посадочной полосы (ВПП) аэродрома.

Эшелон перехода — установленный эшелон полета ВС для перевода шкалы давления бортового барометрического высотомера со стандартного давления (760 мм. рт. ст.) на давление в районе аэродрома ($P_{аэ}$).

Эшелонем перехода является эшелон, ближайший к минимально допустимой высоте полета ВС в районе конкретного аэродрома, гарантирующий от столкновения с землей или препятствием с высотой $h_{пр}$ на ней. При этом минимальная допустимая высота полета ВС ($H_{мин.доп}$), выраженная в метрах, определяется по форме:

$$H_{мин.доп} = (760 - P_{аэ}) 11 + h_{пр} + H_{без},$$

где $(760 - P_{аэ}) 11$ — высота (в метрах) аэродрома относительно поверхности со стандартным давлением; $h_{пр}$ — высота (в метрах) препятствия, стоящего на уровне высоты аэродрома; $H_{без}$ — безопасная высота полета ВС (в метрах) над препятствием.

В процессе полета всегда должно выполняться условие $H_{ист} \geq H_{мин.доп}$.

Соблюдение установленных норм бокового и продольного эшелонирования воздушных судов в ВП достигается контролем выполнения экипажами ВС установленных линейных дистанций между ВС или временных интервалов при продольном эшелонировании.

Руководящими документами предусмотрены следующие режимы использования воздушного пространства РФ.

Особый режим ИВП — специальный порядок использования ВП (отдельных его элементов), устанавливаемый директивами ГШ ВС РФ.

Временный режим ИВП — временный порядок использования элементов ВП, устанавливаемый на срок до 3-х суток для осуществления деятельности, требующей специальной организации использования воздушного пространства. Этот режим вводится ГК ВВС (его аппаратом: ЦКП ВВС и ПВО, ГЦ ЕС ОрВД).

Местный режим ИВП — временный порядок использования элементов ВП в том числе на ВТ и МВЛ в нижнем воздушном пространстве зоны (района) ЕС ОрВД, вводимый на срок до трех суток для осуществления деятельности, требующей специальной организации ИВП. Этот режим вводится командованием авиационного объединения (соединения) зоны (района) ЕС ОрВД.

Кратковременное ограничение (КО) — временный порядок использования элементов ВП на срок до трех часов для осуществления деятельности, требующей специальной организации ИВП. Этот режим вводится внутрассовым (военным) сектором зонального (районного) центра ЕС ОрВД.

Федеральными авиационными правилами полетов в воздушном пространстве РФ все многообразие полетов ВС классифицируется следующим образом:

1. По высоте выполнения полетов:

— полеты на предельно малых высотах над рельефом местности или водной поверхностью в диапазоне до 200 м (включительно);

— полеты на малых высотах над рельефом или водной поверхностью в диапазоне выше 200 м и до 1000 м (включительно);

— полеты на средних высотах в диапазоне выше 1000 м и до 4000 м (включительно) от уровня моря;

— полеты на больших высотах в диапазоне выше 4000 м и до 12000 м (включительно) от уровня моря;

— полеты в стратосфере и выше 12000 м от уровня моря.

2. По правилам выполнения полетов:

— по правилам визуальных полетов (ПВП), когда местонахождение ВС определяется по наземным ориентирам, а положение ВС в пространстве — по естественному горизонту (полеты по МВЛ выполняются по ПВП);

— по правилам полета по приборам (ППП), когда местонахождение ВС и его пространственное положение определяется по пилотажным и навигационным приборам.

3. По месту выполнения полетов:

— аэродромные;

— трассовые;

— маршрутные;

— маршрутно-трассовые.

4. По способам пилотирования и самолетовождения:

— полеты с ручным управлением;

— полеты с директорным (полуавтоматическим) управлением;

— полеты с автоматическим (с помощью бортовой САУ) управлением.

5. По метеоусловиям:

— полеты в простых метеоусловиях (ПМУ);

— полеты в сложных метеоусловиях (СМУ);

— в условиях снижения минимума погоды (СМП).

6. По времени суток:

- дневные;
- ночные;
- смешанные.

7. По физико-географическим условиям:

- над равниной и холмистой местностью;
- над пустынной местностью;
- над горной местностью;
- над водной поверхностью;
- в полярных районах.

8. По количеству пролетаемых районов:

- районные;
- зональные;
- межзональные.

Любой полет ВС может соответствовать одному или нескольким пунктам рассмотренной классификации полетов. Каждый из этих пунктов классификации требует соответствующих уровней подготовки экипажей ВС, летно-тактических и тактико-технических характеристик ВС и их пилотажно-навигационного и связного оборудования, уровня аэронавигационного обеспечения района полета.

1.3 Зоны и районы системы УВД авиации РФ

Вся территория РФ и ее ВП разделены на зоны, в пределах границ которых управление воздушным движением осуществляют зональные органы системы УВД.

Зона (район) ЕС ОрВД — воздушное пространство установленных размеров, в пределах которого соответствующие оперативные органы ЕС ОрВД РФ осуществляют свои функции.

Системы УВД зон входят в состав Единой системы организации воздушного движения РФ. Органом управления ВД в зоне является зональный центр (ЗЦ ЕС ОрВД). Границы зон системы УВД совпадают с границами военных округов, в состав командования которых входят авиационные начальники, ответственные за организацию полетов и воздушного движения в воздушном пространстве соответствующих зон.

Перечень и наименование зон и центров управления приведены в руководящих документах по УВД [.....].

Территория и воздушное пространство зон ЕС ОрВД делятся на районы УВД, в которых деятельность по руководству полетами и воздушным движением осуществляется оперативным органом управления — районным центром управления (РЦ) ЕС ОрВД.

Границы районов ЕС ОрВД и их количество в составе зон определяются на основе знания интенсивности воздушного движения, структуры воздушных трасс, числа аэродромов, тактико-технических характеристик (ТТХ) средств наблюдения, навигации и связи. Исходя из этого, в некоторых зонах помимо основных могут существовать и вспомогательные зональные центры (ВЗЦ) управления ЕС ОрВД. Зональные центры управления ВД размещаются в областных городах РФ, а районные центры управления — в крупных аэропортах. Границы района системы УВД определяются также на основе знания дальности обнаружения и сопровождения ВС радиолокационными средствами центра управления, а также дальности радиотелефонной УКВ связи центра управления с экипажами ВС. Эти дальности составляют 350...400 км от центра управления во всех направлениях. В центрах управления, оснащенных автоматизированными системами (АС) УВД, дальности наблюдения и управления ВС составляют тысячу и более километров. Зоны и районы ЕС ОрВД могут включать различные элементы воздушного пространства: аэродромы, воздушные трассы, местные воздушные линии, маршруты полетов ВС, различные зоны и другие элементы (рисунки 1.3, 1.4).

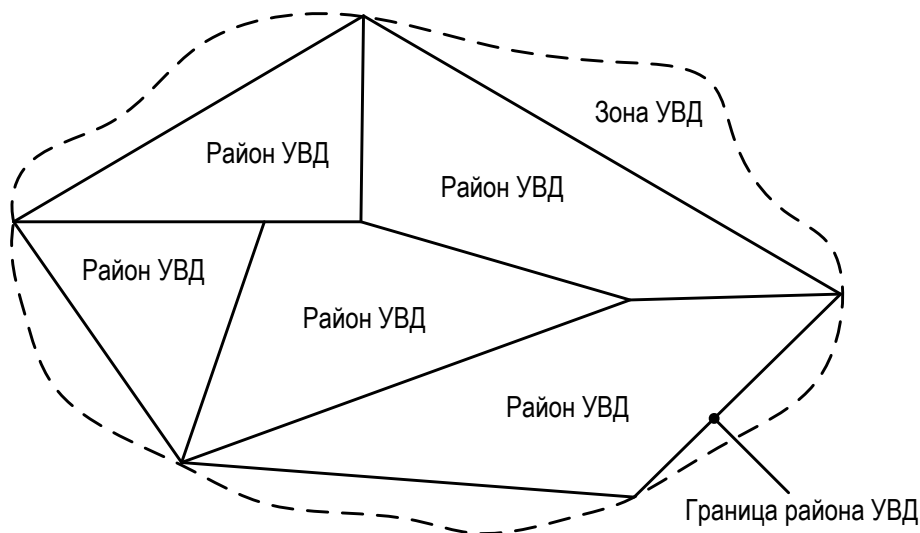


Рисунок 1.3 — Схема зоны УВД

Помимо рассмотренных выше зон и районов в воздушном пространстве страны существуют *запретные* и *опасные* зоны. Воздушное пространство этих зон может быть использовано только специальным разрешением и в определенные периоды времени.

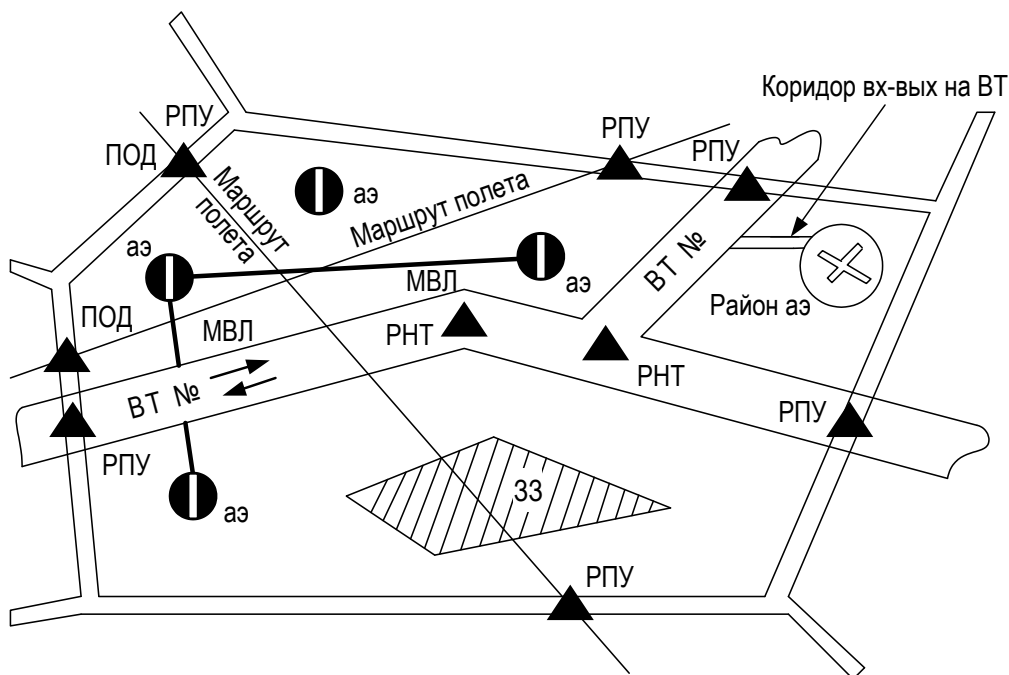


Рисунок 1.4 — Район УВД и его элементы:

ПОД — пункт обязательного донесения экипажа ВС органу управления ВД района системы УВД; РПУ — рубеж передачи управления ВС соседнему району системы УВД; ВТ № — воздушная трасса №; РНТ — радионавигационная точка; аэ — аэродром; 33 — запретная зона; МВЛ — местная воздушная линия.

Запретная зона — часть ВП установленных размеров, в пределах которой ИВП без специального разрешения запрещено.

Опасная зона — часть ВП установленных размеров, в пределах которой в определенные периоды времени может осуществляться деятельность, представляющая угрозу безопасности полетов ВС.

В настоящее время осуществляется реорганизация структуры воздушного пространства РФ и центров УВД, связанная с постепенным сокращением числа районов в составе существующих зон за счет укрупнения районов, а также с образованием дополнительных укрупненных районов с центрами УВД с функциями и задачами зональных центров.

1.4 Аэродромное воздушное пространство, траектории движения воздушных судов в аэродромном воздушном пространстве, бортовые и наземные аэронавигационные средства

Аэродромное воздушное пространство (ВП аэродрома, район аэродрома) — представляет собой часть воздушного пространства установленных размеров, предназначенная для организации и выполнения аэродромных полетов. Границы аэродромного ВП определяются летно-тактическими характеристиками ВС, тактико-техническими характеристиками радиотехнических

средств навигации и посадки, схемами предпосадочного маневра, географическими условиями, близостью других элементов ВП. Как правило, радиус аэродромной зоны составляет 100...150 км, верхняя граница находится в пределах 4500...6500 м. Район аэродрома гражданской авиации включает в себя: собственно аэродром, зоны взлета и посадки, зоны ожидания, коридоры входа и выхода ВС на воздушные трассы, пилотажные зоны. Рассмотрим некоторые наиболее важные понятия, связанные с понятием аэродромного ВП.

Аэроузлом называют совокупность близко расположенных аэродромов, организация и выполнение полетов с которых требуют специального согласования и координирования.

Аэроузловое воздушное пространство представляет собой объединение воздушных пространств аэродромов, входящих в состав аэроузла. Это ВП имеет общую внешнюю границу, образованную ВП аэродромов, входящих в аэродромный узел. Ввиду относительной близости контрольных точек аэродромов (КТА) узла и пересечения их воздушных пространств, организация ВД и управления ВС в аэроузловом ВП требует тщательной согласованности и координации.

Зоной ожидания называется воздушное пространство, предназначенное для ожидания воздушными судами разрешения на посадку. Она располагается над контрольной точкой аэродрома, которой может быть дальний приводной радиомаяк (ДПРМ) или ближний приводной радиомаяк (БПРМ), а также над характерным ориентиром, удаленным от аэродрома на 30...50 км. Эшелоны в зоне ожидания являются ближайшими к минимальной безопасной высоте и отстоят один от другого на 300 м по высоте.

Коридоры выхода и входа ВС на воздушные трассы представляют собой часть ВП района аэродрома для набора и снижения высоты ВС. Ширина коридора 8...10 км. Могут быть отдельно организованы входные и выходные коридоры или один коридор для входа и выхода ВС.

Район аэродрома государственной и экспериментальной авиации с его элементами приведен на рисунке 1.5 и включает в себя:

— зону визуального контроля (ЗВК), включающую летное поле и воздушное пространство в пределах фактической видимости руководителя полетов и его помощников. Радиус зоны составляет 5 км от КТА;

— ближнюю зону (БЗ), образуемую воздушным пространством с радиусом до 75 км от КТА, исключая зону визуального контроля, зону взлета и посадки. В ближнюю зону входят пилотажные зоны, круг полетов, зона ожидания;

— дальнюю зону (ДЗ), образуемую воздушным пространством с радиу-

сом от 75 км от КТА до границы аэродромного ВП. К дальней зоне примыкают маршруты (коридоры) входа и выхода ВС в район (из района) аэродрома;

— зону взлета и посадки, образуемую воздушным пространством, ограниченным сектором $\pm 25^\circ$ от оси ВПП и дальностью до 60 км, а по высоте — до высоты второго безопасного эшелона для маневрирования ВС при взлете и посадке;

— маршруты входа и выхода ВС имеют то же назначение, что и коридоры входа и выхода.

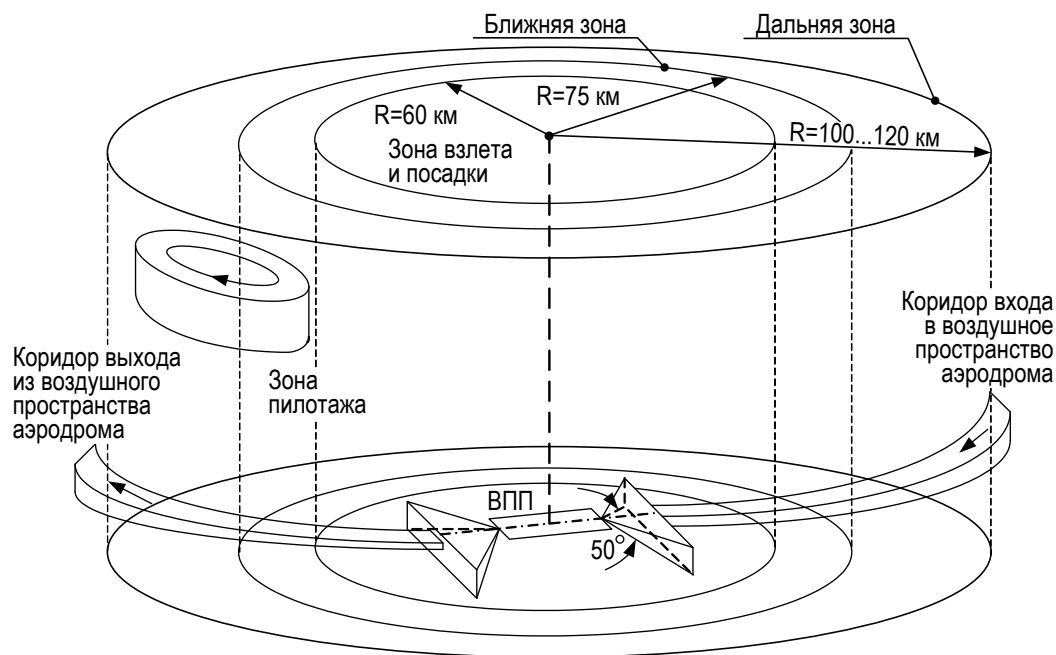


Рисунок 1.5 — Схема района аэродрома государственной авиации

Аэродромный круг полетов представляет собой установленный маршрут в районе аэродрома (схема полета) для набора высоты после взлета, для ожидания посадки, для снижения с заходом на посадку и выхода на предпосадочную прямую. Как правило высота аэродромного круга равняется 400...600 м от уровня ВПП.

Давление на уровне аэродрома определяется атмосферным давлением на уровне ВПП, которое в зависимости от местоположения аэродрома может быть выше или ниже стандартного давления, то есть давления 760 мм рт.ст.

Высота перехода представляет собой установленную в районе каждого аэродрома высоту полета ВС, на которой шкала давления барометрического высотомера устанавливается с давления данного аэродрома на давление 760 мм рт.ст. для набора заданного эшелона полета.

Минимум командира (экипажа) ВС определяет для каждого командира ВС минимально допустимое значение видимости на ВПП и высоты нижней

границы облаков (ВНГО), при которых ему разрешается выполнять взлет и посадку на воздушном судне конкретного типа.

Минимум воздушного судна определяет для каждого типа ВС минимально допустимое значение видимости на ВПП и ВНГО, позволяющее безопасно выполнять взлет и посадку ВС данного типа.

Минимум аэродрома определяет для каждого аэродрома и каждого типа ВС минимально допустимое значение видимости на ВПП и ВНГО, при которых разрешается воздушному судну данного типа выполнять взлет и посадку на данном аэродроме.

По посадочному минимуму аэродромы классифицируются следующим образом:

— аэродромы 1 категории обеспечивают посадку ВС при видимости ВПП с высоты не менее 60 м и на дальности не менее 800 м;

— аэродромы 2 категории обеспечивают посадку ВС при видимости ВПП с высоты не менее 30 м и на дальности не менее 400 м;

— аэродромы категории 3А обеспечивают посадку ВС при нулевой видимости ВПП и при визуальной видимости ориентиров менее 200 м;

— аэродромы категории 3В обеспечивают посадку ВС при нулевой видимости ВПП и при визуальной видимости ориентиров менее 50 м;

— аэродромы категории 3С обеспечивают посадку ВС при нулевой видимости ВПП и любых других ориентиров.

Категория аэродрома отражает ТТХ его радиотехнических средств навигации и посадки, летно-тактические характеристики ВС, ТТХ бортовых пилотажно-навигационных комплексов и показатели подготовленности экипажей ВС, которые могут его использовать.

Полеты ВС в аэродромном ВП являются для экипажей и аэродромных органов управления самыми сложными и напряженными. Для экипажа ВС сложность состоит в том, что при посадке необходимо выполнять интенсивные предпосадочные маневры с заданными параметрами снижения и выхода на ВПП в относительно небольшом ограниченном воздушном пространстве, слушая и выполняя команды диспетчеров. Для органа управления полетами и воздушным движением в районе аэродрома, задающего параметры предпосадочных маневров, линейные и временные интервалы между ВС и контролирующего правильность выполнения своих команд экипажами, сложность и напряженность действий и операций определяются интенсивностью потока ВС на посадке, необходимостью с высокой точностью и быстротой определять параметры требуемых маневров, обеспечивая при этом безопасность

воздушного движения. С целью недопущения ошибок при посадке и ухода на повторный круг, а также для обеспечения безопасности полетов и экономии топлива и ресурсов ВС запрещено произвольное прибытие и заход на посадку не только групп, но и одиночных ВС.

Аналогичные трудности имеются у экипажей ВС и органов управления при взлете ВС и выходе их из района аэродрома.

Аэродромы на территории РФ размещаются в различных физико-географических условиях, которые обязательно учитываются и отражаются в «Инструкции по производству полетов в аэродромной зоне» или в «Аэронавигационном паспорте аэродрома» для каждого конкретного аэродрома. В указанных документах представлены стандартные траектории (схемы, маршруты) полета ВС. Если таких документов нет, то полеты ВС в ВП этого аэродрома запрещены.

Стандартные траектории (схемы, маршруты) представляют собой заранее разработанный штурманскими службами аэродрома набор бесконфликтных пространственных траекторий, рассчитанных по нормам вертикального, бокового и продольного эшелонирования ВС. Для продольного эшелонирования ВС нормой является также время. Каждая пространственная траектории изображается схемой движения ВС в плане и профилем полета. Стандартные траектории в аэродромном ВП строятся относительно ДПРМ. Экипажи ВС, контролируя время полета и курсовой угол радиостанции (КУР) на ДПРМ по бортовому автоматическому радиоконпасу (АРК), выполняют полет по выбранной стандартной траектории. Вывод ВС в аэродромное ВП осуществляется как с помощью ДПРМ (БПРМ), так и с помощью РСБН аэродрома.

Типовыми стандартными траекториями захода и выполнения ВС посадки являются:

1. *Посадка по кратчайшему расстоянию от точки начала снижения (ТНС) до точки горизонтального полета (ТГП) на предпосадочной прямой.* К этому способу посадки относятся: «Посадка по прямой с расчетного рубежа снижения», «Посадка по схеме: разворот — прямая — разворот», «Посадка по прямой с разворотом на расчетный угол».

Посадка по кратчайшему расстоянию является самым экономичным способом и применяется для всех ВС (маневренных и тяжелых), когда направление подхода к аэродрому совпадает с направлением посадки или отличается от него в точке горизонтального полета на угол не более 45° , а также, когда рельеф местности и воздушная обстановка позволяют снижаться с маршрута при пилотировании ВС по правилам визуального полета или поле-

та по приборам на высоту горизонтального полета в ТГП на расстоянии 25...30 км до ВПП. Стандартные схемы посадки ВС «с прямой» и «с отворотом на расчетный угол» приведены на рисунке 1.6. Посадка по схеме «разворот — прямая — разворот» при движении ВС от точки входа в ВП аэродрома до точки начала снижения или от точки входа до точки горизонтального полета со снижением является самой оптимальной, но в набор стандартных траекторий не входит.

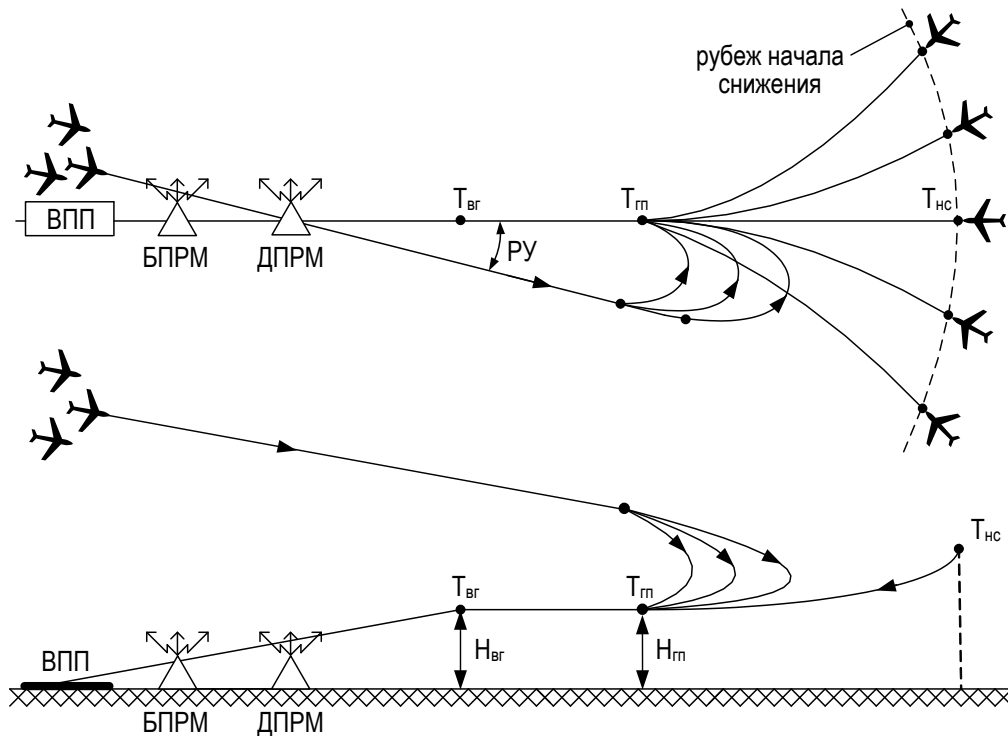


Рисунок 1.6 — Схемы посадки ВС с прямой и отворотом на расчетный угол

2. *Посадка по малому прямоугольному маршруту* («по малой коробочке») выполняется, когда в районе аэродрома нет ВС, препятствующих подходу к аэродрому со снижением, или когда невозможен заход на посадку «с прямой». После выхода на ДПРМ воздушное судно делает маневры со снижением, чтобы выйти после четвертого разворота в ТГП. Схема посадки по малому прямоугольному маршруту приведена на рисунке 1.7.

3. *Посадка по большому прямоугольному маршруту* («по большой коробочке») выполняется, когда выход к аэродрому ограничен высотой подхода по условиям рельефа местности, интенсивностью ВД и метеоусловиями. Такая схема типична для тяжелых ВС. По такой схеме ВС выходит на аэродром с курсом, близким к посадочному, после прохода ДПРМ через определенное время разворачивается на угол 180° , делая первый и второй развороты со снижением, и двигается в обратном направлении со снижением и гашением скорости, выполняет третий и четвертый развороты и выходит с посадоч-

ным курсом в ТПП. Схема посадки по большому прямоугольному маршруту приведена на рисунке 1.8.

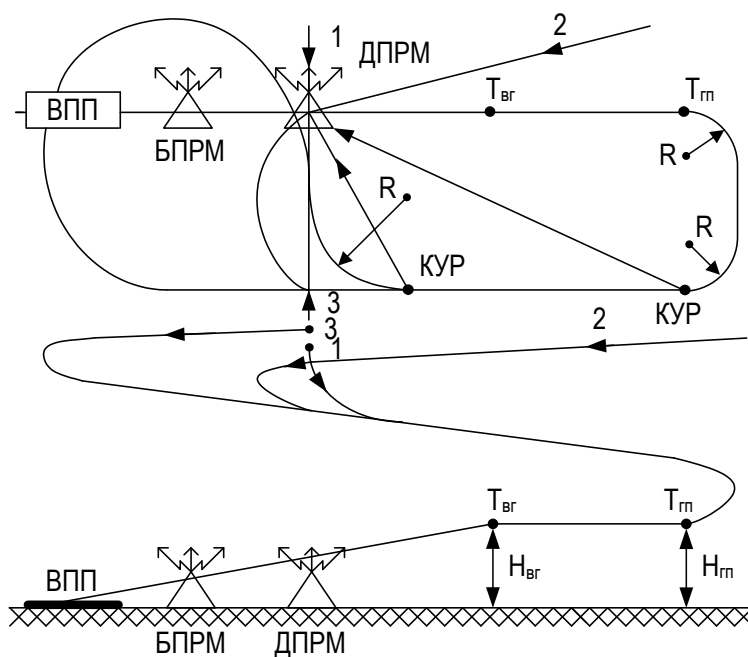


Рисунок 1.7 — Схема посадки по малому прямоугольному маршруту

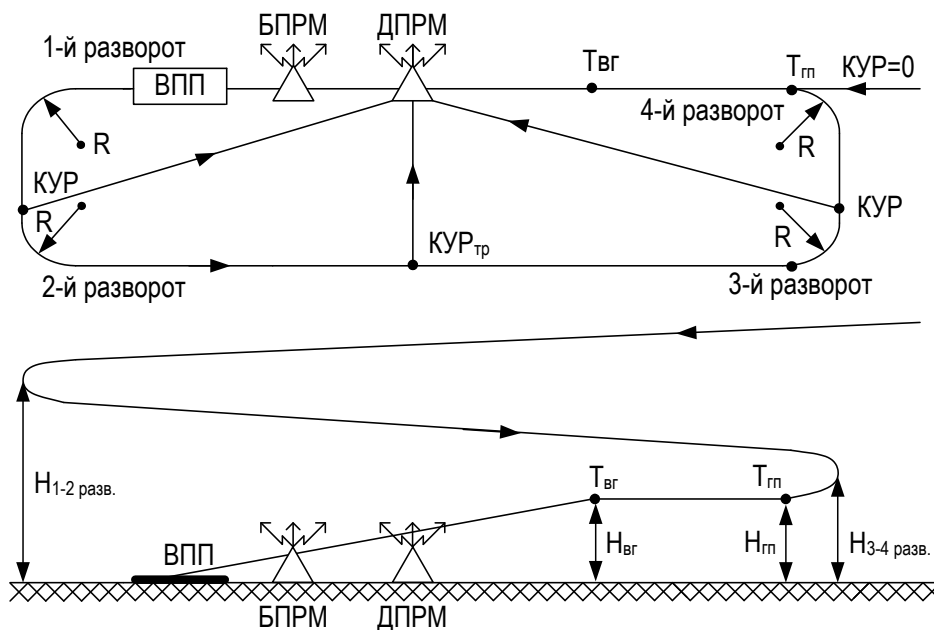


Рисунок 1.8 — Схема посадки по большому прямоугольному маршруту

Нормы продольного эшелонирования ВС в зоне подхода к аэродрому при выполнении полетов по приборам и наличии радиолокационного контроля должны быть не менее 20 км. При оснащении органа управления аэродрома АСУ П и ВД продольное эшелонирование должно быть не менее 10 км. При выполнении воздушным судном маневра захода на посадку — не менее 5 км.

При полетах по приборам в условиях отсутствия радиолокационного контроля временные нормы между воздушными судами в зоне подхода должны быть не менее 10 мин, а при заходе на посадку — 3 мин.

Типовыми стандартными траекториями (схемами) взлета и выхода ВС из воздушного пространства аэродрома являются:

— взлет и выход ВС из ВП аэродрома по кратчайшему расстоянию до коридора (маршрута) выхода с углом отклонения от магнитного курса взлета (МКВ) не более $\pm 45^\circ$ в любую сторону;

— взлет, полет по аэродромному кругу и набор высоты от траверза ДПРМ (когда ДПРМ будет находиться справа или слева от взлетающего ВС).

Схемы набора высоты при взлете ВС приведены на рисунке 1.9.

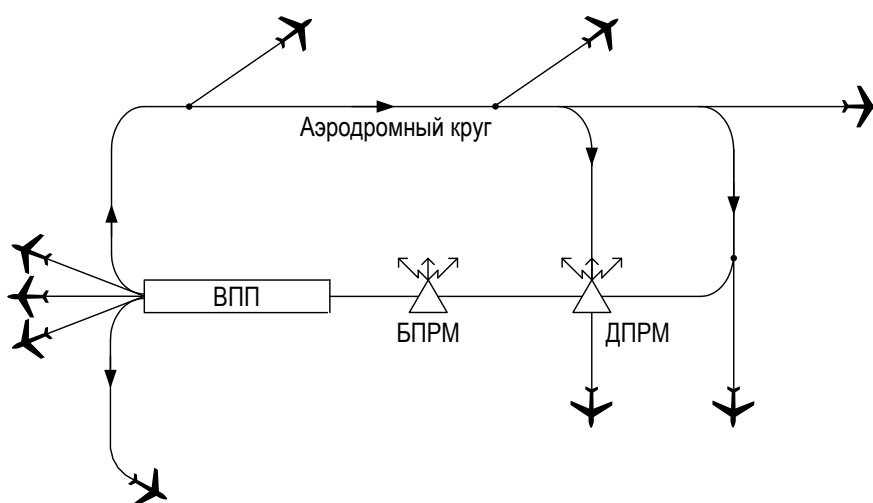


Рисунок 1.9 — Схема набора высоты

Маршруты набора высоты, снижения и захода на посадку должны быть удалены друг от друга и от границ воздушных трасс при наличии радиолокационного контроля не менее чем на 10 км, а при отсутствии радиолокационного контроля — не менее чем на 20 км.

Основными аэронавигационными средствами на земле и на борту ВС при выполнении полетов в аэродромном ВП являются приводные радиостанции с радиокompасами и РСБН с наземными и бортовыми комплектами аппаратуры.

1.5 Внеаэродромное воздушное пространство и его элементы

Внеаэродромное ВП в соответствии со своим названием предназначено для выполнения задач всеми видами авиации РФ в элементах ВП, не относящихся к воздушному пространству аэродромов. Другими словами, внеаэродромное ВП включает все элементы структуры ВП РФ, за исключением аэро-

дромного. Использование внеаэродромного ВП регламентируется специальными документами и поддерживается соответствующими видами обеспечения.

Воздушной трассой (ВТ) называется часть ВП, ограниченная по высоте и ширине, предназначенная для регулярных полетов ВС, обеспеченная аэродромами и оборудованная средствами радиотехнического контроля и УВД. Воздушная трасса включает в себя элементы верхнего и нижнего воздушного пространства. В горизонтальной плоскости ВТ представляет собой коридор шириной 10 км при наличии радиолокационного контроля ВП и 20 км — при его отсутствии. Воздушные трассы РФ имеют буквенно-цифровое обозначение и состоят из ортодромических участков длиной от нескольких десятков до нескольких сотен километров. Поскольку движение ВС по участкам ВТ производится по принципу «от — на», то максимальная длина участка определяется достаточным для надежного самолетовождения уровнем радиосигнала, принимаемого оборудованием бортового АРК от приводной радиостанции на конце участка. Точки начала и конца участков связаны с поворотными пунктами маршрутов (ППМ), в которых образуются как бы «пучки» входящих и выходящих под разными путевыми углами участков ВТ. Точками схождения (расхождения) участков ВТ могут служить также приводные радиостанции аэродромов, входящие в ДПРМ, отдельные приводные радиостанции вне аэродромов (ОПРС), а также пункты обязательных донесений (ПОД) экипажей ВС наземным пунктам управления ВД. Воздушные трассы в плане можно представлять как поименованные «дороги», а в разрезе — как «слоеный пирог», в котором слоями являются эшелоны для полетов ВС.

При полете ВС по воздушным трассам на одном эшелоне и в одном направлении предусмотрены следующие нормы продольного эшелонирования: при наличии радиолокационного контроля дистанция между двумя соседними ВС должна быть не менее 30 км, при отсутствии радиолокационного контроля — не менее 10 мин. При полете ВС на одном эшелоне и на пересекающихся воздушных трассах расстояние между ними в момент пересечения одним ВС маршрута другого должно быть при наличии радиолокационного контроля не менее 40 км, при отсутствии радиолокационного контроля — не менее 15 мин. При пересечении ВС встречного эшелона по причине снижения или набора высоты расстояния между ВС в момент пересечения должны быть при наличии радиолокационного контроля не менее 30 км или не менее 60 км при различных вертикальных скоростях, при отсутствии радиолокационного контроля — не менее 10 мин.

При пересечении ВС попутных эшелонов расстояние между ними должно быть не менее 20 км или не менее 10 мин. При движении по маршру-

ту вне ВТ эти нормы сохраняются.

Спряmlенная воздушная трасса (СВТ) представляет собой воздушную трассу, в которой реализован метод «зональной навигации», позволяющий определять местоположение ВС и выдерживать заданный маршрут полета с помощью бортовой навигационной системы и наземных радиотехнических средств, то есть осуществлять полет, минуя промежуточные участки, без использования принципа полета «от — на». Спряmlенные воздушные трассы имеют буквенно-цифровое обозначение, бóльшую протяженность по сравнению с участками обычных ВТ и позволяют экономить время в полете и ресурс воздушных судов.

Местная воздушная линия (МВЛ) представляет собой участок ВП ограниченный по ширине и высоте и предназначенный для полета ВС по ПВП на высотах ниже нижнего эшелона с учетом рельефа местности. Ширина МВЛ не более 4 км, высоты полета ВС отстоят от нижнего эшелона на 300 м, такое же расстояние между встречными направлениями полетов ВС на участках маршрута. МВЛ от аэродрома вылета и до аэродрома назначения состоят из прямолинейных участков, сходящихся и расходящихся в ППМ, которыми являются населенные пункты или характерные (заметные) ориентиры. МВЛ имеют буквенно-цифровое обозначение.

Маршрут полет ВС (МП) представляет собой траекторию полета вне ВТ и МВЛ от аэродрома вылета до аэродрома назначения с возможными промежуточными посадками. МП состоят из ортодромических участков (прямолинейных участков в плане) различной протяженности, меняющих направление в ППМ. Ширина маршрута в зависимости от высоты полета может оставлять от 20 до 50 км. При полетах над морем и безориентирной местностью — до 50 км.

Запрещенные, опасные, специальные и другие зоны представляют собой ВП ограниченных размеров по высоте и площади, полеты в которых и над которыми запрещены вообще или ограничены по времени и высоте с целью обеспечения безопасности ВС и наземных объектов. Границы этих зон на земле обозначены географическими координатами. Зоны должны быть удалены от других элементов ВП не мене, чем на 10 км.

Контрольные вопросы

1. Назовите виды и предназначение авиации Российской Федерации.
2. Назовите основные руководящие документы, регламентирующие деятельность органов управления полетами и воздушным движением.
3. Дайте определение понятиям «летательный аппарат», «воздушное

судно», «воздушное пространство РФ» и «ограничения на использование воздушного пространства РФ».

4. Назовите элементы, составляющие воздушное пространство РФ.

5. Дайте определение понятиям «эшелон полета». «эшелонирование ВС», «вертикальное эшелонирование ВС».

6. Перечислите виды полетов ВС и поясните условия каждого пункта классификации.

7. Дайте определение понятиям «зоны и районы ЕС ОрВД» и укажите элементы инфраструктуры ВП, входящие в зоны и районы.

8. Назовите элементы аэродромного ВП государственной и гражданской авиации и их характеристики.

9. Назовите категории аэродромов и их характеристики.

10. Перечислите виды стандартных траекторий ВС в аэродромном ВП при выполнении посадки и взлета.

11. Назовите элементы внеаэродромного ВП и их характеристики.

ГЛАВА 2 СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТАМИ И ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

2.1 Цели, содержание управления и состав систем управления полетами и воздушным движением. Классификация систем управления

Управление представляет собой целенаправленное воздействие на какой-либо объект в процессе выполнения объектом некоторой задачи. Объектами управления могут быть коллективы людей с приданной им техникой или без нее, сложные технические или транспортные системы, предприятия промышленности, а также войска (силы).

Управление войсками (силами) есть целенаправленная деятельность командований, штабов и различных служб по поддержанию боевой готовности войск, по подготовке и ведению боевых действий с целью выполнения поставленных боевых задач в заданные сроки с наименьшими потерями.

Любая система управления всегда включает четыре основных элемента: объект управления, орган управления, прямую связь между органом и объектом управления и обратную связь между органом и объектом управления.

Отсутствие или утрата хотя бы одного из указанных элементов означает отсутствие управления как понятия и собственно системы управления.

Управление полетами воздушных судов представляет собой деятельность органов и пунктов управления государственной и экспериментальной авиации по управлению ВС в ВП аэродромов, полигонов, пилотажных зон и включает в себя деятельность командиров авиационных частей (подразделений), штабов, расчетов пунктов управления и различных служб по организации полетов, их радиосветотехническому обеспечению, непосредственному управлению и контролю выполнения установленных заданий и упражнений.

Цель управления полетами воздушных судов состоит в обеспечении выполнения их экипажами полетных заданий в соответствии с плановой таблицей полетов, предусматривающей порядок и время выполнения заданий с учетом безопасного выполнения всех этапов полета.

Управление воздушным движением представляет собой деятельность органов управления ВС на воздушных трассах, местных воздушных линиях и маршрутах полета, а применительно к ВС гражданской авиации — по управлению ВС и на площади маневрирования аэродромов и определяется как деятельность органов УВД по организации и аэронавигационному обеспечению

воздушного движения, по контролю за выполнением ВС планов и режимов полета и непосредственному управлению ВД.

Цель управления воздушным движением состоит в максимальном удовлетворении потребностей пользователей ВП в безопасном выполнении ими своих задач (планов полета, полетных заданий) путем эффективного использования воздушного пространства и высокого качества управления.

Воздушные суда в силу своего предназначения являются объектами управления как на земле, так и в воздухе. А органы управления их движением вместе с прямыми и обратными связями в настоящее время представляют собой организационно-технические системы, элементами которых являются оперативный и технический персонал с приданными средствами управления, а также разнородные и объединенные в единую систему территориально разнесенные средства и комплексы. Так, например, организационно-технические системы управления воинскими формированиями и силами включают в себя: органы управления, пункты управления и средства управления.

Органы управления представляют собой группы специально подготовленных должностных лиц для управления воинскими формированиями, системами вооружения и другими объектами.

Пункты управления представляют собой специально оборудованные и оснащенные техническими средствами и системами места (помещения, здания) для размещения рабочих мест должностных лиц органов управления. К пунктам управления авиацией относятся: пункты наведения и командные пункты, радиолокационные посты, командно-диспетчерские пункты, центры сбора и обработки радиолокационной информации и другие.

Средства управления представляются разнообразными техническими средствами, предназначенными для сбора, обработки, накопления, передачи и отображения информации для оценки обстановки, формирования и передачи команд управления (радиолокационные станции, радиостанции, ЭВМ, средства связи и навигации и т.д.).

Организационно-техническая система управления воздушным движением аналогично системе управления воинскими формированиями включает в свой состав: органы управления, пункты управления и средства управления.

Системы управления полетами и воздушным движением реализуют цели и задачи управления, состоящие в следующем:

1. Предоставление пользователям в соответствии с их заявками и приоритетами необходимого воздушного пространства для выполнения своих за-

дач с учетом воздушной и наземной обстановки и введенных ограничений на ИВП.

2. Обеспечение взлетающим и взлетевшим воздушным судам безопасного полета путем:

- предупреждения столкновений ВС в воздухе;
- предупреждения столкновений ВС с наземными препятствиями и землей;
- обеспечения экипажей ВС и органов управления полетами информацией для безопасного выполнения полетов (о метеоусловиях, об опасных и закрытых зонах и др.).

3. Установление и поддержание порядка при использовании ВП путем решения задач, обеспечивающих:

- снятие пиковых нагрузок с руководителей и диспетчеров в их зонах ответственности;
- исключение полетов в зонах ожидания, повторных заходов на посадку, отправку ВС на другие аэродромы.

4. Обеспечение экономичности полетов и воздушного движения за счет разработки оптимальных маршрутов и траекторий движения ВС.

Достижение указанных целей в системах управления полетами и воздушным движением непосредственно связано с решением следующих четырех комплексов задач управления:

- планирование полетов и ВД органами управления по месту, времени и пространству с учетом установленных норм безопасности;
- доведение планов полетов ВС до взаимодействующих и обеспечивающих полеты и воздушное движение органов и служб;
- формирование и доведение подтверждений органами и службами управления о взятии (принятии) на обеспечение заявленных полетов;
- непосредственное (оперативное) управление воздушными судами на всех этапах полета от взлета до посадки путем передачи экипажам ВС команд и данных, связанных с контролем полета, изменением обстановки, а также передачей ответов на запросы и сообщений с борта ВС.

Состав систем управления авиацией в аэродромном и во внеаэродромном воздушном пространстве рассматривается в пунктах 2.2 и 2.3 этой главы.

Системы управления полетами и воздушным движением классифицируют следующим образом:

а) по предназначению и масштабу решаемых задач различают:

— системы УВД федерального уровня, к которым относятся Единая система организации воздушного движения (ЕС ОрВД) и Военная федеральная стационарно-мобильная система организации воздушного движения РФ «Небосвод»;

— системы УВД регионального уровня, к которым относятся зональные системы УВД;

— системы УВД районного уровня, к которым относятся системы районов УВД;

— аэроузловые и аэродромные системы управления П и ВД.

б) по величине ВП, находящегося под контролем и управлением наземных оперативных органов, различают:

— зональные системы УВД, в том числе системы УВД с правом непосредственного управления ВС и ВД (контролируемая наземная территория составляет примерно 1000 км × 1000 км);

— районные (трассовые) системы УВД (радиус наземной круговой зоны контроля находится в пределах 400...500км);

— аэроузловые системы УВД (радиус наземной круговой зоны контроля находится в пределах 200...250км);

— аэродромные системы управления П и ВД (радиус наземной круговой зоны контроля находится в пределах до 150 км).

в) по степени автоматизации решения задач УВД различают:

— неавтоматизированные системы управления (НС УВД);

— системы УВД малой или частичной автоматизации (МА УВД);

— автоматизированные системы с различным уровнем автоматизации (АС УВД).

В настоящее время, как уже отмечалось выше, осуществляется реорганизация структуры воздушного пространства РФ путем укрупнения и сокращения числа районов ЕС ОрВД. Предполагается вместо 100 существовавших ранее районов создать 13 укрупненных, имеющих центры управления зонального типа с правом непосредственного управления воздушным движением.

2.2 Системы управления полетами и воздушным движением в аэродромном воздушном пространстве

Системы управления полетами в аэродромном воздушном пространстве государственной и экспериментальной авиации и системы управления воздушным движением в аэродромном воздушном пространстве гражданской авиации, как уже отмечалось, структурно состоят из трех взаимосвязанных частей: органов управления, органов оперативного управления (пунктов управления различного назначения) и средств управления (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 — Состав системы управления полетами и воздушным движением в аэродромном воздушном пространстве

Органами управления являются штабы частей и подразделений государственной и экспериментальной авиации, группы планирования диспетчерских центров и пунктов гражданской авиации, которые занимаются планированием полетов и перелетов ВС, перевозкой пассажиров и грузов на основании планов боевой подготовки, распоряжений и расписаний, функционирующие не в реальном масштабе времени.

Органами оперативного управления воздушными судами в аэродромном воздушном пространстве являются командно-диспетчерские пункты (КДП) с группой руководства полетами (ГРП) на аэродромах государственной и экспериментальной авиации и КДП с группой диспетчеров на аэродромах гражданской авиации, стартовые командные пункты (СКП). Задача этих пунктов управления состоит в контроле наземной и воздушной обстановки, в выдаче экипажам ВС разрешения на взлет, посадку и команд на ожидание посадки. К органам оперативного управления государственной и экспери-

ментальной авиации относятся также командные и запасные командные пункты (КП, ЗКП) для управления ВС в процессе боевой подготовки и выполнения экспериментальных и специальных задач.

Средствами современных систем управления полетами и воздушным движением в районе аэродрома являются:

а) светосигнальные средства, дублирующие средства радиотехнического оборудования аэродрома: посадочные знаки, сигнальные огни и ракеты;

б) радиотехнические средства навигации и посадки:

— приводные аэродромные радиостанции (ПАР);

— автоматические радиопеленгаторы (АРП);

— радиотехническая система ближней навигации (РСБН);

— азимутально-дальномерный радиомаяк VOR/DME;

— посадочная радиомаячная группа (ПРМГ);

в) радиолокационные средства наблюдения ВП и посадки:

— аэродромные радиолокационные станции (РЛС);

— посадочные радиолокаторы (ПРЛ);

— радиолокационные системы посадки (РСП);

— метеорологические РЛС (МРЛС);

г) средства воздушной радиосвязи УКВ-диапазона;

д) средства наземной связи:

— проводные средства связи;

— радиостанции КВ-диапазона;

е) комплексы средств автоматизации (КСА) командных пунктов (КП), командно-диспетчерских пунктов (КДП), диспетчерских центров (ДЦ) и пунктов (ДП);

ж) специальные средства и системы.

Аэродромные системы управления в своем развитии прошли путь от простых неавтоматизированных систем до автоматизированных систем, обеспечивающих обслуживание значительных по интенсивности потоков прибывающих и убывающих воздушных судов.

Неавтоматизированные системы управления включали в свой состав радиолокационную позицию, КДП с выносными индикаторами РЛС для диспетчеров подхода, круга и посадки, приемно-передающий центр радиотеле-

фонной УКВ связи с экипажами ВС; средства внутренней и внешней связи, радиотехнические средства навигации и посадки. Местоположение ВС в воздушном пространстве определялось по радиолокационной отметке на фоне азимутально-дальномерной сетки на индикаторах РЛС. Автоматическое сопровождение ВС не осуществлялось и полетная информация о них на диспетчерских индикаторах не отображалась. В настоящее время таких систем уже не существует. На смену им в конце 60-х годов прошлого века пришли аэродромные системы управления малой или частичной автоматизации (МАСУВД). Эти системы обслуживали и обслуживают зоны ВП с малой и средней интенсивностью воздушного движения, автоматизируя простые многократно повторяющиеся операции по сбору, обработке и отображению радиолокационной информации. В состав средств наблюдения этих систем входят РЛС, работающие на принципах первичной и вторичной радиолокации, а также автоматические радиопеленгаторы (АРП). С помощью аппаратуры первичной обработки информации (АПОИ) определяются координаты воздушных судов и формируется полетная информация о них. Эти данные с помощью аппаратуры передачи данных (АПД) передаются на аппаратуру отображения воздушной и наземной обстановки КДП. На устройствах отображения рабочих мест диспетчеров кроме координатной и полетной информации может представляться также другая дополнительная, но ограниченная по объему информация, например, списки прилетающих и вылетающих ВС. Аппаратура отображения «Знак», «Символ-Д», «Строка-Б», «Страница», применяемая на КДП, может быть как телевизионного, так и радиолокационного типа.

Характерной особенностью МАСУВД является возможность проведения операций автозахвата, автосопровождения и выдачи отметок целей с формулярами сопровождения. Формуляры с полетной информацией о ВС размещаются вблизи отметок целей и соединены с отметками векторами-указателями. Такими системами стали оснащаться КДП аэропортов в 80-х годах прошлого века. Структурно-функциональная схема МАСУВД в аэродромном воздушном пространстве гражданской авиации приведена на рисунке 2.2.

На радиолокационной позиции размещаются аэродромная первичная РЛС (ПРЛС), вторичная РЛС или вторичный радиолокатор (ВРЛ), автоматический радиопеленгатор (АРП). Местоположение ВС определяется обеими РЛС в полярной системе координат в виде наклонной дальности до ВС и азимута на ВС относительно северного направления истинного меридиана радиолокационной позиции. Дальность обнаружения ВС аэродромными ПРЛС составляет 100...200 км, а ВРЛ до 400 км за счет активной радиолокации. На радиолокационной позиции размещается также аппаратура первич-

ной обработки информации (АПОИ), которая выполняет цифровое преобразование полярных координат ВС в прямоугольную систему координат, формирование кодограмм, содержащих координатную, полетную и пеленговую информацию о ВС, передачу посредством АПД на соответствующие рабочие места диспетчеров.

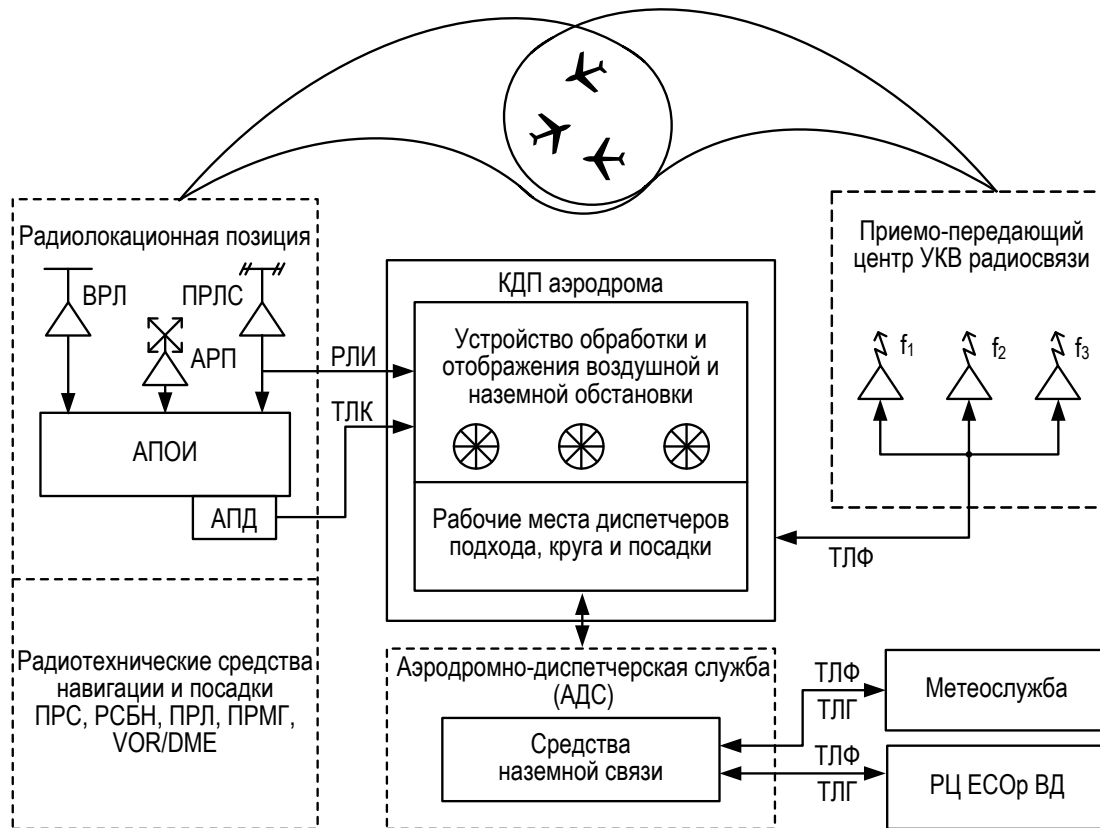


Рисунок 2.2 — Структурно-функциональная схема МАСУВД в воздушном пространстве аэродрома гражданской авиации

Радиолокационная позиция, как правило, удалена от КДП на 150...200 м. Поступающая на устройство обработки и отображения первичная координатная информация о ВС подвергается вторичной обработке с целью реализации режима автосопровождения ВС. Количество ВС, находящихся на автосопровождении в зависимости от типа аппаратуры обработки и отображения, находится в пределах 15...20 единиц. В общем случае на экранах рабочих мест диспетчеров подхода, круга и посадки отображается координатная и полетная информация в виде движущихся точек (символов), формуляров к ним, радиолокационных отметок от ВС, а также элементы наземной инфраструктуры.

Каждый диспетчер КДП имеет связь с экипажем ВС посредством «своей» УКВ радиостанции и частоты. Передача управления воздушным судном от диспетчера к диспетчеру (подхода, круга и посадки) происходит на установленных рубежах передачи управления. Средствами наземной связи организована телеграфная (ТЛГ) и телефонная (ТЛФ) связь диспетчерской служ-

бы аэродрома с районным центром ЕС ОрВД. На аэродроме развернуты радионавигационные средства, радиолокационные и радиотехнические средства посадки.

Структурно-функциональная схема системы управления полетами ВС в аэродромном ВП государственной авиации приведена на рисунке 2.3. Источником информации о воздушной обстановке в ближней зоне и зоне взлета и посадки аэродрома является радиолокатор кругового обзора (диспетчерский радиолокатор), который совместно с глиссадным и курсовым радиолокаторами составляют подвижную «Радиолокационную систему посадки» (РСП). Контроль воздушной обстановки в зоне аэродрома и за его пределами осуществляется радиолокационной группой в составе ПРЛС кругового обзора и подвижного радиовысотомера (ПРВ) или трехкоординатной РЛС, дающими координаты ВС в виде наклонной дальности, азимута и высоты относительно точки стояния ПРВ. Управление полетами в аэродромном ВП осуществляется с КДП группой руководства полетами (ГРП).

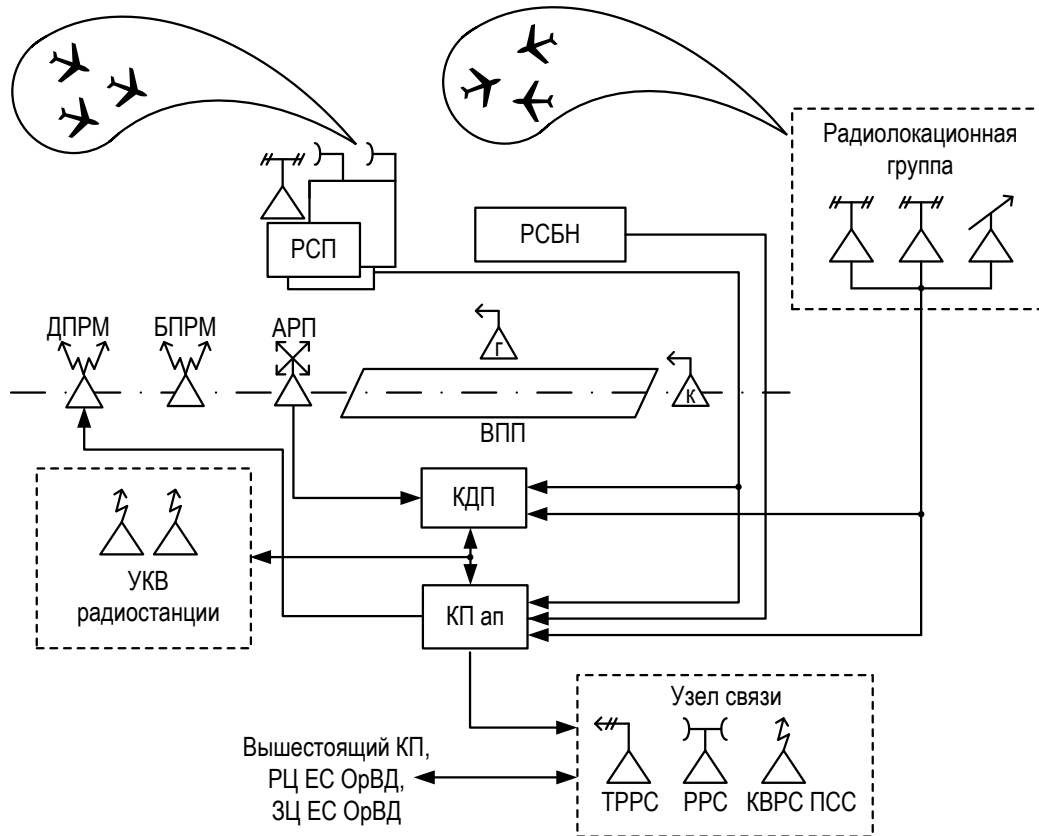


Рисунок 2.3 — Структурно-функциональная схема системы управления полетами ВС государственной авиации в аэродромном ВП

Воздушная обстановка в ближней зоне и в зоне взлета и посадки отображается на выносных индикаторах системы посадки (ВИСП), размещенных на КДП. Контроль ВО в дальней зоне аэродрома реализуется с помощью вынесенных на КДП экранов ПРЛС. Радиотелефонная связь лиц ГРП с экипа-

жами ВС осуществляется с помощью УКВ радиостанций. В воздушном пространстве аэродрома государственной авиации осуществляется не только взлет и посадка ВС, но и боевая подготовка экипажей, которой руководит боевой расчет КП части (подразделения) на основе информации, отображаемой на выносных средствах отображения от ПРЛС, РСР, РСБН. Связь с самолетами в воздухе осуществляется с помощью УКВ радиостанций, а также (в зависимости от рода авиации, типа ВС, вида боевой подготовки) с помощью КВ радиостанции. Для связи КП с вышестоящими органами управления и внедрассовыми (военными) секторами районного и зонального центров ЕС ОрВД используются тропосферные и радиорелейные станции, станции КВ связи и проводные средства связи, объединенные в узел связи КП.

В радиолокационных системах посадки типа РСР-6М2 реализованы известные математические методы автоматического радиолокационного сопровождения (автосопровождения) ВС на траектории посадки в горизонтальной и вертикальной плоскостях [...], то есть в плоскости курса и глиссады. Точки траектории движения ВС с формулярами сопровождения отображаются на экранах выносных индикаторов системы посадки (ВИСП), находящихся как на КДП аэродрома, так и на КП авиационной части (подразделения). Определение координат точек траектории ВС, совершающих посадку, производится в дискретные моменты времени t_k ($k = 1, 2, 3, \dots$) в полярной системе координат в горизонтальной плоскости по значениям наклонной дальности (D_k) до ВС и азимута (ψ_k) и в вертикальной плоскости по значениям величины D_k и угла места (q_k) путем обработки сигналов от курсовой и глиссадной антенн РСР. Пусть направление линии посадки, совпадающей с осью ВПП, составляет угол $\psi_{зп}$. Этот угол отсчитывается в горизонтальной плоскости от северного направления магнитного меридиана, проходящего через точку стояния РСР, по часовой стрелке. Глиссада составляет угол $q_{зп}$, отсчитываемый в вертикальной плоскости, проходящей через ось ВПП, против часовой стрелки. На рисунке 2.4 представлены полярные и прямоугольные системы координат, в которых определяются координаты точек траектории ВС по радиолокационным данным D_k, ψ_k, q_k . В моменты времени ($k = 1, 2, 3, \dots$) производится обработка радиолокационной информации с целью фильтрации ошибок измерения координат ВС и выдачи на средства отображения оценок координат точек, составляющих траекторию посадки ВС, для сравнения ее с отображаемой заданной траекторией.

Уравнения заданных прямых посадки в горизонтальной и вертикальной плоскостях записываются уравнениями пучка прямых, проходящих через начало координат $X = 0, Y = 0$ и $X^* = 0, H = 0$ и имеющих коэффициенты, равные $\text{ctg } \psi_{зп}, \text{tg } q_{зп}$: $Y = X \text{ ctg } \psi_{зп}$; $H = X^* \text{ tg } q_{зп}$.

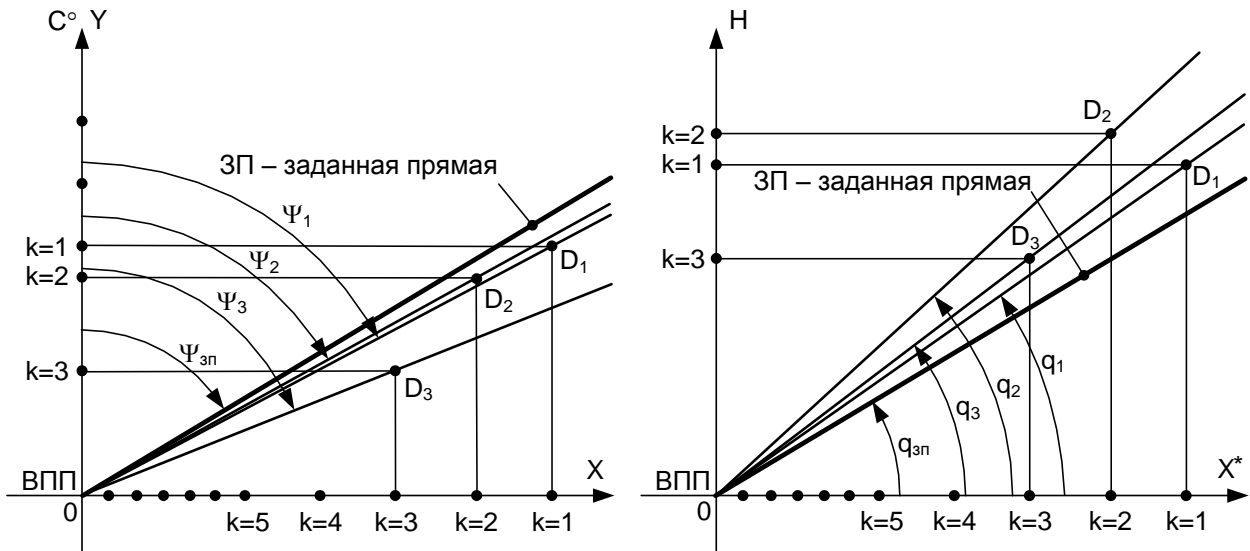


Рисунок 2.4 — Определение координат точек траектории ВС в полярной и прямоугольной системах координат

В этих уравнениях X и X^* — непрерывные величины, ось OX^* совпадает с осью ВПП. Координаты точек траектории ВС в полярной системе координат в дискретные моменты времени определяются значениями измерений параметров D , ψ и q . Полученные для момента k измерения пересчитываются в координаты прямоугольной системы в горизонтальной и вертикальной плоскостях:

$$X_k = D_k \sin \psi_k;$$

$$Y_k = D_k \cos \psi_k;$$

$$H_k = D_k \sin q_k.$$

Измерения, полученные по радиолокационным сигналам курсовой и глассадной антенн РСЦ, содержат случайные ошибки в значениях D_k , ψ_k , q_k .

Для фильтрации ошибок разработаны «математические фильтры» — алгоритмы для оценки параметров движения ВС и расчета более точных значений координат точек траектории движения ВС. Одним из таких алгоритмов является рекуррентный алгоритм вычисления оценок прямоугольных координат X_k , Y_k , H_k как функций от предыдущих оценок X_{k-1} , Y_{k-1} , H_{k-1} и последних измерений X_k , Y_k , H_k .

Вычисление оценок \hat{X}_k и \hat{V}_{xk} значений координаты X_k и скорости V_{xk} траектории движения ВС производится по следующим формулам:

$$\hat{X}_k = \hat{X}'_k + \alpha(\tilde{X}_k - \hat{X}'_k); \quad \alpha = \frac{2(2k-1)}{k(k+1)};$$

$$\hat{V}_{xk} = \hat{V}_{x(k-1)} + \beta(\tilde{X}_k - \hat{X}'_k); \quad \beta = \frac{6}{k(k+1)T};$$

$$\hat{X}'_k = \hat{X}_{k-1} + T\hat{V}_{x(k-1)}; \quad k = 1, 2, 3, 4, \dots,$$

где \hat{X}'_k — оценка прогноза координаты X_k на k -ый момент; α — коэффициент веса «невязки» ($\tilde{X}_k - \hat{X}'_k$) между измерением координаты \tilde{X}_k и ее прогнозом \hat{X}'_k ; β — коэффициент веса «невязки» для оценки \hat{V}_{xk} .

Оценка прогноза \hat{X}'_k вычисляется на основании гипотезы о равномерном движении ВС по траектории посадки в плоскости курса и глиссады. По аналогичным формулам рассчитываются оценки параметров \hat{Y}_k , \hat{V}_{yk} , \hat{Y}'_k , а также оценки \hat{H}_k , \hat{V}_{hk} , \hat{H}'_k .

В этих формулах параметр T — период обзора ВП в секторах курса и глиссады. Моменты очередного обзора и измерения координат ВС вычисляются как

$$t_k = kT, \quad k = 1, 2, 3, 4, \dots;$$

$$t_1 = T; t_2 = 2T; t_3 = 3T; t_4 = 4T; \dots$$

Оценка скоростей \hat{V}_{xk} , \hat{V}_{yk} , \hat{V}_{hk} осуществляется при получении двух измерений координат \tilde{X}_1 , \tilde{Y}_1 , \tilde{H}_1 и \tilde{X}_2 , \tilde{Y}_2 , \tilde{H}_2 по формулам

$$\hat{V}_{x(k=2)} = \frac{\tilde{X}_2 - \tilde{X}_1}{T}; \quad \hat{V}_{y(k=2)} = \frac{\tilde{Y}_2 - \tilde{Y}_1}{T}; \quad \hat{V}_{h(k=2)} = \frac{\tilde{H}_2 - \tilde{H}_1}{T},$$

а далее при $k \geq 3$ производится по рекуррентным формулам оценки скоростей \hat{V}_{xk} , \hat{V}_{yk} , \hat{V}_{hk} .

С увеличением количества дискретных измерений (с увеличением числа k) значения «весов» при «невязках» в виде коэффициентов α и β уменьшаются и влияние ошибок на оценку параметров траектории ВС также уменьшается. Оценка в определенный момент k становится равной ее прогнозу. Период зондирования T ВС курсовой и глиссадной антеннами РСП составляет 1...2 сек, следовательно, число дискретов k растет быстро. Совокупность оценок координат ВС в моменты t_k образуют реальную траекторию посадки ВС, которая в общем случае отличается от заданной траектории посадки в виде отклонений ее «вправо» или «влево» от заданной траектории по курсу, а также отклонений «вверх» или «вниз» относительно глиссады. Задача руководителя системы посадки — дать команду экипажу ВС для устранения этих отклонений. С момента неучета «невязки» и определения оценок \hat{X}_k , \hat{Y}_k , \hat{H}_k по величине их прогноза в последующие k -ые моменты времени можно рассчитать величину линейных отклонений ВС от заданных траекторий в горизонтальной и вертикальной плоскостях (Δl и Δh). Эти расстояния определяются как расстояния между отметками от ВС в горизонтальной и верти-

кальной плоскостях и заданными прямыми в этих плоскостях:

$$Y = X \operatorname{ctg} \psi_{\text{зп}} \text{ и } H = X^* \operatorname{tg} q_{\text{зп}}.$$

Формулы для вычисления модулей отклонений имеют вид:

$$\Delta l = \left| \frac{A_1 \hat{X}_k + B_1 \hat{Y}_k + C_1}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}} \right| \text{ и } \Delta h = \left| \frac{A_2 \hat{X}_k^* + B_2 \hat{H}_k + C_2}{\sqrt{A_2^2 + B_2^2}} \right|.$$

В рассматриваемом случае

$$A_1 = \operatorname{ctg} \psi_{\text{зп}}; B_1 = -1; C_1 = 0; A_2 = \operatorname{tg} q_{\text{зп}}; B_2 = -1; C_2 = 0,$$

тогда

$$\Delta l = \left| \frac{\operatorname{ctg} \psi_{\text{зп}} \hat{X}_k - \hat{Y}_k}{\sqrt{(\operatorname{ctg} \psi_{\text{зп}})^2 + 1}} \right| \text{ и } \Delta h = \left| \frac{\operatorname{tg} q_{\text{зп}} \hat{X}_k^* - \hat{H}_k}{\sqrt{(\operatorname{tg} q_{\text{зп}})^2 + 1}} \right|.$$

При автоматическом управлении ВС на траектории посадки в САУ ВС должен поступать сигнал пропорциональный величинам отклонений Δl и Δh со знаками плюс или минус в зависимости от вида отклонения от заданной траектории посадки. Знаки можно определить путем сравнения оценок \hat{Y}_k и \hat{H}_k с аналогичными значениями для заданных прямых посадки.

2.3 Системы управления воздушным движением во внеаэродромном воздушном пространстве

2.3.1 Единая система организации воздушного движения Российской Федерации

В соответствии с постановлением Правительства СССР в период 1973-1978 годов в нашей стране был осуществлен переход от ведомственных систем управления воздушным движением к Единой системе. Переход к Единой системе УВД являлся объективно необходимым по причине роста числа пользователей воздушного пространства: кроме авиации Министерства обороны и гражданской авиации появились другие министерства и ведомства, использующие для решения своих задач авиацию. Значительное увеличение количества ВС, принадлежащих различным ведомствам, сложность процессов координации действий между органами управления авиацией ведомств и диспетчерскими службами районов УВД обуславливали постоянное снижение уровня безопасности полета ВС и воздушного движения в целом. Необходимость ускоренного создания Единой системы УВД страны подтверждалась также рядом серьезных летных происшествий, произошедших по причине несогласованности районных планов полетов ВС диспетчерами

района и отсутствия «на земле» необходимых данных о местонахождении воздушных судов в ВП в конкретные моменты времени. Подобная система УВД существует и в США, где она была создана по тем же причинам, но на десятилетие раньше, чем в нашей стране.

Созданная система УВД сегодня называется Единой системой организации воздушного движения (ЕС ОрВД). Она является основным элементом Федеральной аэронавигационной службы Российской Федерации (ФАНС РФ), предназначенной для организации и обслуживания воздушного движения во внеаэродромном воздушном пространстве страны. ФАНС РФ должна обеспечивать высокий уровень безопасности ВД на воздушных трассах, маршрутах полета ВС и местных воздушных линиях на основе распределения всех ВС по месту, времени и высоте на установленных безопасных интервалах, контроля их местоположения и управления ВС наземными органами управления. Данная система предназначена также для решения задач по распределению потоков воздушных судов между элементами ВП с целью его эффективного использования, снятия «пиковых» нагрузок с диспетчеров районов ЕС ОрВД и аэродромов, обеспечения экономичности полетов за счет выбора оптимальных маршрутов и регулярности полетов ВС.

В основу построения ЕС ОрВД были положены следующие основные принципы:

— совмещение в одном оперативном органе всех функций УВД для государственной, гражданской и экспериментальной авиации;

— рациональное использование воздушного пространства страны с учетом интересов всех его пользователей;

— централизованное использование комплексов технических средств управления, радиолокации и связи;

— иерархичность структуры системы и ее использование при распределении задач УВД (с учетом их важности, ответственности и объема) между уровнями системы;

— удовлетворение системой требований для мирного и военного времени без существенных изменений ее организационной и технической структуры.

На рисунке 2.5 приведена структура ЕС ОрВД, включающая в свой состав органы управления, оперативные органы управления и связи между ними, а также внешние связи элементов ЕС ОрВД с органами и пунктами управления государственной, гражданской и экспериментальной авиации.

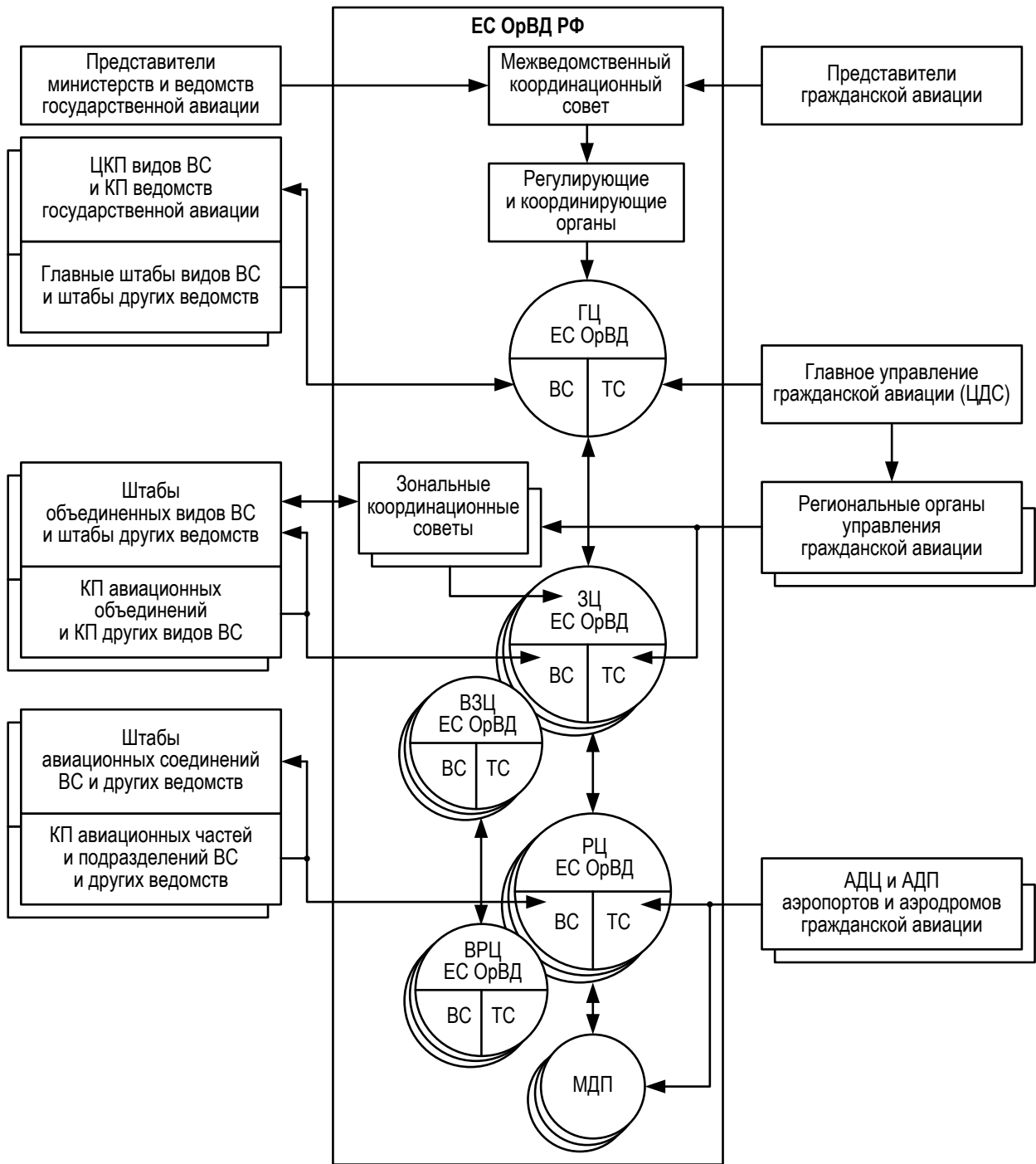


Рисунок 2.5 — Структура ЕС ОрВД РФ и ее связи с другими органами и пунктами управления авиацией:

ЦКП — центральный командный пункт; ЦДС — центральная диспетчерская служба; МДП — местный диспетчерский пункт; ВС — внетрасовый (военный) сектор; ГС — трассовый (гражданский) сектор

К органам управления ЕС ОрВД относятся центральные регулирующие и координирующие органы, в состав которых входит Межведомственный координационный совет и зональные органы с Зональными координационными советами. Основными задачами этих органов управления являются разработка руководящих документов по организации и обеспечению функционирова-

ния центров ЕС ОрВД, совершенствование структуры воздушного пространства страны и зон, порядка использования (режимов полета) ВП, форм и методов работы центров ЕС ОрВД в целях повышения уровня безопасности, регулярности и экономичности ВД, разработка планов совершенствования технического оснащения центров средствами навигации, связи и РТО полетов и другие задачи.

К оперативным органам управления ЕС ОрВД относятся главный, зональные и районные центры (ГЦ, ЗЦ, РЦ) управления воздушным движением. Каждый из центров состоит из двух секторов — внутрассового (военного) и трассового (гражданского).

Внутрассовый сектор осуществляет установление (снятие) режимов полета для всех видов авиации, планирует и координирует воздушное движение ВС, относящихся к любому виду авиации, по маршрутам вне воздушных трасс и местных воздушных линий.

Трассовый сектор осуществляет организацию и управление воздушными судами всех видов авиации, выполняющих полеты по воздушным трассам и местным воздушным линиям. В ряде зон и районов с повышенной плотностью движения ВС созданы вспомогательные зональные и районные центры (ВЗЦ, ВРЦ) УВД, находящиеся под контролем и руководством основных ЗЦ и РЦ.

На центры ЕС ОрВД возлагается решение следующих задач:

- планирование и координирование ИВП в соответствии с государственными приоритетами;
- обеспечение разрешительного порядка ИВП;
- обеспечение экономичности, регулярности и безопасности ВД;
- установление временных и местных режимов ИВП в зонах и районах и кратковременных ограничений на полеты ВС в элементах ВП;
- контроль выполнения установленных режимов;
- непосредственное управление экипажами ВС в воздухе, оказание им помощи;
- организация и контроль использования радиосветотехнического оборудования районов УВД и аэродромов.

Функции трассовых секторов всех центров управления ЕС ОрВД состоят в планировании и управлении воздушным движением всех видов авиации РФ на воздушных трассах и МВЛ.

Функции центров ЕС ОрВД и их внутрассовых секторов можно кратко

сформулировать следующим образом.

Главный центр ЕС ОрВД РФ предназначен для организации воздушного движения, контроля за соблюдением Федеральных правил ИВП в пределах воздушного пространства России и в районах, где ответственность за организацию ВД возложена на РФ.

На внутрассовый сектор ГЦ ЕС ОрВД возложены многочисленные функции, основными из которых являются:

— планирование полетов ВС вне воздушных трасс, маршруты полета которых проходят через воздушное пространство трех и более зон и составление совместных с трассовым сектором общего суточного плана воздушного движения;

— доведение суточного плана ИВП до внутрассовых секторов зональных центров;

— разработка и доведение до центров и пунктов управления всех видов авиации временных ограничений на ИВП и их снятие;

— контроль за готовностью основных и запасных аэродромов, средств аэронавигационного обеспечения согласно суточного плана ИВП, выдача разрешения экипажам ВС на выполнение плана полета;

— планирование, разрешение и контроль литерных рейсов и международных полетов;

— обеспечение безопасности ВД при проведении войсковых и авиационных учений;

— координация деятельности внутрассовых секторов зональных центров.

Зональный центр ЕС ОрВД предназначен для планирования и координации ИВП, организации ВД, обеспечения разрешительного порядка ИВП, контроля за соблюдением Федеральных правил ИВП в зоне своей ответственности.

Функциями внутрассового сектора ЗЦ являются:

— планирование и координирование ИВП зоны в интересах пользователей своей и других зон;

— разработка суточного плана зональных и межзональных полетов ВС и изменений к нему и доведение плана до внутрассовых секторов смежных ЗЦ и до РЦ своей зоны;

— разработка и снятие местных режимов ИВП;

— выдача разрешений на ИВП согласно суточного плана;

— контроль за готовностью основных и запасных аэродромов государственной и экспериментальной авиации к приему ВС согласно суточного плана ИВП зоны;

— анализ фактической и прогнозируемой метеобстановки;

— контроль деятельности и руководство работой внутрассовых секторов РЦ.

Зональные центры ЕС ОрВД развернуты при штабах авиационных объединений (соединений).

Районный центр ЕС ОрВД предназначен для организации, координации и непосредственного управления ВД авиации всех ведомств в границах района воздушного движения.

Основными функциями внутрассового сектора РЦ являются:

— планирование и обеспечение внутрирайонных и смежных межрайонных полетов и перелетов авиации всех ведомств по маршрутам вне воздушных трасс (ВТ) и составление с трассовым сектором общего плана ВД и ограничений на полеты;

— доведение до пунктов управления временных и местных режимов полета;

— выдача разрешений на выполнение полета;

— организация и обеспечение непрерывного радиолокационного контроля местонахождения ВС при их полете по маршрутам вне воздушных трасс и МВЛ;

— непосредственное управление ВС в воздухе, контроль за выдерживанием маршрутов и недопущения конфликтных ситуаций;

— оказание помощи экипажам ВС совместно с поисковой спасательной службой и др.

Районные центры ЕС ОрВД расположены в крупных аэропортах. На рисунке 2.6 показана схема управления ВД в воздушном пространстве районных центров УВД и передачи управления от центра к центру на установленных рубежах. В существующей ЕС ОрВД правом непосредственного управления воздушными судами, кроме районных центров, пользуются два зональных центра: Московский и Ростова-на-Дону. Воздушное пространство этих зональных центров включает в себя воздушные пространства районных центров, входящих в состав этих зон. Управление воздушными судами осуществляют диспетчеры ЗЦ в пределах установленных для диспетчеров «секторов управления» с позывными сектора и частотами УКВ радиосвязи. Пере-

дача управления ВС от диспетчера к диспетчеру сектора производится на рубежах передачи управления (РПУ), обозначаемых (ПОД) — пункт обязательных донесений.

В настоящее время проводится реорганизация структуры ВП и всех управляющих и исполнительных органов по использованию воздушного пространства РФ, в том числе и структуры ЕС ОрВД. Районы ЕС ОрВД укрупняются по типу Московского зонального центра УВД. В новой структуре в состав оперативных органов управления, кроме зональных и укрупненных районных центров УВД, войдут органы обслуживания ВД аэродромов гражданской авиации и органы управления полетами государственной и экспериментальной авиации, а также координационные центры единой системы авиационно-космического поиска и спасения ВС, органы службы аэронавигационной информации, органы метеоинформации.

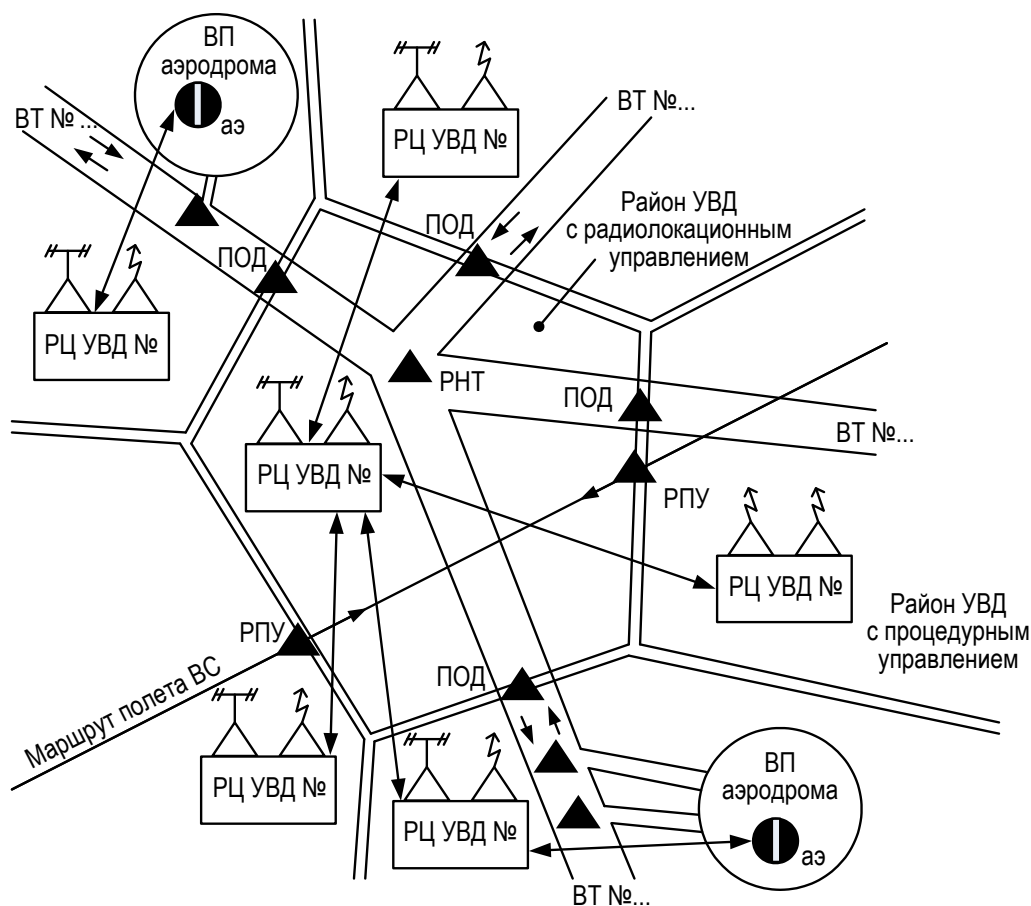


Рисунок 2.6 — Схема управления ВД в ВП районных центров УВД и передачи управления между центрами на установленных рубежах

2.3.2 Органы и средства управления воздушным движением в ЕС ОрВД

Система управления ВД во внеаэродромном ВП, как и система управления полетами и воздушным движением в районе аэродрома (см.п.2.2), состоит из трех разнофункциональных частей: органов управления, органов

оперативного управления (пунктов управления) и средств управления. Состав органов и средств УВД всех видов авиации, осуществляющих полеты по воздушным трассам, маршрутам, местным воздушным линиям и элементам ВП вне пространства аэродромов, приведен на рисунке 2.7.



Рисунок 2.7 — Состав органов и средств УВД во внеаэродромном воздушном пространстве.

Органы управления включают: центральные и территориальные регулирующие и координирующие органы, межведомственный координационный совет, зональные координационные советы, Госкорпорацию по организации и обеспечению воздушного движения и занимаются вопросами эффективного и безопасного использования воздушного пространства РФ отечественными и зарубежными пользователями, проведением единой технической политики при разработке средств и систем управления полетами и воздушным движением, подготовкой оперативного и технического персонала для центров и пунктов управления авиацией.

Органы оперативного управления ВД включают главный и зональные центры, районные центры ЕС ОрВД и местные диспетчерские пункты. Их задача состоит в долгосрочном, суточном и текущем планировании воздушного движения в подконтрольном им воздушном пространстве, а также в непосредственном управлении воздушными судами в полете путем передачи экипажам команд, аэронавигационной и метеоинформации, оказания помощи.

В состав средств управления входят:

1. Радиолокационные средства контроля ВП. Это обзорные радиолокационные станции (ОРЛС) в стационарном исполнении на вышках; вторичные радиолокационные станции (ВРЛС) для получения координатной и полетной информации о ВС (ВРЛС синхронизированы по фазе и скорости вращения с обзорными РЛС); трассовые радиолокационные комплексы (ТРЛК), состоящие из ОРЛС и ВРЛС, размещающихся на одной вращающейся платформе, и АРП. Дальность обнаружения и сопровождения ВС с учетом вторичной радиолокации составляет 400...450 км.

2. Радиотехнические средства навигации, к которым относятся отдельные приводные радиостанции (ОПРС), имеющие дальность действия не менее 150 км; радиотехнические системы ближней навигации (РСБН), радиотехнические системы дальней навигации (РСДН), спутниковые системы навигации (ССН) типа «ГЛОНАСС», «NAVSTAR», «ГАЛЛИЛЕО», азимутально-дальномерные радиомаяки типа «VOR/DME».

3. Средства наземной связи с вышестоящими, подчиненными и взаимодействующими органами управления и службами УВД. Эти связи реализуются проводными (кабельными) средствами электросвязи, средствами КВ радиосвязи и спутниковыми средствами связи (ССС).

4. Средства воздушной радиосвязи обеспечивают связь с экипажами ВС по радиотелефону посредством УКВ радиостанций, а также по спутниковым средствам связи (ССС). В перспективе радиообмен будет происходить по цифровым каналам связи.

5. Комплексы средств автоматизации органов управления, которые по уровню автоматизации могут быть как малыми автоматизированными системами УВД, то есть системами с частичной автоматизацией процессов управления, так и системами управления с более высоким уровнем автоматизации.

6. Специальные средства и системы, к которым относятся метеослужбы федерального и регионального уровней.

Рассмотренный состав средств управления ВД обеспечивает реализацию в оперативных органах системы управления ВД принципа «вижу — слышу — управляю» при решении задач безопасного управления полетами ВС в контролируемом ВП. Возможности районных центров ЕС ОрВД по выполнению задач УВД зависят от тактико-технических характеристик средств наблюдения, обработки и отображения информации о воздушной и наземной обстановке, от средств получения обработки и передачи заявочной и плановой информации взаимодействующим органам УВД. Районные центры ЕС ОрВД РФ с малой и средней интенсивностью воздушного движения оснаще-

ны в настоящее время комплексами средств МАСУВД. Структурно-функциональная схема такой системы приведена на рисунке 2.8.

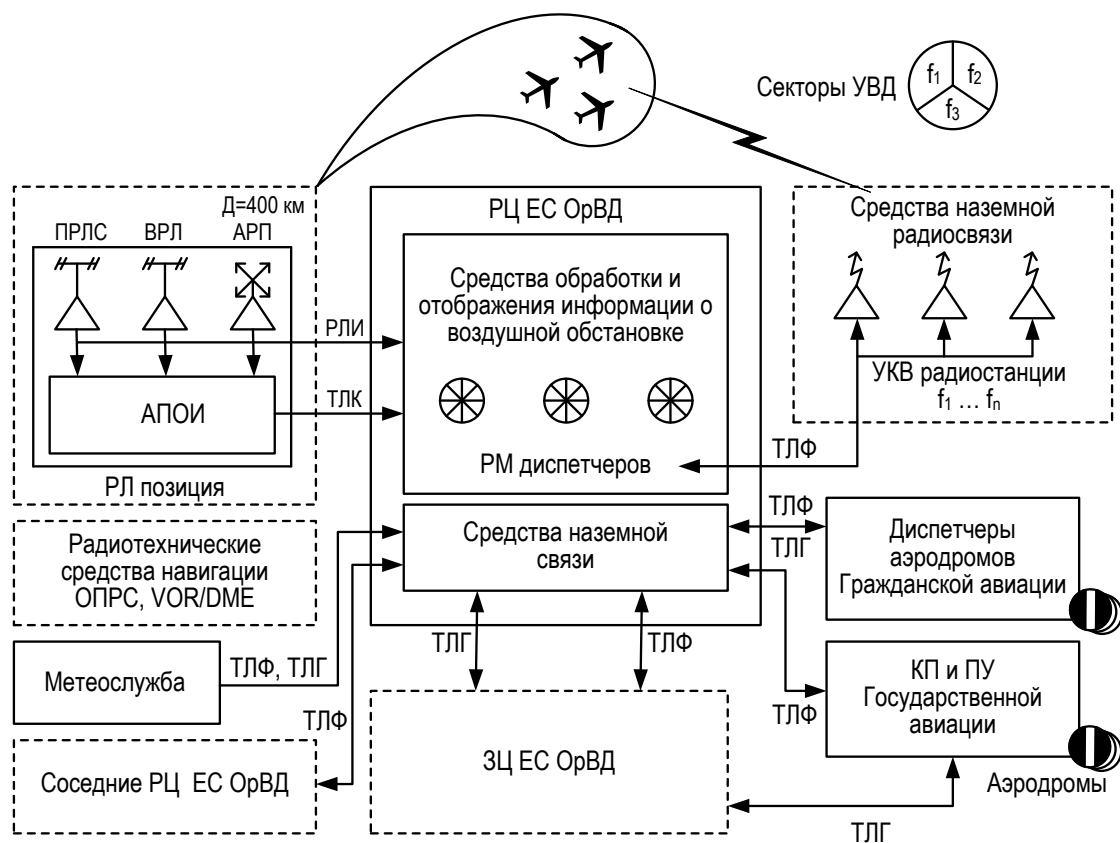


Рисунок 2.8 — Структурно-функциональная схема МАСУВД района ЕС ОВД

На радиолокационной позиции РЦ УВД размещены средства наблюдения за воздушной обстановкой и получения координатной, полетной и пеленговой информации о ВС, находящихся в зоне обзора ПРЛС, ВРЛС и в зоне радиоприема информации от экипажей ВС, автоматическим радиопеленгатором (АРП). С помощью ПРЛС, она же обзорная РЛС (ОРЛС), происходит обнаружение ВС по «эхо — сигналу» и определение его полярных координат: наклонной дальности и азимута. В качестве ПРЛС используются РЛС типа «Утес» или «Скала». Дальность обнаружения и сопровождения ВС в зависимости от высоты полета находится в пределах 250...400 км. Эта дальность круговой зоны обзора ВП определяет границы контролируемого ВП РЦ УВД. В качестве ВРЛС используется ВРЛ типа «Корень». Дальность обнаружения и получения пеленга на ВС не менее, чем у ПРЛС. Высота полета ВС в качестве третьей координаты передается с борта по каналу ВРЛС. Координатная, полетная и пеленговая информация обрабатывается в аппаратуре АПОИ и передается в устройство обработки и отображения информации РЦ ЕС ОрВД. Дальность радиотелефонной связи диспетчеров центра с экипажами ВС в УКВ диапазоне волн составляет не менее 450 км.

Средства отображения и обработки информации РЦ ЕС ОрВД включают совмещенные индикаторные устройства, которые позволяют отображать:

- координатные аналоговые отметки от РЛС или синтетические отметки в результате цифровой обработки координат;
- формуляры сопровождения (ФС) с полетной информацией;
- векторы-указатели, соединяющие ФС с отметкой от ВС;
- электронные карты с наземной инфраструктурой.

В РЦ УВД могут использоваться несколько типов такой аппаратуры: «Страница», «Строка-2», «Строка-Ц». Устройства обработки координатной информации позволяют одновременно производить автосопровождение до 30 воздушных судов. Суточное и текущее планирование ВД производится диспетчерами вручную. Прием заявок, получение и отправка сообщений по УВД осуществляется по телефонным и телеграфным каналам связи.

2.4 Заявки на использование воздушного пространства РФ

Одной из важнейших задач центров ЕС ОрВД, как уже отмечалось, является распределение воздушного пространства России в целом, его зон и укрупненных районов по месту и времени между пользователями. Распределение ВП осуществляется в процессе планирования на основе заявок-планов полета ВС, подаваемых штабами и командными пунктами всех уровней управления государственной, гражданской и экспериментальной авиации, а также другими организациями в адрес соответствующих центров ЕС ОрВД.

Правила составления заявок устанавливаются «Инструкцией по составлению формализованных заявок на ИВП». Она обязательна для всех пользователей ВП и предусматривает единую форму заявки, рекомендованную Международной организацией гражданской авиации (ИКАО). Заявка оформляется на специальном стандартном бланке в виде телеграммы, состоящей из адресной, информационной и подписной части. Адресная и подписная части заполняются по правилам адресования и передачи телеграфных (ТЛГ) сообщений. Информационная часть телеграммы заполняется по правилам, предписываемым указанной инструкцией.

Все заявки и соответствующие им планы полетов ВС классифицируются по видам полетов:

- трассовые полеты;
- маршрутно-трассовые полеты;
- маршрутные полеты;

- аэродромные полеты в пределах аэродромного ВП;
- аэродромные полеты с выходом из аэродромного ВП.

Образец бланка заявки на использование воздушного пространства приведен на рисунке 2.9. В телеграммах, соответствующим первым трем видам заявок, заполняются 9 (или 10) информационных полей, а в телеграммах, содержащих заявки на аэродромные полеты — 7 информационных полей.

Информационные поля содержат данные для планирования ВД и обеспечения управления ВС в полете. Например, в 3 информационном поле сообщается о типе плана: предварительный, срочный, продолжение и зарегистрированный (или регулярно выполняемый — ФПЛ); в 7 поле — опознавательный индекс ВС, режим и код ВРЛ; в 8 поле буквы соответствуют правилам полета (ППП, ПВП) или полету вне расписания, а также принадлежности ВС к тому или иному ведомству; дополнительное 19 поле может быть использовано для указания дополнительной информации для ФПЛ.

В качестве примера рассмотрим содержание информационных полей заявки на срочный маршрутно-трассовый полет ВС государственной авиации.

(ПЛС 31274 ИМ Т154 С/Ц ЪЛЛБ0200 М085С0960 5210С04415В/М085С0960/0025 5112С04505В/0040 5000С04412В/0052 ФЖ/0105 В14 ВИСОК УРММ0250 БУДН УУВВ ДАТА/2703 ЕЕТ/УУВЖ 0010 УРРЖ0145 ВИСОК0235 ОПР/ВВС СТС/К МИН/100 1,0 150 1,5 ПУС/КАМА ДНЕПР МЕТЕОР РТГ/РБЩЬК РМК/ПЛАН СРОЧНЫЙ – ИВАНОВ ВЗЛЕТНЫЙ МИН КОМАНДИРА 100 1,0)

Содержание информационных полей заявки имеют следующий смысл:

ПЛС — значение типа плана полета (план срочный) — заявка на срочный полет ВС;

31274 — радиотелефонный позывной командира ВС;

ИМ — полет выполняется по правилам полетов по приборам (И), ВС является судном государственной авиации (М);

Т154 — ВС типа Ту-154;

С/Ц — ВС оборудовано стандартными средствами связи, навигации и захода на посадку (С), ответчик ВРЛ имеет модифицированный самолетный ответчик типа СОМ-64 (Ц);

ЪЛЛБ0200 — аэродром вылета Псков, время вылета — 2 ч 00 мин UTC (по Гринвичу);

М085С0960 — крейсерская скорость 0,85 числа М и запрашиваемый эшелон полета ВС по маршруту 9600 м;

5210С04415В/М085С0960/0025 — воздушное судно должно завершить набор запланированного эшелона 9600 м над пунктом с координатами 52

градуса 10 минут сев. шир. и 44 градуса 15 минут вост. дол. через 25 минут после взлета;

ЗАЯВКА НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА			
Наименование предприятия (авиакомпания)			
_____	_____	2-букв. код внутренний	3-букв. код ИКАО
русское	английское		
Данные свидетельства эксплуатанта			
Номер _____	Начало действия _____	Конец _____	
Срочность <<— —	Адресат _____ _____ _____ <<— —		
Дата и время представления		Отправитель	
_____ <<— —		_____ <<— —	
3. Тип сообщения	7. Оознавательный индекс воздушного судна	8. Правила полетов и тип полета	
(_____)	— _____)	— _____ <<— —	
9. Количество, тип воздушных судов, категория турбулентного следа		10. Оборудование	
— _____)		— _____ <<— —	
13. Аэродром и время вылета			
— _____)			
15. Маршрут			
— _____)			
_____ <<— —			
16. Аэродром назначения и общее расчетное истекшее время до посадки		Запасной(ые) аэродром(ы)	
— _____)		_____)	
18. Прочая информация			
— _____)			
_____ <<— —			

Рисунок 2.9 — Образец бланка заявки на трассовые, маршрутные и маршрутно-трассовые полеты ВС

5112C04505B/0040 5000C04412B/0052 — поворотные пункты внутрасового участка маршрута и расчетное истекшее время до их прохода в часах и минутах после взлета (пункты заданы географическими координатами);

ФЖ/0105 В14 ВИСОК — пункт входа на воздушную трассу В14 ВЕНЕВ (ФЖ) через 1 час 05 минут после взлета; полет по воздушной трассе В14 выполняется до пункта ВИСОК, где осуществляется сход с воздушной трассы и следование на аэродром посадки (назначения);

УРММ0250 — аэродром назначения — Минеральные Воды, расчетное истекшее время до прибытия на аэродром назначения — 2 ч 50 мин;

БУДН УУВВ — запасные аэродромы — Иваново (БУДН) и ВНУКОВО (УУВВ);

ДАТА/2703 — дата выполнения полета — 27 марта;

ЕЕТ/УУВЖ0010 УРРЖ0145 ВИСОК0235 — расчетное истекшее время до пересечения границы Московского ЗЦ ЕС ОрВД — 10 мин после взлета, Ростовского ЗЦ ЕСОрВД — 1ч 45 мин, до пролета пункта ВИСОК — 2 ч 35 мин после взлета;

ОПР/ВВС — полет выполняется ВС, принадлежащим ВВС;

СТС/К — полет литерный, литер полета — К;

МИН/100 1,0 150 1,5 — минимум погоды командира ВС — высота нижней границы облачности — 100м, горизонтальная видимость — 1 км (дневной), 150 м и 1,5 км (ночной);

ПУС/КАМА ДНЕПР МЕТЕОР — позывные узлов связи зональных центров ЕС ОрВД по маршруту полета ВС;

РТГ/РБЦЬК — радиотелеграфный позывной командира;

РМК/ПЛАН СРОЧНЫЙ — ИВАНОВ ВЗЛЕТНЫЙ МИН КОМАНДИРА 100 1,0) – дополнительные сведения о полете: полет срочный, разрешение на его выполнение подписано Ивановым, указан взлетный минимум командира ВС.

Экипажи ВС всех видов авиации кроме полетов по предназначению авиации выполняют учебно-тренировочные полеты (УТП) в пределах аэродромного ВП, обозначаемые символами МА (маршруты в районе аэродрома), и УТП с выходом из аэродромного ВП по установленным маршрутам, обозначаемых М1, М2, ... и так далее. Перед УТП производится полет ВС на разведку погоды по маршрутам разведки в районе аэродрома (МРА) или с выходом за пределы аэродромного ВП по маршрутам разведки погоды в районе, обозначаемых МР1, МР2, ..., и так далее.

Заявка на выполнение УТП имеет следующий вид:

(УТП 92740 2ИЛ76 БУДИ 0800/0900 1000/1600/МРА/СО180/МА/СО600 ДАТА/2112 РПЛ/ИВАНОВ 150 1,5 150 1,5 ПСО/МИ8 АФОНИН 43111 200 2,0 200 2,0 РМК/СОГЛАСОВАНО)

Содержание информационных полей заявки имеет следующий смысл:

УТП — учебно-тренировочные полеты;

92740 — позывной ведущего летчика группы;

2ИЛ76 — полеты выполняются двумя ВС типа ИЛ-76;

БУДИ 0800/0900 1000/1600 — полеты будут производиться в районе аэродрома ИВАНОВО (БУДИ), разведка погоды с 08.00 до 09.00 часов, основные полеты с 10.00 до 16.00;

МРА/СО180 — разведка погоды в районе аэродрома на высоте 1800 м.;

МА/СО600 — полеты ВС Ил-76 на высоте 6000 м в районе аэродрома ТВЕРЬ и КЛИН – запасные аэродромы;

ДАТА/2112 РПЛ/ИВАНОВ 150 1,5 150 1,5 ПСО/МИ8 АФОНИН 43111 200 2,0 200 2,0 РМК/СОГЛАСОВАНО) — полеты назначены на 21 декабря; руководитель полетов — Иванов, его минимум по погоде днем и ночью 150 м и 1,5 км; поиско-спасательное обеспечение — Ми-8, командир Ми-8 — Афонин, его позывной 43111, а дневной и ночной минимум 200 м и 2 км; вопросы обеспечения УТП согласованы).

Заявки на использование ВП являются исходными документами для планирования ВД в Главном центре ЕС ОрВД в масштабе ВП РФ, в зональных центрах ЕС ОрВД в масштабе ВП зоны и двух смежных зон, в районных центрах ЕС ОрВД в масштабе ВП района и двух смежных районов.

Заявки на использование любых элементов структуры ВП РФ подаются пользователями ВП в адрес «своего» зонального центра ЕС ОрВД, где они отбираются (сортируются) по масштабу деятельности и направляются в адрес главного центра ЕС ОрВД и в адреса районных центров ЕС ОрВД, входящих в зону.

Кроме передачи заявок из зональных центров в главный центр ЕС ОрВД поступают непосредственно заявки от Главных штабов и КП видов ВС, штабов и КП министерств и ведомств. В частности, в адрес внетрассового сектора ГЦ ЕС ОрВД и в адрес ЦКП ВВС и ПВО подаются следующие заявки:

— на полеты литерных ВС и ВС с пересечением государственной границы;

— на полеты ВС и групп ВС, перегоняемых с заводов-изготовителей;

- на полеты групп ВС, осуществляющих перебазирование;
- на полеты на полигоны;
- на полеты всех ВС вне ВТ и МВЛ при ИВП трех и более зон;
- на полеты ВС МО по ВТ и МВЛ при пересечении ВС трех и более зон ЕС ОрВД;
- на полеты воздушных пунктов управления.

В адрес внутрассового сектора ЗЦ ЕС ОрВД и КП ВВС и ПВО зоны подаются заявки от штабов и КП авиационного объединения, соединений, частей на проведение всех видов полетов в своей и смежной (соседней) зоне:

- на УТП в аэродромном ВП и за его пределами;
- на полеты внутри района УВД и с пересечением нескольких районов своей зоны;
- на полеты и перелеты в своей и смежной зоне.

В адрес внутрассового сектора зонального центра поступают заявки (сообщения по УВД) от ГЦ ЕС ОрВД о транзитном полете ВС через ВП ЗЦ, о промежуточной или конечной посадке ВС или о запланированных запасных аэродромах зоны, а также от внутрассовых секторов смежных ЗЦ.

В адрес внутрассовых секторов районных центров зоны поступают заявки от внутрассового сектора «своей» зоны на выполнение:

- УТП в аэродромном ВП и за его пределами;
- полетов и перелетов ВС в пределах района и двух смежных районов.

В адрес внутрассового сектора РЦ поступают также сообщения от внутрассового сектора ЗЦ «своей» зоны об аэродромах посадки и запасных аэродромах, предусмотренных в заявках от смежных ЗЦ и от ГЦ ЕС ОрВД.

В адрес аэродромов «своей» зоны поступают заявки на посадку ВС или на необходимость их готовности как запасных.

Заявки на ИВП передаются в адреса по проводным или радиотелеграфным сетям, а также по телефонным сетям.

Пользователи ВП государственной авиации обязаны запросить у внутрассового сектора «своего» РЦ разрешение на использования воздушного пространства вне ВТ и МВЛ не позже, чем за 2 часа до времени, указанного в заявке. Если запрос на вылет или уведомление о переносе времени вылета не поступили, то заявка аннулируется. Разрешение РЦ на ИВП означает, что полет ВС будет осуществляться на условиях, выданных внутрассовыми секторами центров, в которых указано:

- время начала и окончания полета;
- маршрут и профиль полета;
- аэродромы посадки и запасные аэродромы;
- порядок входа (выхода) на ВТ и МВЛ;
- порядок управления воздушным судном.

Разрешения на ИВП вне ВТ и МВЛ дают:

- внутрассовый сектор ГЦ ЕС ОрВД при ИВП трех и более зон;
- внутрассовый сектор ЗЦ ЕС ОрВД при ИВП двух смежных зон и более двух районов своей зоны;
- внутрассовый сектор РЦ ЕС ОрВД при ИВП одного района или двух смежных районов «своей» зоны.

Такие разрешения органы управления полетами (КП, ПУ, КДП) получают непосредственно от внутрассового сектора РЦ и не позже, чем за 1 час до вылета.

Пользователи ВП должны начать выполнение полета в течение 20 минут, начиная от момента времени, указанного в заявке или разрешенного центром. Если за этот период времени вылет не состоялся и внутрассовый сектор РЦ не получил уведомления о переносе, то заявка аннулируется.

Сообщения о начале полета и посадке ВС передаются в РЦ и на КП ВВС и ПВО в строго ограниченные периоды времени:

- не позже, чем через 5 минут после момента взлета ВС, либо от момента подачи заявки на перенос полета или его отмене;
- не позднее, чем за 10 минут с момента посадки ВС;
- не позднее, чем за 10 минут до вылета при изменении типа ВС, и/или позывного командира экипажа ВС (КВС);
- немедленно после истечения расчетного времени посадки при неприбытии ВС на аэродром посадки.

2.5 Планирование и непосредственное управление воздушным движением оперативными органами ЕС ОрВД

Организация полетов и воздушного движения включает планирование, состоящее в предварительном распределении заявленных ВС по месту и времени в воздушном пространстве и управление ходом выполнения планов, состоящее в контроле состояния и местоположения ВС от взлета до посадки и

выдаче экипажам команд по изменению местоположения воздушных судов.

Планирование ИВП осуществляется на 3-х уровнях: на уровне Главного центра, зональных центров и районных центров ЕС ОрВД на основе использования действующих планов, расписаний полетов и поступающих заявок на полеты с учетом установленных режимов и ограничений на ИВП. Планирование воздушного движения включает процессы сбора и обработки заявок на ИВП, расчеты ожидаемой загрузки элементов ВП, органов, зон и районов УВД, разработку плана ВД в соответствии с существующими правилами, нормами и ограничениями, с учетом интересов всех пользователей и загрузки отдельных элементов ВП и органов УВД.

Существует несколько видов планирования воздушного движения.

Предварительное долгосрочное планирование осуществляется за двое и более суток до начала полетов. К этому виду относятся годовое и сезонное планирование, а также планирование на определенный календарный срок, осуществляемые на основании планов боевой подготовки авиации ВС РФ, планов перевозки пассажиров и грузов, полетов экспериментальной авиации. При планировании учитывается существующая структура ВП и обеспечение процессов управления ВД на воздушных трассах (ВТ), маршрутах полетов (МП), местных воздушных линиях (МВЛ) диспетчерскими пунктами, радиотехническими средствами навигации и связи. Главные штабы видов ВС РФ и штабы авиационных объединений и соединений должны подать заявки на полеты не позднее 10 дней до начала проведения учений, полетов авиационных частей, специальных перевозок.

Предварительное долгосрочное планирование ВД выполняется Главным и зональными центрами ЕС ОрВД, их трассовыми (гражданскими) и внетрассовыми (военными) секторами. На основании предварительного плана ВД вводятся временные и местные режимы полетов, составляются графики полетов и использования аэродромов, средств связи и РТО.

Предварительное суточное планирование состоит в разработке плана полетов в воздушном пространстве России, ее зон и районов на предстоящие сутки и согласование его с соответствующими органами УВД и органами обслуживания ВД. Суточный план разрабатывается на основе долгосрочного плана полетов, дополнительных заявок и изменений в планах полетов ВС с учетом метеообстановки, состояния систем УВД и других условий. Суточное планирование представляет собой постоянный ежесуточный процесс, начинающийся накануне дня полетов и заканчивающийся перед началом. Суточное планирование выполняется всеми центрами ЕС ОрВД и включает в себя:

— прием и контроль заявок на нерегулярные полеты (полеты по слу-

жебной необходимости);

— прием изменений в ранее поданные заявки на полеты ВС;

— прием информации о введенных ограничениях ИВП, о состоянии наземных аэронавигационных систем, состоянии аэродромов, метеорологической и другой информации;

— составление проекта сводного суточного плана (СП) как совокупности пространственно-временных траекторий (ПВТ) и анализ проекта на пропускную способность элементов ВП и систем УВД (секторов УВД, аэродромов посадки, диспетчеров);

— выработку поправок к проекту суточного плана и согласование их с органами УВД;

— составление согласованного сводного бесконфликтного суточного плана и его рассылка пользователям ВП (заказчикам) и органам УВД для обеспечения предстоящего ВД.

Долгосрочное и суточное планирование осуществляется органами центров ЕС ОрВД, не выполняющими функции непосредственного управления ВД. На рисунке 2.10 показан пример плана заявленных полетов в ВП центра УВД в виде схемы маршрутов полетов ВС с указанием потенциальных конфликтных ситуаций (ПКС). Потенциальные конфликтные ситуации возможны при полном или частичном совпадении времени пролета воздушными судами пересекающихся или близко сходящихся участков маршрутов.

Текущее планирование представляет собой процесс реализации суточного плана с учетом его изменений и дополнений, возникающих по ряду причин:

— изменения времени вылета ВС или его отмены;

— изменения метеообстановки;

— необходимость срочного вылета ВС;

— вход в ВП района незапланированного ВС из другого района или зоны и выработки в связи с этим совокупности новых пространственно-временных траекторий (ПВТ) полета ВС.

Текущее планирование состоит из двух фаз:

Первая фаза. Контроль изменений плана полетов еще невзлетевших ВС и анализ влияния этих изменений на разработанный суточный план. Планы полетов невзлетевших ВС принято называть «пассивными».

Вторая фаза. Работа с «активными» планами, то есть с планами взлетевших и входящих в ВП района ВС. В этой фазе текущего планирования

разрабатываются бесконфликтные ПВТ полетов ВС в районах и зонах УВД.

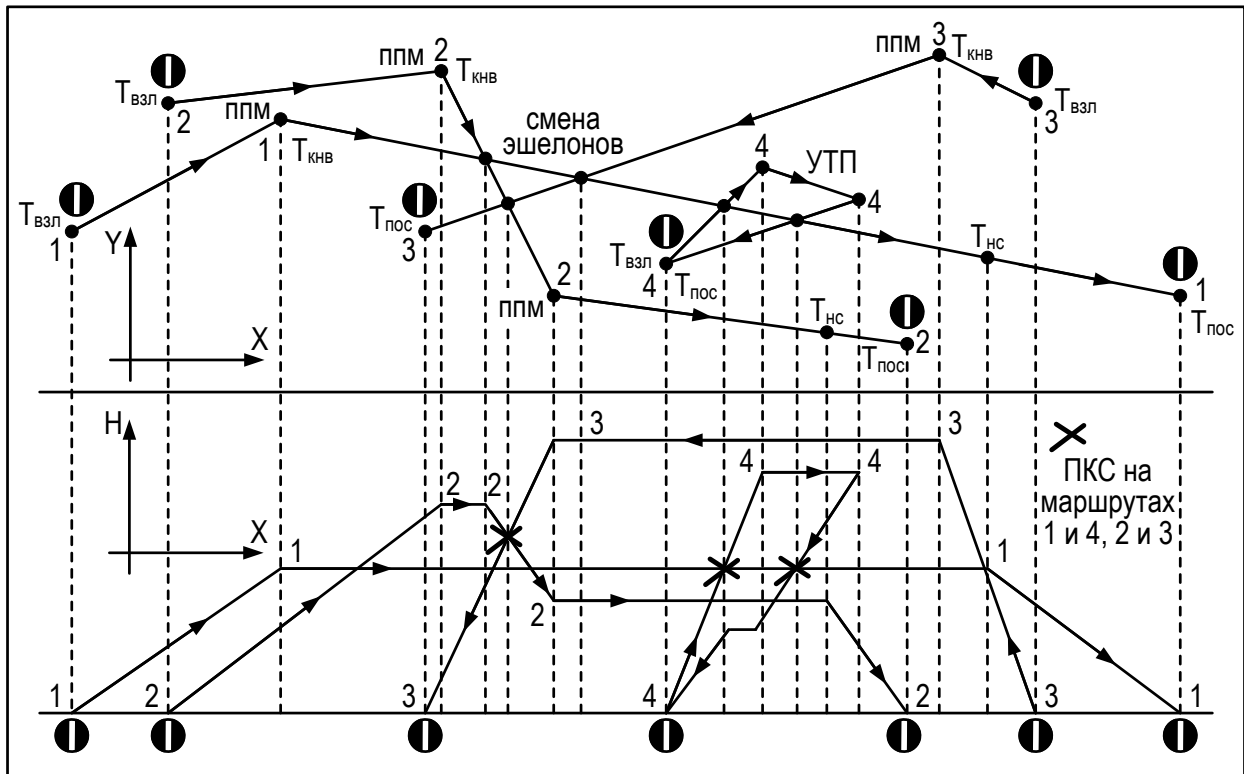


Рисунок 2.10 — Схема маршрутов полетов ВС в соответствии с суточным планом полетов

В общем случае текущее планирование включает следующие процессы:

- прием сообщений от пользователей ВП об изменении планов полетов ВС; сообщений о состоянии системы УВД, радиотехнических средств и аэродромов смежных центров УВД;

- внесение изменений в «активные» планы в связи с необходимостью выполнения срочных вылетов ВС или входом в ВП района незапланированного ВС из другого района или зоны и выработка в связи с этим совокупности новых бесконфликтных ПВТ полета ВС;

- согласование изменений суточного плана с взаимодействующими системами;

- рассылка сообщений в соответствующие органы УВД;

- активизация плана полетов, распределение плана по секторам управления;

- отображение информации текущего плана на индикаторах воздушной обстановки (ИВО), на табличных знаковых индикаторах (ТЗИ) и на специальных бумажных носителях (стрипах);

- выявление и отображение возникающих конфликтных ситуаций (КС);

— пересчет текущего плана в процессе устранения КС.

Текущее планирование осуществляется в реальном масштабе времени и связано с непосредственным управлением (НУ) ВС в воздушном пространстве.

Непосредственное управление ВД включает в себя выполнение диспетчерами центров ЕС ОрВД или лицами боевых расчетов различных КП следующих функций:

- согласование условий приема ВС на управление;
- обеспечение движения ВС по выработанной бесконфликтной ПВТ полета;
- коррекция движения ВС в случае отклонения его от расчетной траектории, отказа аэронавигационных средств, изменения метеоусловий и возникновения конфликтных ситуаций;
- согласование измененной траектории со смежными центрами;
- выдачу экипажам ВС разрешений, указаний и другой информации.

Процесс непосредственного управления протекает в реальном масштабе времени с момента согласования приема ВС на управление и прекращается после посадки или передачи управления другому органу УВД.

В зависимости от способов измерения параметров продольного эшелонирования ВС непосредственное управление подразделяется на следующие виды:

- процедурное управление, при котором осуществляется контроль за выдерживаем временных интервалов движения между ВС;
- радиолокационное управление (РЛУ), при котором контроль за выдерживанием установленных дистанций между ВС осуществляется по данным радиолокационных измерений.

Процедурное управление ВД на ВТ и МВЛ осуществляется на основе текущего плана полета и сообщений экипажами ВС о своем местоположении, высоте и расчетном времени прохождения контрольных ориентиров и пунктов обязательных донесений (ПОД). Сущность процедурного управления ВД показана на рисунке 2.11.

На основании сообщений с бортов ВС и планов полета диспетчер определяет наличие конфликтной ситуации в точке пересечения их маршрутов. При отклонении временных интервалов от допустимых осуществляется передача экипажам ВС на борт команд об изменении режимов полета. Процедурное управление на маршруте, проходящем через смежные районы цен-

тров УВД, осуществляется в следующей последовательности:

— прием сообщений от смежного центра УВД и передача им ВС на управление;

— установление диспетчером связи с ВС, входящим под его управлением, и получение информации о местоположении ВС, условий полета, времени пролета контрольных ориентиров;

— передача управляющих команд на борт ВС при отклонении его от плана полета.

Процедурное управление осуществляется и при наличии радиолокационного управления на высотах полета ВС ниже высоты $H=3000$ м в радиолокационном поле районного центра.

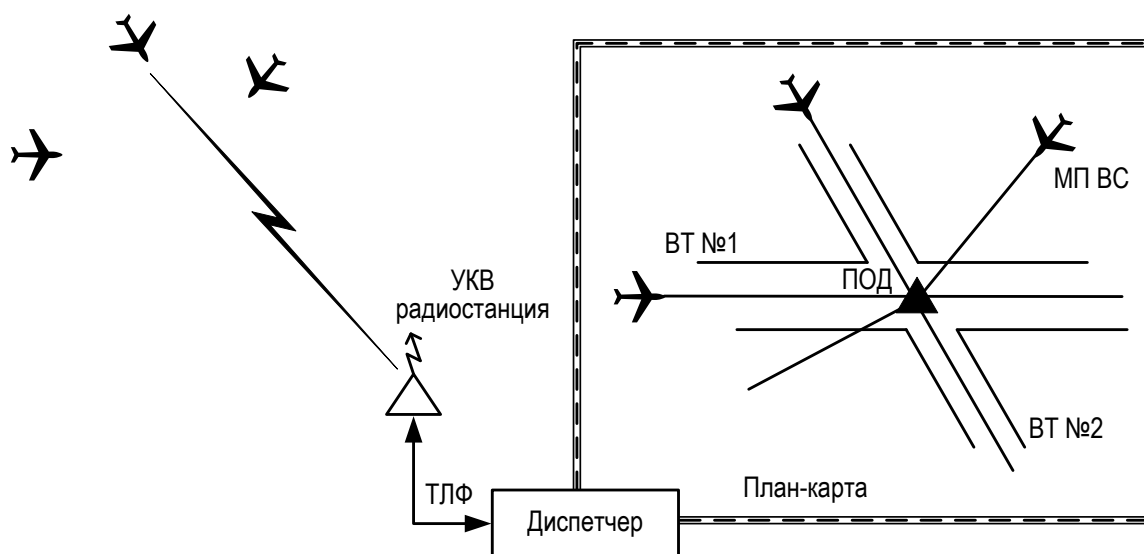


Рисунок 2.11 — Сущность процедурного управления ВД

Радиолокационное управление осуществляется в двух режимах:

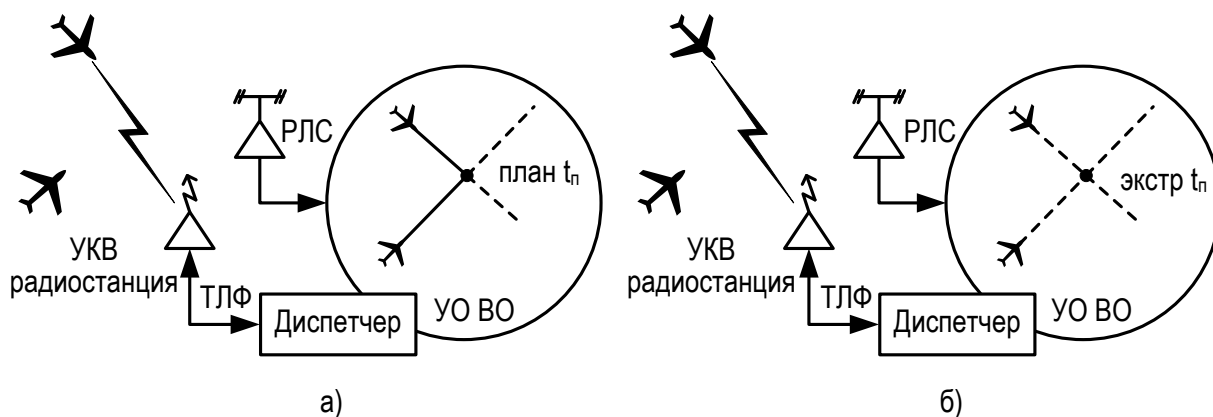
- управление по траекториям текущего плана;
- управление по экстраполированным радиолокационным траекториям.

В первом случае РЛУ осуществляется на основе данных текущего плана полетов и непрерывного радиолокационного контроля местоположения ВС на устройствах отображения (УО) воздушной обстановки (рисунок 2.12а).

Во втором случае РЛУ осуществляется при отсутствии полета ВС в предварительном плане полетов. При этом анализ КС выполняется в ходе отображения экстраполированных отметок ВС на УО ВО (рисунок 2.12б).

Расстояние между ВС и условной точкой пересечения траекторией оценивается диспетчером по экстраполированным радиолокационным данным.

По результатам оценки диспетчер принимает решение об изменении режимов полета ВС.



Рисунки 2.12 — Сущность радиолокационного управления по траекториям текущих планов (а) и с экстраполяцией траекторий ВС (б)

Необходимо отметить, что если существует отклонение от плана полетов при РЛУ по траекториям текущих планов и невозможно скорректировать план, то диспетчер переходит на РЛУ по экстраполированным траекториям.

2.6 Содержание оперативного управления воздушными судами при выполнении маршрутно-трассовых полетов

Маршрутные, маршрутно-трассовые и трассовые полеты Государственной авиации выполняются в соответствии с полетными заданиями. Успешное выполнение полета зависит от качества подготовки к нему ВС и экипажа, а также от качества управления ВС группами руководства полетов аэродрома и органами управления центров ЕС ОрВД при движении ВС по маршруту. Предварительная и предполетная подготовка экипажа к полету состоит в подборе полетных карт, нанесении маршрута на карту с указанием географических координат аэродромов, ППМ, радионавигационных средств, ПОД, рубежей передачи управления между центрами УВД, радиочастот центров УВД, позывных ПУ и других данных.

Результатом разработки маршрута полета ВС является план-заявка на использование воздушного пространства, подаваемая в «свой» зональный центр ЕС ОрВД.

Работа диспетчеров секторов зонального и районных центров по обеспечению полета ВС иллюстрируется рисунком 2.13. На этапе текущего планирования не менее, чем за 2 часа до запланированного вылета ВС, диспетчер АДП (начальник КП, руководитель полетов) аэродрома вылета запрашивает у внутрассового сектора своего РЦ разрешения на ИВП и согласовывает

условия полета. Диспетчер внутрассового сектора РЦ, проверив план, запрашивает условия полета у внутрассового сектора ЗЦ. Диспетчер ЗЦ запрашивает готовность к управлению у внутрассовых секторов районных центров, через которые будет проходить полет, метеоусловия, частоты связи, высоты входа в районы ВП и выхода из них.

Диспетчеры внутрассовых секторов при необходимости разрабатывают и доводят до руководителей трассовых секторов РЦ кратковременные ограничения (КО), согласовывают с ним точки, высоты и условия входа на ВТ и выхода из них, уточняют у АДП аэродромов готовность к приему ВС, коридоры входа, рубежи приема и передачи управления и докладывают внутрассовому сектору ЗЦ. Получив доклады о готовности на УВД и условия ИВП, внутрассовый сектор ЗЦ передает их внутрассовому сектору РЦ, где находится аэродром вылета, и дает разрешение на ИВП согласно плана с учетом условий согласования. Внутрассовый сектор РЦ №1 передает эту информацию АДП аэродрома вылета.

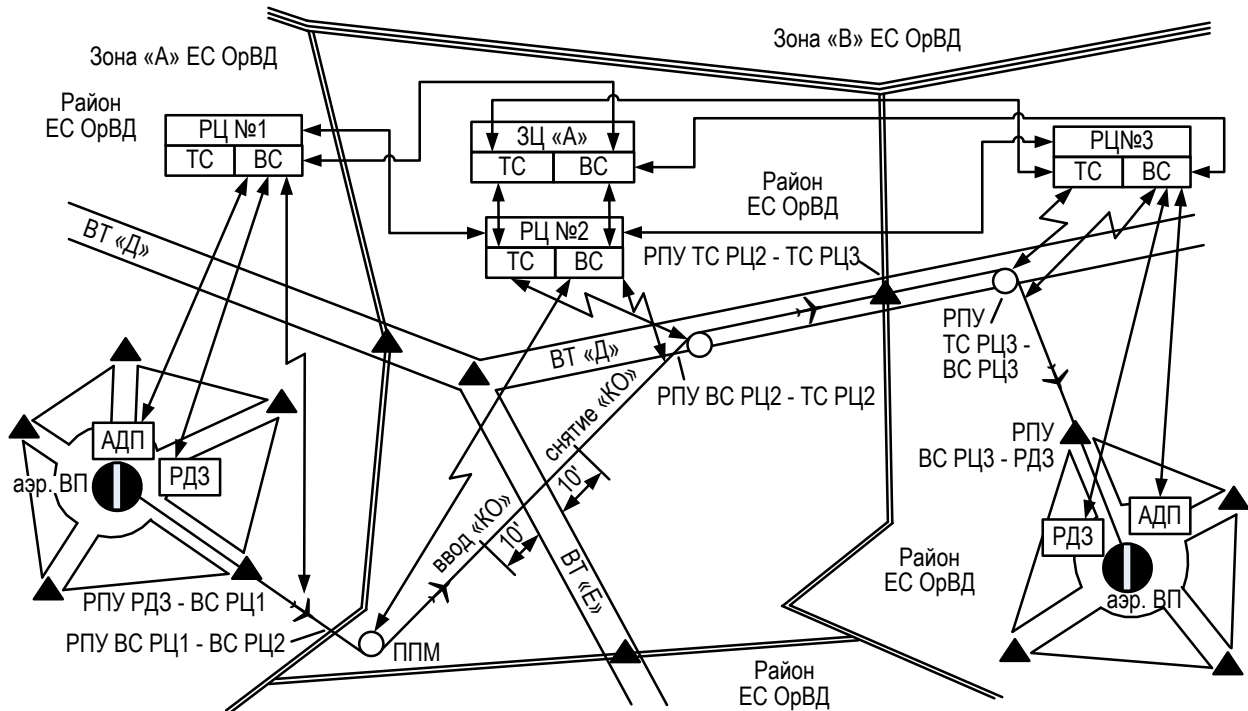


Рисунок 2.13 — Схема управления маршрутно-трассовым полетом ВС центрами ЕС ОрВД и органами управления аэродромов

Сразу после вылета ВС диспетчер аэродромного диспетчерского пункта аэродрома вылета передает внутрассовому сектору РЦ №1 время вылета и расчетное время выхода из района аэродрома. Внутрассовый сектор РЦ №1 сообщает о времени вылета внутрассовому сектору ЗЦ.

За 5 минут до подхода к рубежу передачи управления (РПУ) внутрассовый сектор РЦ №1 дает команду командиру ВС на установку контрольной связи с внутрассовым сектором РЦ №2 по маршруту полета. Получив под-

тверждение от командира экипажа ВС (КВС) о разрешении входа в ВП смежного РЦ №2, внутрассовый сектор РЦ №1 продолжает контроль за ВС и управляет им до РПУ. При проходе воздушным судном РПУ внутрассовый сектор РЦ №1 сообщает КВС азимут и дальность относительно себя и дает ему команду на переход под непосредственное управление (НУ) внутрассового сектора РЦ №2. Получив подтверждение от КВС о переходе под НУ внутрассового сектора РЦ №2 (по радиосвязи) и подтверждение от внутрассового сектора РЦ №2 (по наземной связи), внутрассовый сектор РЦ №1 докладывает внутрассовому сектору ЗЦ о времени прохода ВС РПУ и передаче НУ этим ВС к внутрассовому сектору РЦ №2. При проходе воздушным судном ППМ внутрассовый сектор РЦ №2 подтверждает КВС проход ППМ, передает азимут и дальность относительно себя, новый курс и высоту полета. Проконтролировав выполнение команды, внутрассовый сектор РЦ №2 докладывает внутрассовому сектору ЗЦ о проходе ППМ этим ВС.

За 10 минут до пересечения воздушным судном ВТ «Е» внутрассовый сектор РЦ №2 по громкоговорящей связи (ГГС) доводит до руководства трассового сектора РЦ №2 необходимые кратковременные ограничения (КО) на участке ВТ на установленном эшелоне согласно правилам эшелонирования. КО снимаются через 10 минут после прохода ВС района пересечения с ВТ «Е».

За 10 минут до входа ВС на ВТ «Д» внутрассовый сектор РЦ №2 согласовывает с трассовым сектором РЦ № 2 условия входа и высоту. При необходимости смены параметров полета внутрассовый сектор РЦ № 2 дает команду КВС изменить режим полета с учетом того, чтобы необходимые параметры полета были установлены не менее, чем за 10 километров до входа на ВТ «Д», а также доводит позывные и частоту канала связи трассовому сектору РЦ. На рубеже передачи управления (точка входа ВС на ВТ«Д») внутрассовый сектор РЦ №2 передает КВС команду на установление связи с трассовым сектором этого центра и по ГГС доводит до руководства трассового сектора РЦ факт входа ВС на ВТ «Д», азимут и дальность от РЦ, высоту полета. После подтверждения от трассового сектора приема ВС на НУ внутрассовый сектор РЦ №2 докладывает внутрассовому сектору ЗЦ о входе ВС на ВТ «Д» и продолжает контролировать полет ВС по ВТ «Д» под управлением трассового сектора. Получив доклад от руководства трассового сектора РЦ №2 о передаче НУ воздушным судном трассовому сектору РЦ №3 и проконтролировав местоположение ВС, внутрассовый сектор РЦ №2 докладывает внутрассовому сектору ЗЦ время выхода ВС из района. Трассовый сектор РЦ №3 докладывает внутрассовому сектору РЦ №3 о времени выхода ВС с ВТ«Д» и согласовывает точку и условия схода ВС с ВТ. При сходе с воздушной трассы КВС переходит под НУ внутрассового сектора. РЦ №3, который

докладывает об этом внутрассовому сектору ЗЦ.

За 10 минут до подхода к району аэродрома назначения внутрассовый сектор РЦ №3 согласовывает с руководителем дальней зоны аэродрома (РДЗ) условия входа в район аэродрома (точку входа, высоту, курс) и сообщает расчетное время входа. Согласованные данные с РДЗ внутрассовый сектор РЦ №3 передает КВС с учетом того, чтобы необходимый режим полета ВС был установлен за 10 минут до его входа в район аэродрома.

За 5 минут до входа в район аэродрома КВС устанавливает контрольную связь с РДЗ и получает разрешение на вход в район аэродрома. После прохода РПУ экипаж ВС переходит под управление РДЗ аэродрома, внутрассовый сектор РЦ №3 докладывает внутрассовому сектору ЗЦ время и место входа ВС в район аэродрома назначения.

После посадки ВС диспетчер аэродрома немедленно докладывает внутрассовому сектору РЦ №3 о посадке ВС, который в свою очередь докладывает об этом внутрассовому сектору ЗЦ. Внутрассовый сектор ЗЦ передает в РЦ №2 и РЦ №1 сообщение о посадке ВС на аэродром назначения и о закрытии плана полета ВС.

2.7 Безопасность полетов и воздушного движения — показатель качества систем управления П и ВД

Понятие безопасности полетов связано с необходимостью исключения или снижения до требуемого уровня количества летных происшествий (ЛП) или предпосылок к летным происшествиям (ПЛП) с ВС конкретного вида и типа в течение определенного срока их эксплуатации.

Срок эксплуатации ВС любого типа может исчисляться в часах налета, количестве полетов, количестве элементов полета ВС: взлетов, полетов по маршруту, посадок или в других показателях. Безопасность полета зависит не только от высоких летно-технических характеристик ВС и квалификации экипажа, но и от технических характеристик средств и систем управления, квалификации должностных лиц органов управления П и ВД, расчетов и экипажей технических средств и систем, которые планируют и обслуживают полеты ВС от их взлета до посадки. При эксплуатации ВС все ЛП и ПЛП расследуются для выявления причин их возникновения и принятия мер для исключения их повторения, а также фиксируются для оценки уровня безопасности полетов по статистическим данным. Летные происшествия и предпосылки к ним являются случайными событиями, происходящими в течение срока эксплуатации ВС, и могут характеризоваться различными количественными величинами, например, частотой (вероятностью) их возникно-

вения.

Управление полетом ВС осуществляется на трех различных по сложности и ответственности для органов управления этапах: взлет (В), полет по маршруту (М) и посадка (П). Обозначим летное происшествие с ВС по вине системы управления как случайное событие «А», которое может произойти из-за неправильных действий должностного лица (проявление человеческого фактора — Ч) или отказа техники (проявление технического фактора — Т) на любом из трех этапов полета ВС: на взлете (A_B) на маршруте (A_M), на посадке (A_P). Эти события на этапах полета являются несовместными. Тогда вероятность летного происшествия с ВС определяется как сумма вероятностей этих событий:

$$q(A) = q(A_B \vee A_M \vee A_P) = q(A_B) + q(A_M) + q(A_P).$$

Предпосылку к летному происшествию с ВС по вине системы управления обозначим как случайное событие «Б», которое может произойти на любом или на каждом из этапов полета. Вероятность такого события определяется выражением:

$$q(B) = q(B_B) + q(B_M) + q(B_P) - q(B_B)q(B_M) - q(B_B)q(B_P) - q(B_M)q(B_P) + q(B_B)q(B_M)q(B_P).$$

Летные происшествия A_B , A_M , A_P и предпосылки к летным происшествиям B_B , B_M , B_P как случайные события могут происходить по вине оперативного и эксплуатационного состава органов и технических средств управления (проявление человеческого фактора — Ч), а также по причине отказа технических средств управления (проявление технического фактора — Т). События, связанные с человеческим и техническим факторами, являются совместными случайными событиями при ЛПП и ППП на каждом из этапов полета ВС. Вероятности этих событий вычисляются как сумма вероятностей совместных случайных событий:

$$\begin{aligned} q(A_B) &= q(A_B^{\text{Ч}}) + q(A_B^{\text{Т}}) - q(A_B^{\text{Ч}}) q(A_B^{\text{Т}}); \\ q(A_M) &= q(A_M^{\text{Ч}}) + q(A_M^{\text{Т}}) - q(A_M^{\text{Ч}}) q(A_M^{\text{Т}}); \\ q(A_P) &= q(A_P^{\text{Ч}}) + q(A_P^{\text{Т}}) - q(A_P^{\text{Ч}}) q(A_P^{\text{Т}}); \\ q(B_B) &= q(B_B^{\text{Ч}}) + q(B_B^{\text{Т}}) - q(B_B^{\text{Ч}}) q(B_B^{\text{Т}}); \\ q(B_M) &= q(B_M^{\text{Ч}}) + q(B_M^{\text{Т}}) - q(B_M^{\text{Ч}}) q(B_M^{\text{Т}}); \\ q(B_P) &= q(B_P^{\text{Ч}}) + q(B_P^{\text{Т}}) - q(B_P^{\text{Ч}}) q(B_P^{\text{Т}}). \end{aligned}$$

События на взлете и посадке ВС $A_B^{\text{Ч}}$, $A_P^{\text{Ч}}$, $B_B^{\text{Ч}}$, $B_P^{\text{Ч}}$ связаны с недосмотром диспетчерами взлета и посадки наличия посторонних предметов на ВПП,

внезапным изменением метеоусловий при разрешенном взлете и посадке и орнитологической обстановки в зоне взлета и посадки, разрешением взлета и посадки ВС без использования механизации крыла, при невыпущенном шасси, не включении необходимых средств связи и радиосветотехнического оборудования. События A_B^T , A_{Π}^T , B_B^T , B_{Π}^T связаны с частичным или полным отказом средств связи, радиолокационного и радиосветотехнического оборудования аэродромов, системы централизованного электроснабжения. События на маршруте полета $A_M^Ч$, $B_M^Ч$ связаны с ошибками при планировании ВД, при отсутствии или при ошибках НУ диспетчеров, приводящих к конфликтным ситуациям и к столкновениям в ВП. События A_M^T , B_M^T связаны с отказом трассовых РЛС и РЛК, отказом наземных радионавигационных систем и средств связи диспетчеров с экипажами ВС. Такие отказы приводят к потере контроля за воздушной обстановкой, к потере ориентировки экипажа и в целом к потере управления ВД. В специальной литературе и материалах НИУ ВВС и гражданской авиации имеются частоты или статистические вероятности всех этих событий и, следовательно, можно оценить вероятности $q(A)$ и $q(B)$. События А и Б являются, как уже отмечалось ранее, несовместными неблагоприятными событиями, образующими сумму событий «С» по вине системы управления:

$$C = A \vee B.$$

Вероятность летного происшествия и предпосылки к летному происшествию с ВС по вине системы управления определяется суммой вероятностей:

$$q(C) = q(A) + q(B).$$

Величина $q(C)$ составляет 10...12% от вероятностей ЛП и ПЛП, происходящих по другим причинам [...]. По значениям $q(A)$ и $q(B)$ можно определить среднее число (математическое ожидание) неблагоприятных факторов, происшедших за взятый период функционирования системы управления, и сравнить их с допустимыми.

Безопасность полета ВС, обеспечиваемая системой управления, является событием, противоположным событию «С» и количественно оценивается вероятностью безопасного (надежного) управления полетом и воздушным движением

$$P(\text{СУП и ВД}) = 1 - q(C).$$

Повышение безопасности полетов и ВД достигается строгой профессиональной дисциплиной и высокой квалификацией оперативного и эксплуатационного состава органов и пунктов управления авиацией, высокой надежностью технических средств и систем управления, дублированием средств и систем управления, высоким качеством их технической эксплуатации.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятиям «управление полетами» и «управление воздушным движением», поясните их цели и задачи.
2. Назовите состав системы управления П и ВД в аэродромном ВП и состав средств управления в системе.
3. Укажите предназначение, состав и задачи ЕС ОрВД РФ.
4. Перечислите основные задачи центров ЕС ОрВД РФ.
5. Назовите состав системы управления ВД во внеаэродромном ВП и состав средств управления в системе.
6. Дайте характеристику структуры системы связи в ЕС ОрВД и укажите состав средств связи и РТО в системе.
7. Назовите виды заявок на использование воздушного пространства РФ и изложите их содержание.
8. Уясните порядок подачи заявок на ИВП в органы УВД и условия их приема органами УВД и выполнения.
9. Поясните сущность понятия «непосредственное управления ВД» и его разновидности.
10. Укажите порядок взаимодействия органов управления аэродромов и центров ЕС ОрВД в процессе управления полетом ВС.

ГЛАВА 3 АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТАМИ И ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

3.1 Методы и модели процессов управления воздушным движением воздушных судов и функционирования органов управления воздушным движением

Цели и задачи системы УВД состоящие в обеспечении безопасности полетов ВС и повышении эффективности ИВП, остаются постоянными и независимыми от изменения объемов авиаперевозок пассажиров и грузов. Увеличение указанных объемов непосредственно определяет рост количество ВС одновременно находящихся под управлением одного и того же органа управления в одном и том же элементе воздушного пространства (районе, зоне), что значительно усложняет условие работы и увеличивает нагрузки на персонал системы управления полетами и воздушным движением.

Усиливающиеся противоречия между возрастающими объемами информации о воздушной обстановки и сокращением времени на ее обработку и формирование команд управления в современных системах УВД разрешается путем комплексной автоматизации всех функциональных процессов: предварительного и текущего планирования ВД, а так же непосредственного управления ВС.

Разработка и внедрения автоматизированных систем управления и воздушным движением (АСУ П и ВД) связаны с применением следующих основных принципов:

- *от простого к сложному*, означающий постепенность в решении задач автоматизации функций управления;
- *преемственность*, означающий сохранение сути процессов управления при их автоматизации;
- *сохранение основы структуры системы управления*, означающий, что автоматизация функций управления существенным образом не изменяет сложившуюся структуру системы управления;
- *иерархия организации*, означающий, что автоматизированная система УВД должна состоять из взаимосвязанных объектов, предназначенных для управления процессами ВД в иерархически связанных элементах ВП: аэродромных, аэроузловых, районных и зональных;
- *иерархия функций*, означающий, что на любом уровне организации

системы управления первичными функциями являются сбор, обработка и отображение информации, вторичными — планирование воздушного движения бесконфликтных ситуаций и третичными — функции непосредственного управления полетами и воздушным движением.

На основе использования этих принципов практика разработки и внедрения АСУ П и ВД проходит ряд этапов, содержание и результаты реализации которых при суточном и текущим планировании, а также при непосредственном управлении воздушным движением представлены в таблице 3.1 (статус: «+» означает реализовано, «-» — не реализовано).

Т а б л и ц а 3.1

Суточное планирование		Текущее планирование		Непосредственное управление	
процесс	статус	процесс	статус	процесс	статус
Этап 1 — Автоматизация информационных процессов					
Прием и обработка планов полетов ВС.	+	Прием, обработка и отображение информации о ВС текущего плана	+	Сбор обобщение и отображение информации о местоположении и параметрах полетов ВС	+
Составление проекта суточного плана	+	Составление и отображение текущего плана полетов	+	Прием и отображение текущего плана полетов	+
Согласование и рассылка сообщений суточного плана	-	Рассылка текущего плана	-		
Этап 2 — Автоматизация решения расчетных задач					
Проверка необходимой пропускной способности ВТ, ВПП и районов аэродромов в плане полетов.	+	Анализ ПКС текущего плана.	+	Объединение данных о ВО от нескольких РЛС	+
Корректировка суточного плана	+	Устранение ПКС	+	Автосопровождение и экстраполяция местоположения ВС	+
Согласование суточного плана	-	Согласование плана со службами	-	Анализ отклонений ВС от текущего плана	+
Выявление КС	-	Выявление КС	-	Выявление КС	-
Этап 3 — оптимизация автоматизируемых процессов УВД					
Разработка и согласование оптимального суточного плана	-	Составление и согласование оптимального бесконфликтного текущего плана	-	Формирование и передача команд на борт ВС при КС или при отклонениях от заданных траекторий	-

Разработка методов, моделей и алгоритмов для реализации всего комплекса автоматизируемых функций и процессов является основой для созда-

ния современных АСУ П и ВД. Количество, содержание и сложность реализованных сегодня методов и моделей непосредственно связано с объемом автоматизированных процессов, а их изучение требует значительных усилий и времени. В данном пособии мы коснемся основной сути некоторых наиболее сложных и трудно осваиваемых методов и моделей, к которым отнесем методы обработки заявок и расчета пространственно-временных траекторий движения ВС, предотвращения конфликтных ситуаций при планировании и непосредственном управлении воздушными судами, информационную кинематическую и динамическую модель движения ВС и другие. Мы не будем рассматривать известные и широко применяемые такие модели, как газовая, вероятностная (модель Рейха) и макроскопическая, так как они, с одной стороны, применяются на этапах организации полетов и ВД (эшелонирования полетов, оценка степени загруженности ВП и др.), а с другой стороны они могут изучены по известным публикациям [...].

3.1.1 Существо процессов обработки заявок на полеты воздушных судов

Получаемые центрами ЕС ОрВД формализованные заявки-планы на полеты ВС в виде телеграфных сообщений автоматически или вручную вводятся операторами с АРМ в ЭВМ, где производится форматно-логический контроль заявки на правильность заполнения полей и наличие в базе данных объектов, идентификаторы и параметры которых указаны в заявке: аэродромов, маршрутных точек, районов, воздушных трасс, типов ВС и другие. После контроля и исправления полученные данные заявок используются для планирования воздушного движения. Процесс планирования начинается с расчета маршрутов полетов ВС и формирования их пространственно-временных траекторий (ПВТ) в ВП центров ЕС ОрВД, используемых как для суточного, так и для текущего планирования.

Расчет маршрута полета состоит в анализе маршрутной части заявки и определении (расчете) времени пролета каждым ВС каждой маршрутной точки (МТ), указанной в заявленном маршруте с учетом равномерного движения ВС по ортодромии между начальной и конечной точками i -го участка маршрута ($МТ_{i-1}$ и $МТ_i$) с крейсерской скоростью $V_{кр}$, а также с учетом возможных изменений эшелона и скорости полета на участке маршрута:

$$T_{i+1} = T_i + \frac{S_{i+1}}{V_{кр}},$$

где $i=1,2,3,\dots,n$; T_i — время пролета воздушным судном $МТ_i$; T_{i+1} — время пролета $МТ_{i+1}$; $V_{кр}$ — крейсерская скорость ВС на участке; S_{i+1} — длина ортодромного участка [в км] в гринвичской системе координат; $S_{i+1}^{угл}$ — угловое расстояние между $МТ_i$ и $МТ_{i+1}$ [рад, град]; (φ_i, λ_i) , $(\varphi_{i+1}, \lambda_{i+1})$ — широта и

долгота MT_H и MT_K [в градусах]; $R_3 \approx 6371$ км — радиус Земли.

Схема определения времен пролета маршрутных точек представлена на рисунке 3.1.

$$\begin{aligned} x_i &= R_3 \cos \varphi_i \cos \lambda_i = R_3 k_{11}, & k_{11} &= \cos \varphi_i \cos \lambda_i; \\ y_i &= R_3 \cos \varphi_i \sin \lambda_i = R_3 k_{12}, & k_{12} &= \cos \varphi_i \sin \lambda_i; \\ z_i &= R_3 \sin \varphi_i = R_3 k_{13}, & k_{13} &= \sin \varphi_i; \\ x_{i+1} &= R_3 \cos \varphi_{i+1} \cos \lambda_{i+1} = R_3 k_{21}, & k_{21} &= \cos \varphi_{i+1} \cos \lambda_{i+1}; \\ y_{i+1} &= R_3 \cos \varphi_{i+1} \sin \lambda_{i+1} = R_3 k_{22}, & k_{22} &= \cos \varphi_{i+1} \sin \lambda_{i+1}; \\ z_{i+1} &= R_3 \sin \varphi_{i+1} = R_3 k_{23}, & k_{23} &= \sin \varphi_{i+1}; \end{aligned}$$

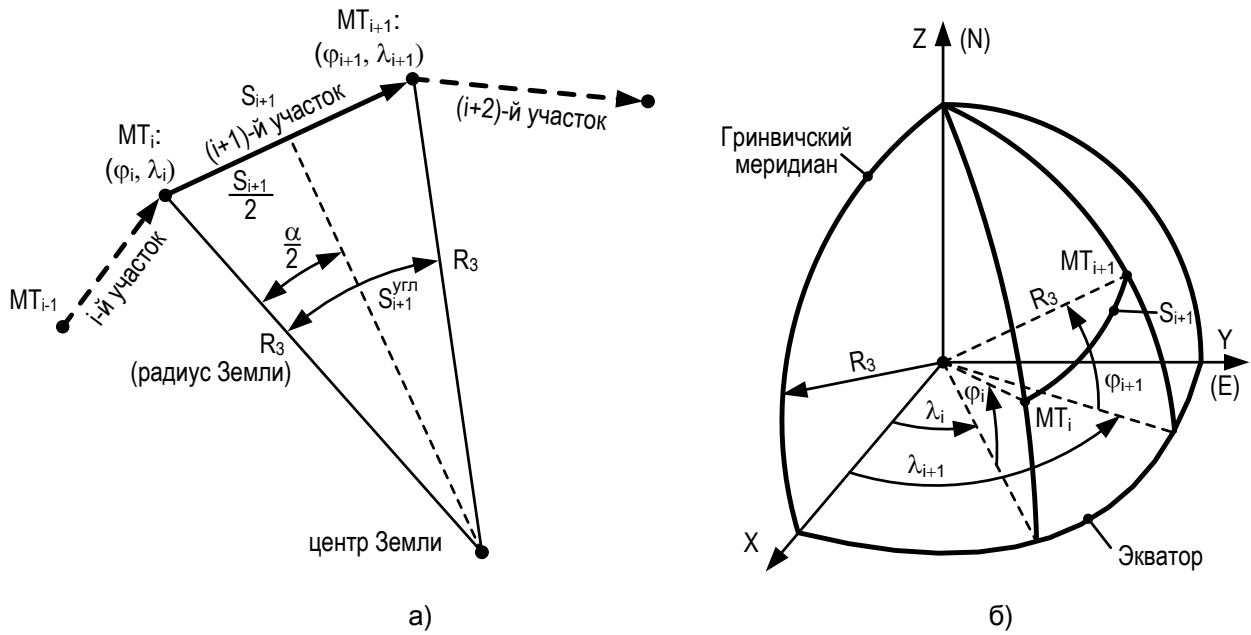


Рисунок 3.1 — Схема определения длины ортодромии

Длина $(i+1)$ -ого ортодромического участка S_{i+1} (длина основания равнобедренного треугольника в километрах), в котором сторонами являются радиусы Земли R_3 , а угол между радиусами (в радианах) равен $\alpha = S_{i+1}^{угл}$, в гринвичской системе координат находится следующим образом:

$$\begin{aligned} S_{i+1} &= \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2 + (Z_{i+1} - Z_i)^2} \\ &= R_3 \sqrt{(k_{21} - k_{11})^2 + (k_{22} - k_{12})^2 + (k_{23} - k_{13})^2}. \end{aligned}$$

Так как $\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{S_{i+1}}{2 R_3} = \frac{1}{2} \sqrt{(k_{21} - k_{11})^2 + (k_{22} - k_{12})^2 + (k_{23} - k_{13})^2}$, то угловое расстояние между MT_i и MT_{i+1} (в радианах) будет равно:

$$S_{i+1}^{угл} = 2 \arcsin \left(\frac{\sqrt{(k_{21} - k_{11})^2 + (k_{22} - k_{12})^2 + (k_{23} - k_{13})^2}}{2} \right),$$

а длина соответствующего ортодромического участка (в километрах):

$$S_{i+1} = \left(R_3 + \frac{H_i + H_{i+1}}{2} \right) \alpha \approx R_3 S_{i+1}^{\text{угл}}.$$

Таким образом, время пролета (i+1)-ой маршрутной точки будет определяться соотношением:

$$t_{i+1} = t_i + \frac{R_3}{V_{\text{кр}}} S_{i+1}^{\text{угл}}.$$

Полученное расчетное время t_{i+1}^p сравнивается с заявочным временем t_{i+1}^3 . Если для каждого участка маршрута

$$|t_{i+1}^p - t_{i+1}^3| \leq 2 \text{ мин},$$

то заявка принимается к дальнейшей обработке; если же хотя бы для одного участка данное соотношение не выполняется, — то такая заявка не принимается и требует пересчета плана заявляемого полета ВС.

Для нахождения длины ортодромии (i+1)-го участка маршрута S_{i+1} , выраженной в км, воспользуемся формулами сферической геометрии:

$$S_{i+1}^{\text{угл}} = \arccos [\sin \varphi_i \sin \varphi_{i+1} + \cos \varphi_i \cos \varphi_{i+1} \cos (\lambda_{i+1} - \lambda_i)],$$

где $S_{i+1}^{\text{угл}}$ — сторона угла в градусах, или длина пути по ортодромии в градусах;

$$S_{i+1} = 111,12 S_{i+1}^{\text{угл}},$$

где 111,12 — длина пути (в километрах) по ортодромии с углом в 1 градус.

Таким образом проверяются времена пролета всех маршрутных точек для всех заявленных полетов ВС.

Для расчета пространственно-временных траекторий полетов ВС и определения потенциальных конфликтных ситуаций производится пересчет координат маршрутных точек из географической системы координат (φ, λ) в координаты условно-прямоугольной системы координат «x, y, z», в которой ось OY направлена вдоль нулевого (гринвичского) меридиана на север, а ось OX — по экватору на восток от пересечения с нулевым меридианом.

Географическая и условно-прямоугольная системы координат связаны соотношениями:

$$\begin{aligned} x_i &= R_3 \lambda_i \cos \varphi_i; \\ y_i &= R_3 \varphi_i; \\ z_i &= h_i \end{aligned} \quad (\varphi_i \text{ и } \lambda_i \text{ — углы в радианах)}$$

— высота ВС в i-ой МТ над уровнем моря.

Поскольку значения φ и λ маршрутных точек в заявках указываются в

угловых градусах и минутах (например, «широта φ° градусов и φ' минут»), то перевод их в радианную меру производится по формулам:

$$\varphi^{(\text{рад})} = \frac{\pi}{180^\circ \cdot 60} (\varphi^\circ \cdot 60 + \varphi'),$$

$$\lambda^{(\text{рад})} = \frac{\pi}{180^\circ \cdot 60} (\lambda^\circ \cdot 60 + \lambda'),$$

где $\frac{\pi}{180^\circ \cdot 60} \approx 2,909 \cdot 10^{-4}$.

Прямоугольные координаты маршрутных точек (x_i, y_i, h_i) , время их пролета t_i и скорость пролета $V_i^{\text{КР}}$ записываются в таблицу маршрутов и используются для расчета ПКС между ВС, между маршрутами ВС и ВТ, между ВС и запретными зонами (33).

Различные заявленные полеты по одному и тому же маршруту упрощенно можно представить в виде таблицы 3.1.

Т а б л и ц а 3.1

№№ полетов	Маршрутные точки			
	MT ₁	MT ₂	...	MT _n
№1	$x_{11}, y_{11}, h_{11}, t_{11}, V_{11}^{\text{КР}}$	$x_{21}, y_{21}, h_{21}, t_{21}, V_{21}^{\text{КР}}$	$x_{1n}, y_{1n}, h_{1n}, t_{1n}, V_{1n}^{\text{КР}}$
№2	$x_{21}, y_{21}, h_{21}, t_{21}, V_{21}^{\text{КР}}$	$x_{22}, y_{22}, h_{22}, t_{22}, V_{22}^{\text{КР}}$	$x_{2n}, y_{2n}, h_{2n}, t_{2n}, V_{2n}^{\text{КР}}$
...
№m	$x_{m1}, y_{m1}, h_{m1}, t_{m1}, V_{m1}^{\text{КР}}$	$x_{2m}, y_{2m}, h_{2m}, t_{2m}, V_{2m}^{\text{КР}}$	$x_{mn}, y_{mn}, h_{mn}, t_{mn}, V_{mn}^{\text{КР}}$

Количество таких таблиц в каждом центре управления ВД будет равно числу обслуживаемых этим центром маршрутов. Совокупность таких таблиц по всем маршрутам содержит основную информацию о пространственно-временных траекториях всех полетов ВС в ВП района УВД (зоны УВД) и используется для решения задач суточного и текущего планирования ВД.

На картах маршруты полетов показываются схемами, которые также используется для суточного и текущего планирования ВД (рисунок 3.2).

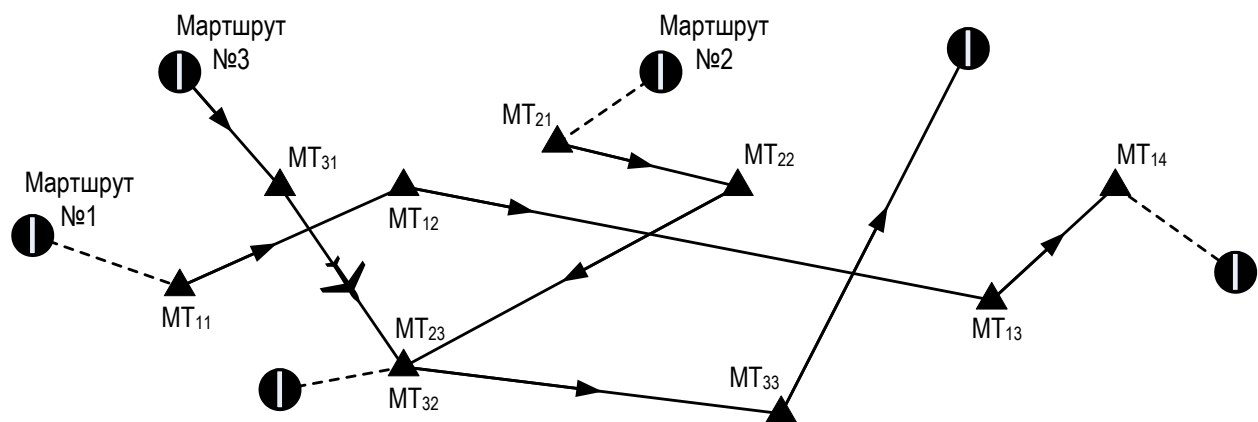


Рисунок 3.2 — Примерный вид фрагмента схемы маршрутов

Выполняемые на этом этапе расчеты являются основой для формирования баз данных, играющих роль информационных моделей практически всех процессов УВД. Принципы использования баз данных для решения задач устранения ПКС будут рассмотрены далее.

3.1.2 Динамическая модель движения воздушного судна в АСУ полетами и воздушным движением

Динамическая модель движения ВС описывает процесс движения ВС в пространстве как материальной точки под воздействием внешних сил, приводящих к изменению положения центра масс ВС, т.е. к изменению пространственной траектории движения ВС. В общем случае на ВС в полете действуют три силы, приложенные к центру масс:

— полная аэродинамическая сила \bar{R} , ее вектор направлен от центра давления на самолетной аэродинамической хорде в противоположную сторону движения ВС;

— сила тяги двигателя \bar{P} , она действует по оси двигателя и направлена в общем случае из центра тяжести ВС под углом $\alpha_{дв}$ к связанной неподвижно с ВС оси OX_1 ;

— сила тяжести $\bar{G} = \bar{m}g$, ее вектор направлен из центра тяжести ВС к земле вдоль оси, параллельной оси OY_g земной неподвижной системы.

Вектор общей силы можно представить как сумму векторов

$$\bar{m}J = \bar{P} + \bar{R} + \bar{G}.$$

Вектор полной аэродинамической силы \bar{R} независимо от положения и выполняемых ВС маневров в полете всегда раскладывается по осям полусвязанной с ВС (поточной) системы координат $OX_{п}Y_{п}Z_{п}$, которая находится в плоскостях симметрии ВС с началом в центре давления, образуя вектор подъемной силы \bar{Y} , вектор сопротивления воздушной среды \bar{Q} и вектор боковой силы \bar{Z} .

$$\bar{R} = \bar{Y} + \bar{Q} + \bar{Z}.$$

Модули составляющих аэродинамических сил определяются по известным выражениям:

$$Y = C_y \frac{\rho V^2}{2} S; \quad Q = C_q \frac{\rho V^2}{2} S; \quad Z = C_z \frac{\rho V^2}{2} S,$$

где $\frac{\rho V^2}{2}$ — давление, создаваемое набегающим воздушным потоком на поверхность ВС (скоростной напор); S — площадь поверхности ВС;

$C_y = (M, \alpha \dots)$; $C_q = (M, \alpha \dots)$; $C_z = (M, \alpha \dots)$ — безразмерные аэродинамические коэффициенты для действующих на ВС сил.

Как уже упоминалось, полная аэродинамическая сила \bar{R} раскладывается по осям полусвязанной системы координат $OX_{\Pi}Y_{\Pi}Z_{\Pi}$, которая находится в плоскостях симметрии ВС (вдоль продольной и поперечных осей ВС), ось OX_{Π} находится в одной плоскости с вектором скорости ВС \bar{V} под углом скольжения β к вектору \bar{V} и под углом атаки α к продольной связанной с ВС оси OX_1 . Вектор \bar{Y} совпадает с положительным направлением оси OY_{Π} и лежит в вертикальной плоскости симметрии ВС, в которой находятся оси OX_1 и OY_1 связанной с ВС системы координат. Вектор \bar{Q} совпадает с отрицательным направлением оси OX_{Π} и лежит в вертикальной плоскости симметрии ВС, в которой также находятся вектор подъемной силы \bar{Y} и отрицательно направленные полуоси OX_1 , OY_{Π} . Вектор боковой силы \bar{Z} возникает при наличии у ВС угла скольжения β , угла крена γ или обоих углов одновременно. Направление вектора \bar{Z} может совпадать с положительным или отрицательным направлением оси OZ_{Π} в зависимости от принятого направления отсчета углов. Вектор \bar{Z} лежит в горизонтальной плоскости симметрии ВС, в которой находится ось OZ_1 связанной системы координат и вектор скорости \bar{V} воздушного судна. На рисунке 3.3 показаны связанная $OX_1Y_1Z_1$, полусвязанная (поточная) $OX_{\Pi}Y_{\Pi}Z_{\Pi}$ и траекторная (скоростная) $OX_TY_TZ_T$ системы координат ВС, летящего со скоростью \bar{V} без крена ($\gamma=0$) с углом скольжения β , углом атаки α , углом наклона траектории θ (необязательно в горизонтальном по отношению к земле полете). В траекторной (скоростной) системе координат ось OX_T является продолжением вектора скорости \bar{V} , ось OZ_T всегда параллельна земной поверхности, а ось OY_T перпендикулярна осям OX_{Π} , OZ_{Π} и лежит в местной земной вертикальной плоскости. На этом же рисунке показано разложение полной аэродинамической силы \bar{R} на составляющие \bar{Y} , \bar{Q} , \bar{Z} .

Кроме сил на центр масс ВС действуют моменты от аэродинамических сил и плеч. Проекция момента от полной аэродинамической силы \bar{R} на оси связанной с ВС системы координат $OX_1Y_1Z_1$ имеют следующие математические выражения:

$$M_{x_1} = m_{x_1} \frac{\rho V^2}{2} S l; \quad M_{y_1} = m_{y_1} \frac{\rho V^2}{2} S l; \quad M_{z_1} = m_{z_1} \frac{\rho V^2}{2} S b_a,$$

где m_{x_1} , m_{y_1} , m_{z_1} — безразмерные коэффициенты моментов крена, рыскания и тангажа; l — размах крыла; b_a — средняя аэродинамическая хорда крыла.

Моменты разворачивают ВС вокруг осей OX_1 , OY_1 , OZ_1 , создавая углы крена γ , скольжения β , тангажа ψ и угол наклона траектории θ .

В режиме управления ВС на траектории эти моменты с помощью орга-

нов управления: элеронов, руля высоты, отклоняющегося стабилизатора специально создаются для образования углов крена и тангажа с целью перемещения центра масс ВС в вертикальной и горизонтальной плоскости. В режиме стабилизации ВС на траектории эти моменты компенсируются органами управления.

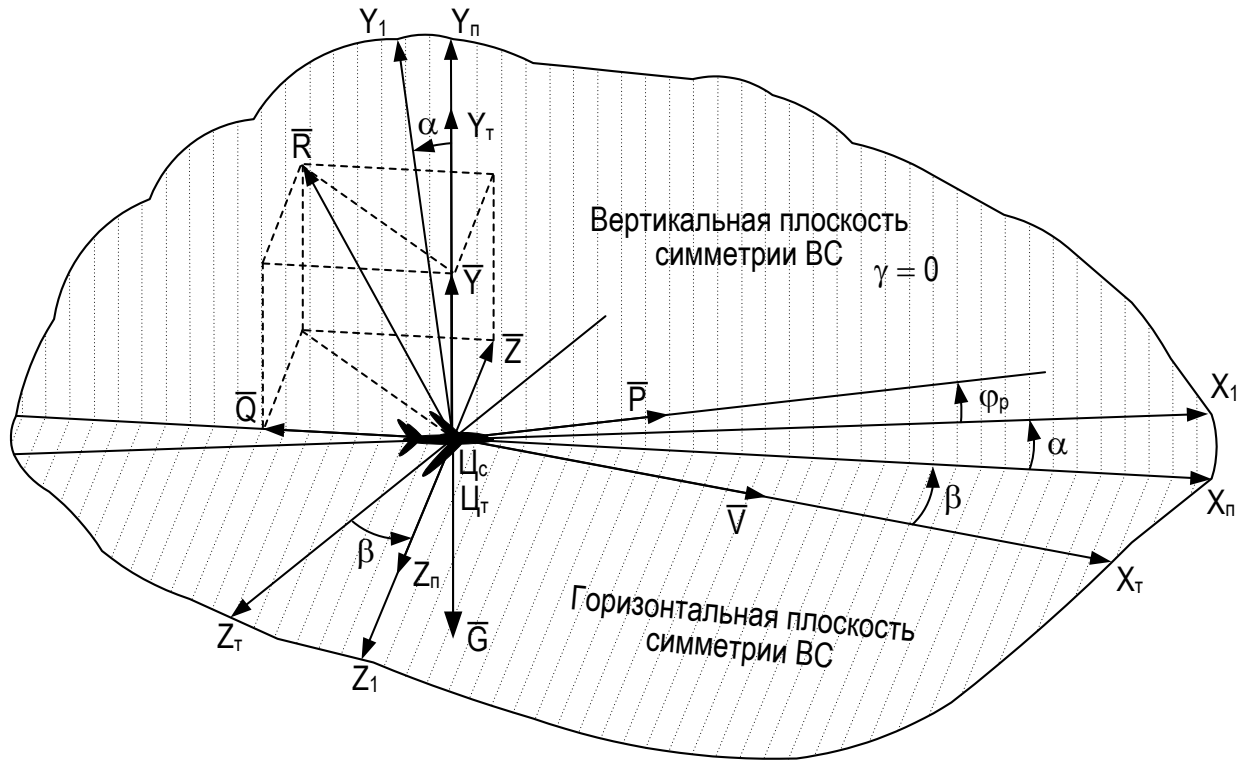


Рисунок 3.3 — Связанная, полусвязанная (поточная) и траекторная (скоростная) системы координат

Динамическая модель движения ВС в земной неподвижной системе координат $0X_g Y_g Z_g$ полностью описывается тремя дифференциальными уравнениями движения центра масс под воздействием сил в проекциях на оси $0X_g, 0Y_g, 0Z_g$, тремя кинематическими уравнениями движения центра масс вдоль этих осей, двумя кинематическими уравнениями изменения географической широты и долготы и уравнением изменения веса ВС, связанного с секундным расходом топлива. В уравнениях кроме сил $\bar{P}, \bar{Y}, \bar{Q}, \bar{Z}$, углов тангажа, крена, рыскания, угла атаки учитывается влияние массы ВС, угловой скорости вращения Земли, радиуса Земли, географической широты места ВС, высоты полета. При моделировании воздушной обстановки и решения задач УВД последние составляющие в уравнениях не используются, поэтому система уравнений действующих на ВС сил упрощается и уравнения сил записываются в проекциях сил на скоростную (она же траекторная) систему координат, связанную с ВС (см. рисунок 3.3). В этом случае ускорение в местной вертикальной плоскости вдоль оси $0Y_t$ равно:

$$J_y = \frac{V^2}{r_B} = V\omega_z = V \frac{d\theta}{dt},$$

где r_B — радиус кривизны траектории в вертикальной плоскости, ω_z — угловая скорость вращения вектора \bar{V} вокруг оси OZ_n ; θ — угол наклона траектории (вектора скорости) относительно земной поверхности.

Ускорение в местной горизонтальной плоскости вдоль оси OZ_T равно:

$$J_z = \frac{(V \cos\theta)^2}{r_r} = V \cos\theta \omega_y = V \cos\theta \frac{d\theta}{dt},$$

где r — радиус кривизны траектории в горизонтальной плоскости; ω_y — угловая скорость вращения вектора \bar{V} вокруг оси OY_n , φ — угол между проекцией вектора скорости на горизонтальную плоскость и одной из осей земной системы координат.

На рисунке 3.3 показано взаимное положение траекторной (скоростной) и земной системы координат и проекции сил на оси траекторной системы координат $OX_T Y_T Z_T$ при наличии у ВС угла скольжения β , тангажа ν , атаки α , угла наклона траектории θ и угла крена γ .

Автоматизированное управление ВС при НУ с земли состоит в воздействии на ЦМ с целью изменения его траектории движения в пространстве. Воздействие осуществляется с помощью сигналов, вырабатываемых как в САУ ВС, так и в АСУП и ВД, находящейся на ПУ или в ЦУ РЦ ЕС ОрВД, с целью перемещения рулей $\delta_{руд}$, δ_γ , δ_ν , δ_n .

Запишем уравнения движения ЦМ ВС как материальной точки в пространстве с учетом сделанных допущений. Уравнения движения ЦМ ВС записываются в траекторной системе координат (третьей системе координат, связанной с ВС), в которой ось OX_T совпадает с вектором скорости ВС \bar{V} , ось OZ_T всегда параллельна поверхности земли, а ось OY_T перпендикулярна двум первым осям и всегда находится в вертикальной плоскости, но наклонена к поверхности земли, как и вектор \bar{V} , на угол наклона траектории θ . Чтобы записать уравнения движения ЦМ в траекторной системе координат необходимо все силы, действующие на ВС в связанной системе координат (силу \bar{P}) и полусвязанный (поточной) системе координат $OX_n Y_n Z_n$, спроектировать на оси траекторной системы координат $OX_T Y_T Z_T$. На рисунке 3.4 показаны оси координат в их проекциях на вертикальную и горизонтальную плоскость неподвижной земной системы координат ($OX_g Y_g Z_g$), а также силы и их проекции, под воздействием которых осуществляется продольное и боковое движение ВС:

$$m \frac{dv}{dt} = P \cos(\alpha + \varphi_p) \cos\beta - Q \cos\beta - Z \sin\beta - G \sin\theta;$$

$$mV \frac{d\theta}{dt} = P [\sin(\alpha + \varphi_h) \cos\gamma + \cos(\alpha + \varphi_h) \sin\beta \sin\gamma] - \\ - Q \sin\beta \sin\gamma + Y \cos\gamma + Z \cos\beta \sin\gamma - G \cos\theta;$$

$$-mV \cos\theta \frac{d\varphi}{dt} = P[\sin(\alpha + \alpha_p) \sin\gamma - \cos(\alpha - \alpha_p) \sin\beta \cos\gamma] + \\ + Q \sin\beta \cos\gamma + Y \sin\gamma - Z \cos\beta \cos\gamma.$$

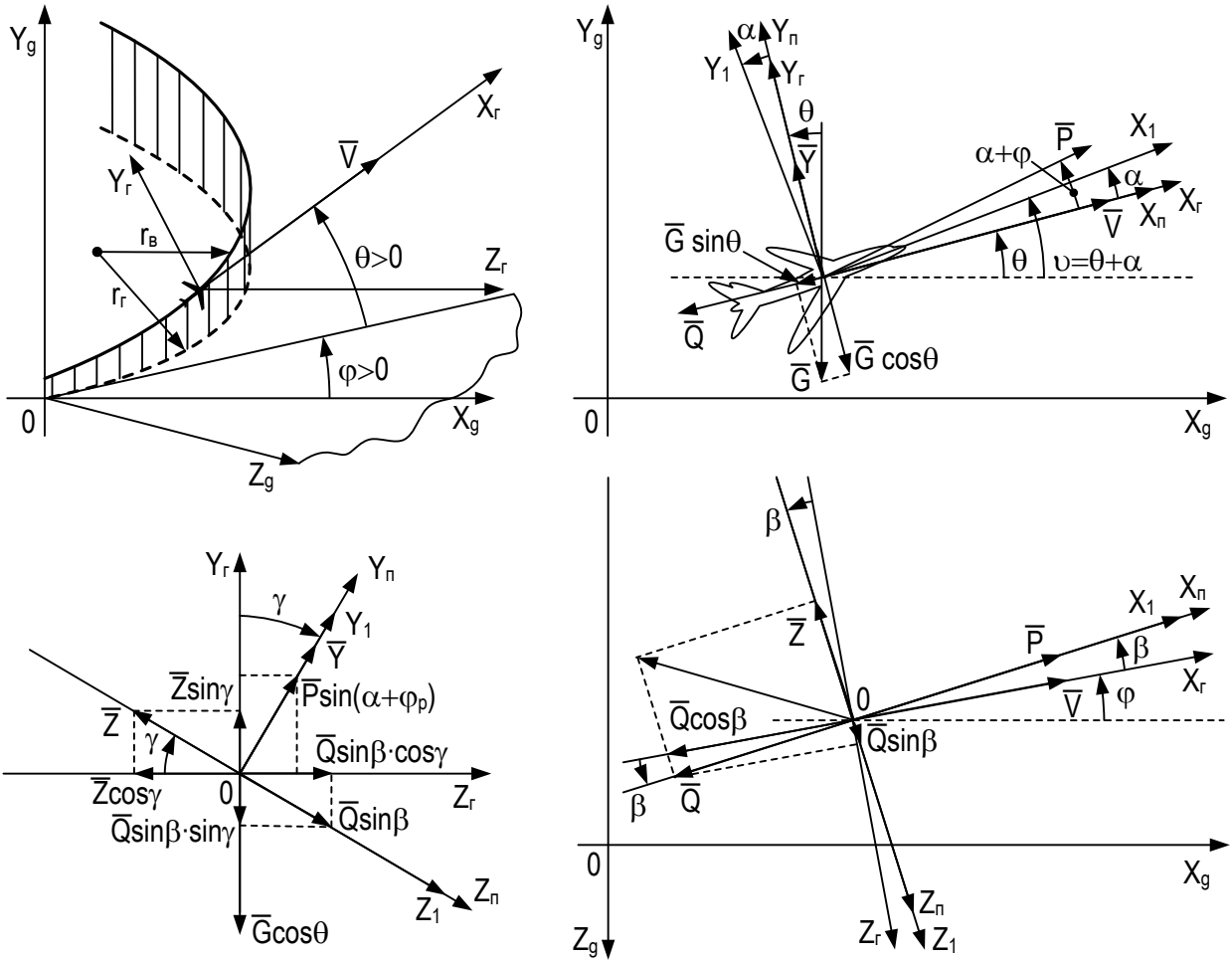


Рисунок 3.4 — Взаимное положение земной и скоростной системы координат. Проекция сил на оси скоростной (траекторной) системы координат

Дальнейшее упрощение уравнений связано с малыми величинами углов α и β , вызывающие аэродинамические силы, поэтому допустимо принять:

$$\sin\alpha \approx \alpha, \cos\alpha \approx 1, \sin\beta \approx \beta, \cos\beta \approx 1, \sin(\alpha + \varphi_p) \approx (\alpha + \varphi_p), \cos(\alpha + \varphi_p) \approx 1.$$

Уравнения движения принимают вид:

$$m \frac{dv}{dt} = P - Q - Z \beta - G \sin\theta;$$

$$mV \frac{d\theta}{dt} = P [(\alpha + \varphi_h) \cos\gamma + \beta \sin\gamma] - Q \beta \sin\gamma + Y \cos\gamma + Z \sin\gamma - G \cos\theta;$$

$$-mV \cos\theta \frac{d\varphi}{dt} = P[(\alpha + \alpha_p) \sin\gamma - \beta \cos\gamma] + Q \beta \cos\gamma + Y \sin\gamma - Z \cos\gamma.$$

В третьем уравнении знак «минус» учитывает знаки углов крена γ и пути φ .

Если принять, что у ВС при появлении угла скольжения он устраняется демпфером, вектор \bar{Z} возникает при появлении угла крена и вектор тяги совпадает с вектором скорости, то уравнения имеют самый простой вид:

$$m \frac{dv}{dt} = P - Q - G \sin\theta;$$

$$mV \frac{d\theta}{dt} = Y \cos\gamma - G \cos\theta;$$

$$-mV \cos\theta \frac{d\varphi}{dt} = Y \sin\gamma.$$

Оставив в левых частях уравнений только производные параметров траектории и выразив правые части уравнений через перегрузки

$$n_x = \frac{P-Q}{G}; \quad n_y = \frac{Y}{G}; \quad n_z = \frac{Z}{G}; \quad G = mg; \quad Y = C_y \frac{\rho V^2}{2} S; \quad Z = C_z \frac{\rho V^2}{2} S,$$

получим уравнения движения центра масс ВС в перегрузках:

$$\frac{dV}{dt} = g[n_x(t) - \sin\theta]; \quad \frac{d\theta}{dt} = \frac{g}{V} [n_y(t) \cos\gamma - \cos\theta]; \quad \frac{d\varphi}{dt} = -\frac{g}{V \cos\theta} n_y(t) \sin\gamma(t).$$

Управляющими параметрами в этих уравнениях являются перегрузки $n_x(t)$, $n_y(t)$, $n_z(t)$ и угол крена $\gamma(t)$.

Перегрузки и крен создаются экипажем или бортовой САУ ВС по командам с наземных ПУ в виде заданных величин: заданной скорости $V_{зад}$, заданной вертикальной скорости $V_{зад}^B$ и путевого угла $\varphi_{зад}$, вырабатываемых АСУ П и ВД в режиме непосредственного управления ВС в аэродромном и во внеаэродромном ВП. Параметры $n_x(t)$, $n_y(t)$, $n_z(t)$ и $\gamma(t)$ связаны с командами управления $V_{зад}$, $V_{зад}^B$, $\varphi_{зад}$ следующими зависимостями:

$$n_x(t) = \frac{1}{g} f_V[V_{зад} - V(t)] + \sin\theta(t);$$

$$n_y(t) = \left\{ \frac{V(t)}{g} f_{\theta}[V_{зад}^B - V(t) \sin\theta(t)] + \cos\theta(t) \right\} \frac{1}{\cos\gamma(t)};$$

$$\sin\gamma(t) = \frac{V \cos\theta}{g n_y(t)} f_\varphi[\varphi_{\text{зад}} - \varphi(t)].$$

После ряда преобразований получим дифференциальные уравнения движения центра масс ВС в скоростной (траекторной) системе координат в простом виде

$$\frac{dv}{dt} = f_v[V_{\text{зад}} - V(t)]; \quad \frac{d\theta}{dt} = f_g[V_{\text{зад}}^B - V(t) \sin\theta(t)]; \quad \frac{d\varphi}{dt} = f_\varphi[\varphi_{\text{зад}} - \varphi(t)].$$

Выражения для производных в правых частях уравнений с коэффициентами f_v , f_g , f_φ учитывают динамические свойства ВС — «энергичность» или «вялость» в исполнении заданных команд конкретным ВС.

Интегрируя эти уравнения, получим текущие значения $V(t)$, $\theta(t)$, $\varphi(t)$.

Движение ВС в пространстве в земной неподвижной системе координат $OX_g Y_g Z_g$ определяются кинематическими уравнениями:

$$\frac{dX_g}{dt} = V \cos\theta(t) \cos\varphi(t); \quad \frac{dY_g}{dt} = \dot{H}(t) = V \sin\theta(t); \quad \frac{dZ_g}{dt} = -V \cos\theta(t) \sin\varphi(t).$$

Интегрируя уравнения, найдем координаты ВС и траектории их движения в неподвижной земной системе координат $OX_g Y_g Z_g$.

Зная координаты ВС и координаты других объектов, можно в АСУ П и ВД вырабатывать управляющие команды для ВС (вывод в заданную точку или область ВП), а также оценивать взаимное положение ВС с целью недопущения конфликтных ситуаций по критерию:

$$\frac{[X_{g_i}(t) - X_{g_k}(t)]^2 + [Z_{g_i}(t) - Z_{g_k}(t)]^2}{L_{\text{без}}^2} + \frac{[H_i(t) - H_k(t)]^2}{H_{\text{без}}^2} \geq 1,$$

где i и k — индексы (номера) ВС, подлежащих перебору.

Следует отметить, что силой Z можно пренебречь из-за того, что управление в боковом движении ВС идет через крен γ . Управляемыми параметрами, позволяющими изменять положение ЦМ ВС и, следовательно, менять траекторию полета ВС, являются:

— тяга P , она вызывает ускорение и повышение скорости

$$V(t) = V_{\text{исх}} + \int_0^t dV;$$

— угол тангажа $\nu = \alpha + \theta$ — изменение ν приводит к изменению угла атаки α и, следовательно, подъемной силы и угла наклона траектории (вектора скорости) относительно земной поверхности θ . Изменение угла θ ведёт к

изменению вертикальной скорости $V_B = V \sin\theta$ и, как следствие, к изменению высоты полета ВС; V_B растёт медленнее, чем α ;

— угол крена γ ; крен изменяется быстро и ведет к изменению

$$\dot{\varphi} = \frac{g}{V} \operatorname{tg}\gamma; \quad \varphi(t) = \varphi_{\text{исх}} + \int_0^t \dot{\varphi} dt.$$

При управлении ВС с земли на борт поступают не значения перегрузок, а заданные значения $V_{\text{зад}}^r$, $V_{\text{зад}}^b$, $\psi_{\text{зад}}$. Между этими параметрами и производными в левых частях уравнений имеется связь через передаточные коэффициенты:

$$\frac{dV}{dt} = f_V[V_{\text{зад}}^r - V_r(t)]; \quad \frac{dV}{dt} = f_\theta[V_{\text{зад}}^b - V \sin\theta(t)]; \quad \frac{d\varphi}{dt} = f_\varphi[\varphi_{\text{зад}} - \varphi(t)].$$

Таким образом, в АСУ П и ВД в аэродромном ВП НУ сводится к управлению курсом ψ для вывода ВС на предпосадочную прямую и выдерживания посадочного курса; управлению углом наклона траектории θ для выдерживания глиссады посадки через $\nu = \alpha + \theta$ и вертикальной скорости $\dot{H} = V \sin\theta$, управлению скоростью V на траектории посадки.

Выдерживание угла наклона траектории при снижении или полёте по глиссаде осуществляется через угол тангажа:

$$v(t) = K_\theta^v[Q(t) - Q_{\text{зад}}] - K_\theta^v \dot{\theta}; \quad \dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt}; \quad Q(t) = Q_{\text{нач}} + \int_0^t \dot{\theta} dt.$$

Управление высотой полета также осуществляется через угол тангажа:

$$v(t) = K_v^H[H_{\text{зад}} - H(t)] + K_v^{\Delta\theta} \Delta\theta(t); \quad \Delta\theta(t) = \theta(t) - \theta(t_{\text{нач}}); \quad \theta(t) = \theta_{\text{нач}} + \int_0^t \dot{\theta} dt.$$

Передаточные коэффициенты $K_v^H = \frac{dv}{dH}$ и $K_v^{\Delta\theta} = \frac{dv}{d\theta}$ — это производные функций $v = f_1(H)$ и $v = f_2(\theta)$, которые характеризуют «вялость» или «энергичность» изменения угла тангажа на величину изменения высоты H и угла наклона траектории θ . Эти передаточные коэффициенты определяются динамическими свойствами конкретного ВС.

График зависимости изменения высоты полета ВС от угла тангажа и приращения угла наклона траектории приведен на рисунке 3.5.

Положение ЦМ ВС в ВП аэродрома, на ВТ, МП определяется интегри-

рованием дифференциальных уравнений, полученных при рассмотрении кинематики движения ВС:

$$\frac{dX_g}{dt} = V \cos\theta \cos\varphi; \quad \frac{dZ_g}{dt} = -V \cos\theta \sin\varphi; \quad \frac{dH}{dt} = V \sin\theta.$$

$$X_g(t) = X_{x_0} + \int_0^t \dot{X}_g dt; \quad Z_g(t) = Z_{x_0} + \int_0^t \dot{Z}_g dt; \quad H(t) = Y_0 + \int_0^t \dot{H} dt.$$

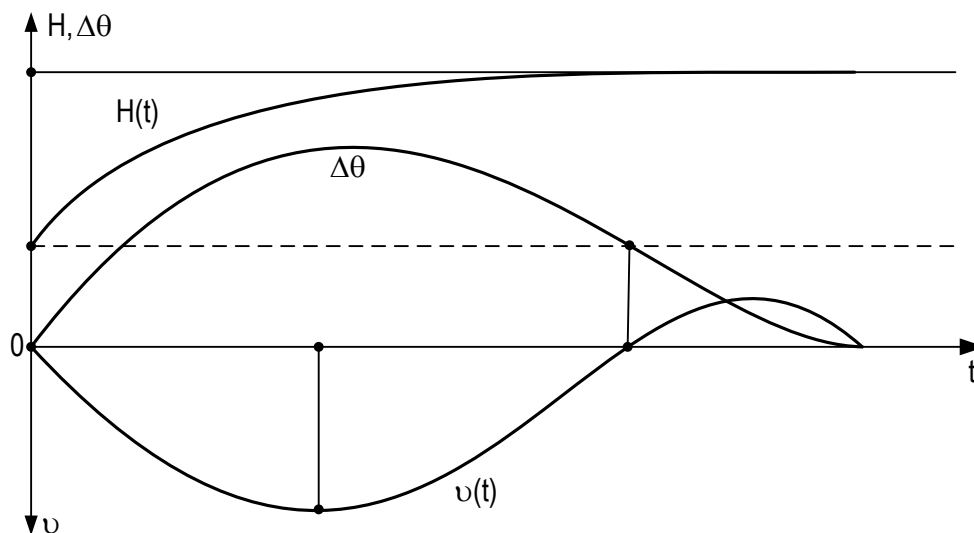


Рисунок 3.5 — График зависимости изменения высоты полета ВС от угла тангажа и приращения угла наклона траектории

Пространственные координаты $X_g(t)$, $Z_g(t)$, $H(t)$ позволяют рассчитать текущее эшелонирование ВС в ВП между ВС в момент t и выработки команд для «развода» ВС в процессе автоматизированного непосредственного управления.

В целом, динамическая модель движения воздушных судов дает возможность дублировать в АСУ П и ВД воздушную обстановку при отказе средств наблюдения, принимать в конфликтных ситуациях решения в виде передачи на борт ВС управляющих команд при условии, что в АСУ П и ВД реализовано математическое и программное обеспечение.

3.1.3 Кинематическая модель движения воздушного судна

Кинематическая модель описывает движение ВС в пространстве как материальной точки без учета воздействия на нее управляющих и возмущающих сил.

Кинематическая модель движения воздушного судна в горизонтальной плоскости при следовании по маршруту или по воздушной трассе без учета воздействия на него управляющих и возмущающих воздействий в системе

координат центра управления ВД описывается следующей системой дифференциальных уравнений (рисунок 3.6):

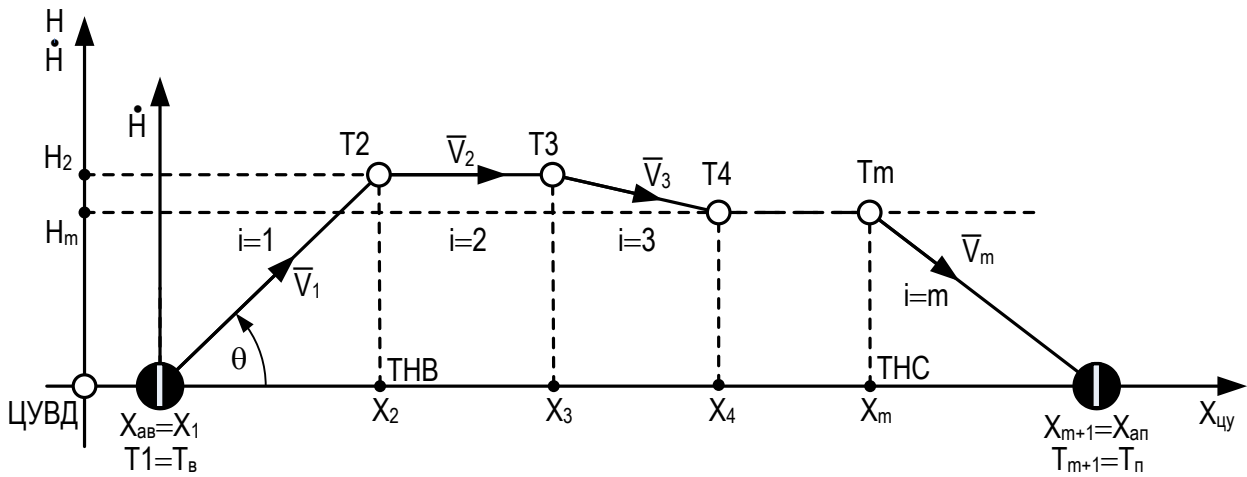
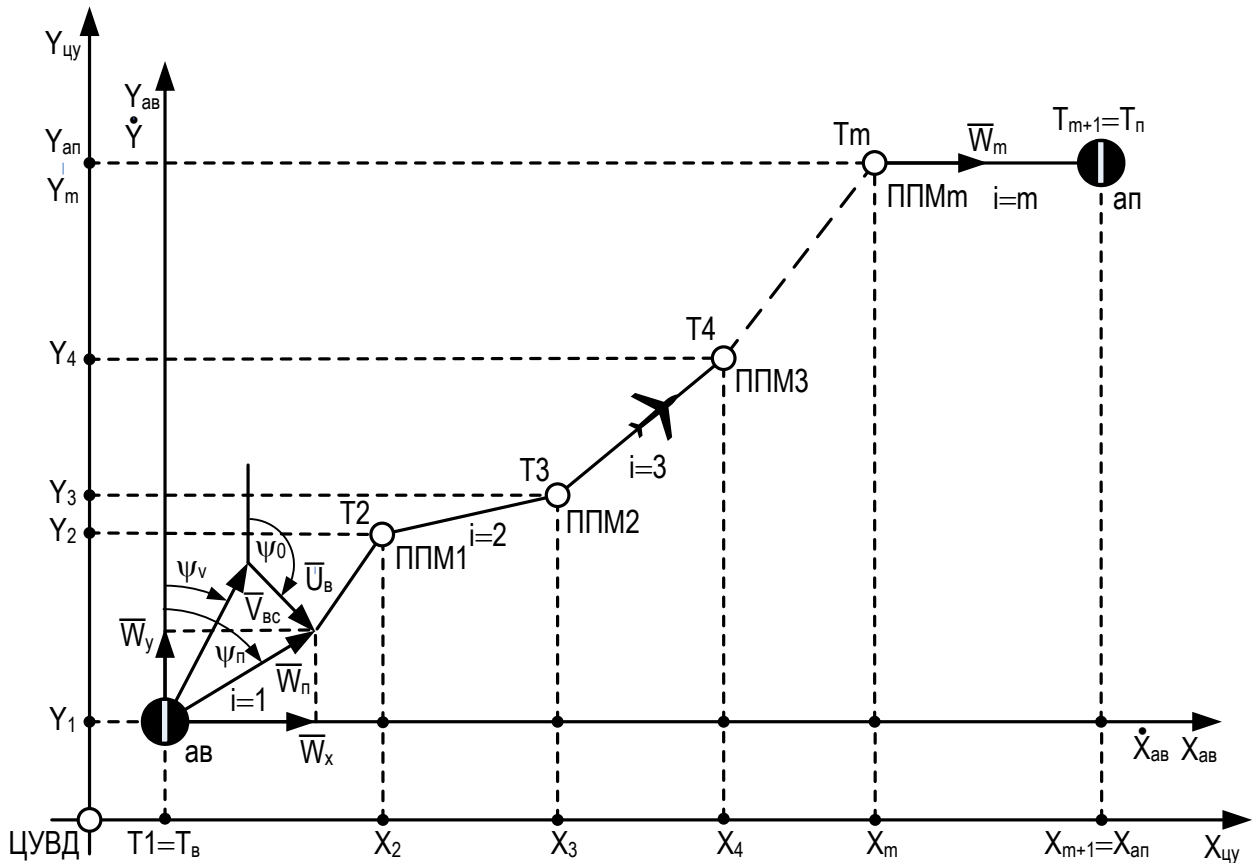


Рисунок 3.6 — Кинематическая модель движения воздушного судна

$$\begin{cases} \dot{X} = V \sin \psi + U \sin \psi_U, \\ \dot{Y} = V \cos \psi + U \cos \psi_U, \\ \dot{\psi} = \frac{g}{V} \operatorname{tg} \gamma, \\ \dot{V} = a_x, \end{cases}$$

где $\dot{X} = W \sin \psi_w$ — проекция вектора путевой скорости BC (W) на ось

$OX(W_x)$ земной системы координат; $\dot{Y} = W \cos \psi_w$ — проекция вектора путевой скорости ВС на ось $OY(W_y)$ земной системы координат, связанной с ЦУ ВД; $W = \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$ — модуль вектора путевой скорости ВС; $\psi_w = \text{arvtg} \frac{W_x}{W_y}$ — курс ВС по путевой скорости; V — воздушная скорость ВС; ψ — курсовой угол ВС; U — скорость ветра; ψ_U — навигационное направление (угол) ветра; $\dot{\psi}$ — скорость изменения курса ВС; g — ускорение свободного падения; γ — угол крена ВС; a_x — продольное ускорение ВС вдоль оси OX траекторной (скоростной) системы координат, связанной с ВС и отличной от земной системы координат.

Управляемыми параметрами движения ВС в горизонтальной плоскости являются воздушная скорость V (через продольное ускорение a_x) и курсовой угол ψ (через угол крена γ), значения которых в момент времени t_i определяются следующими соотношениями:

$$V_i = V_{i-1} + \int_{t_{i-1}}^{t_i} a_x(t) dt,$$

$$\psi_i = \psi_{i-1} + \int_{t_{i-1}}^{t_i} \frac{g}{V(t)} \text{tg} \gamma(t) dt \approx \psi_{i-1} + \dot{\psi}_{i-1,i} (t_i - t_{i-1}), \quad i = 1, 2, 3, \dots, m-1,$$

где V_i , ψ_i и V_{i-1} , ψ_{i-1} — соответственно значения воздушной скорости и курсового угла в моменты времени t_i и t_{i-1} ; $a_x(t)$, $V(t)$, $\gamma(t)$ — ускорение, воздушная скорость и угол крена ВС как функции времени; $\dot{\psi}_{i-1,i}$ — скорость изменения курса ВС, постоянная на интервале времени $[t_{i-1}, t_i]$.

Эти уравнения позволяют по маршрутной части заявки на полет ВС рассчитать маршрут движения ВС в горизонтальной плоскости и отобразить его в виде планового трека ВС на устройствах отображения воздушной обстановки диспетчеров ЦУ ВД или на «стрипах» (бумажных лентах) при отказе средств отображения ВО. Координаты точек планового трека, состоящего из « m » участков маршрута в горизонтальной плоскости, рассчитываются по формулам :

$$X_i = X_{i-1} + \int_{t_{i-1}}^{t_i} \dot{X} dt \approx X_{i-1} + \dot{X}_{i-1,i} (t_i - t_{i-1});$$

$$Y_i = Y_{i-1} + \int_{t_{i-1}}^{t_i} \dot{Y} dt \approx Y_{i-1} + \dot{Y}_{i-1,i}(t_i - t_{i-1});$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m-1,$$

где X_{i-1} , Y_{i-1} — значения координат в момент времени t_{i-1} ; X_i , Y_i — значения координат в момент времени t_i ; $\dot{X}(t)$, $\dot{Y}(t)$ — скорости изменения координат как функции времени; $\dot{X}_{i-1}(t)$, $\dot{Y}_{i-1}(t)$ — скорости изменения координат, постоянные на интервале времени $[t_{i-1}, t_i]$. При этом координаты аэродрома вылета обозначаются $X_0 = X(t_0) = X_{ав}$ и $Y_0 = Y(t_0) = Y_{ав}$, где t_0 — время вылета ВС, а координаты аэродрома посадки: $X_m = X(t_m) = X_{ап}$, $Y_m = Y(t_m) = Y_{ап}$, где t_m — время посадки ВС.

Представленные выше уравнения, описывающие движения ВС в горизонтальной плоскости применяются в АСУ П и ВД для, так называемой, «штилевой прокладки» (без учета ветра) маршрута полета ВС, то есть для расчета координат точек местоположения ВС в любой произвольный момент времени t , начиная от момента взлета, и их отображения в виде линии планового трека. Такое «сопровождение» позволяет наблюдать движение ВС на средствах отображения воздушной и наземной обстановки и фиксировать точки его местоположения на стрипах при отсутствии сплошного радиолокационного поля на ВТ и МВЛ, а также при движении ВС на высотах ниже нижней границы радиолокационного поля центров УВД, то есть при реализации метода процедурного управления ВД.

Расчет координат точек текущего местоположения ВС на j -ом участке маршрута в произвольный (текущий) момент времени t производится по следующим формулам:

$$X_j(t) = X(t_0) + \sum_{i=1}^j \dot{X}_{i-1,i}(t_i - t_{i-1}) + \dot{X}_{j,j+1}(t - t_j);$$

$$Y_j(t) = Y(t_0) + \sum_{i=1}^j \dot{Y}_{i-1,i}(t_i - t_{i-1}) + \dot{Y}_{j,j+1}(t - t_j);$$

где $X(t_0)$, $Y(t_0)$ — координаты аэродрома вылета; t_0 — время вылета; $\dot{X}_{j,j+1}$, $\dot{Y}_{j,j+1}$ — скорости изменения координат между смежными ППМ; $t_1 - t_{m-1}$ — времена пролета ППМ по плану; $j = 0, 1, 2, \dots, (m-1)$ — номера участков маршрута ВС; $i = 0, 1, 2, \dots, m$ — номера маршрутных точек (0 — аэродром вылета, m — аэродром посадки, $1, 2, 3, \dots, (m-1)$ — ППМ).

Данные выражения можно записать в рекуррентном виде, используя следующее обозначение координаты X конечной точки $(j-1)$ -го участка маршрута, которую проходит ВС в момент времени t_j :

$$X_{j-1}(t) = X_{j-1}(t_0) + \sum_{i=1}^j \dot{X}_{i-1,i}(t_i - t_{i-1});$$

$$Y_{j-1}(t) = Y_{j-1}(t_0) + \sum_{i=1}^j \dot{Y}_{i-1,i}(t_i - t_{i-1});$$

Тогда координаты точек текущего местоположения ВС на j -ом участке маршрута в произвольный (текущий) момент времени t можно записать в следующем виде:

$$X_j(t) = X_{j-1}(t_j) + \dot{X}_{j,j+1}(t - t_j);$$

$$Y_j(t) = Y_{j-1}(t_j) + \dot{Y}_{j,j+1}(t - t_j).$$

Для момента старта ВС ($j = 0, t = t_0$) данные выражения имеют вид:

$$X_0(t_0) = X_{ав}; \quad Y_0(t_0) = Y_{ав}.$$

Для момента прохода первого ППМ получим:

$$X_0(t_1) = X_{ав} + \dot{X}_{0,1}(t_1 - t_0);$$

$$Y_0(t_1) = Y_{ав} + \dot{Y}_{0,1}(t_1 - t_0),$$

где $\dot{X}_{0,1}, \dot{Y}_{0,1}$ — средние скорости изменения координат ВС на 0-ом участке маршрута.

Для момента посадки получим:

$$X_{m-1}(t_m) = X_{ав} + \dot{X}_{0,1}(t_1 - t_0) + \dot{X}_{1,2}(t_2 - t_1) + \dots + \dot{X}_{m-1,m}(t_m - t_{m-1});$$

$$Y_{m-1}(t_m) = Y_{ав} + \dot{Y}_{0,1}(t_1 - t_0) + \dot{Y}_{1,2}(t_2 - t_1) + \dots + \dot{Y}_{m-1,m}(t_m - t_{m-1}).$$

При этом точность выполнения расчетов характеризуется следующими условиями:

$$X_{m-1}(t_m) = X_{ап}, \quad Y_{m-1}(t_m) = Y_{ап}.$$

Если в процессе расчета и отображения плановых (текущих) координат точек j -го участка маршрута на момент $t' > t_j$:

$$X_j(t') = X_{j-1}(t_j) + \dot{X}_{j,j+1}(t' - t_j);$$

$$Y_j(t') = Y_{j-1}(t_j) + \dot{Y}_{j,j+1}(t' - t_j)$$

будут получены (измерены) их истинные значения $X^n(t')$, $Y^n(t')$, то при значительном расхождении этих значений и значений $X_j(t')$, $Y_j(t')$ можно устранить возникшую погрешность вычисления путем ввода значений $X^n(t')$, $Y^n(t')$ в систему расчета траекторий и продолжать вычисления плановых координат не со значений $X_j(t')$, $Y_j(t')$, а со значений $X^n(t')$, $Y^n(t')$. Для этого необходимо в рассмотренных выше соотношениях установить $t_j = t'$, $X_{j-1}(t_j) = X^n(t')$, а $Y_{j-1}(t_j) = Y^n(t')$ и продолжить вычисления. Этими действиями конечная точка $(j-1)$ -го участка маршрута с временем пролета j -го ППМ t_j смещается в точку t' получения значений $X^n(t')$, $Y^n(t')$.

При полете ВС с переменным профилем на маршруте, в зоне подхода или в аэродромном ВП кинематические уравнения движения ВС с учетом движения в вертикальной плоскости имеют следующий вид:

$$\dot{X} = V \cos\theta \sin\psi + U \sin\psi_U;$$

$$\dot{Y} = V \cos\theta \cos\psi + U \cos\psi_U;$$

$$\dot{\psi} = \frac{g}{V} \operatorname{tg}\gamma \cos\theta;$$

$$\dot{V} = a_x;$$

$$\dot{H}_g = \dot{Y}_g = V \cos\theta,$$

где θ — угол наклона траектории ВС (при наборе высоты ВС этот угол положительный, а при снижении — отрицательный).

Для расчета и отображения плановых треков полетов ВС в вертикальной плоскости используются следующие соотношения:

$$H_j(t_{j+1}) = H_{j-1}(t_j) + \int_j^{j+1} \dot{H}_{j,j+1}(t) dt = H_{j-1}(t_j) + \dot{H}_{j,j+1}^{cp}(t_{j+1} - t_j),$$

где j — номер участка полета с переменным профилем полета ВС; $H_{j-1}(t_j)$ — высота полета ВС в конце $(j-1)$ -го участка маршрута в момент t_j прохождения j -го ППМ; $H_j(t_{j+1})$ — высота полета ВС в конце j -го участка маршрута в момент t_{j+1} прохождения $(j+1)$ -го ППМ; $\dot{H}_{j,j+1}^{cp}$ — средняя скорость изменения высоты на j -ом участке маршрута.

Для расчета текущей высоты полета ВС на маршруте используются аналогичные соотношения:

$$H_j(t) = H(t_0) + \sum_{i=1}^j \dot{H}_{i-1, i}(t_i - t_{i-1}) + \dot{H}_{j, j+1}(t - t_j);$$

$$H_j(t) = \dot{H}_{j-1}(t_j) + \dot{H}_{j, j+1}(t - t_j).$$

Рассмотренные соотношения расчета координат точек пространственного положения ВС могут быть использованы для обнаружения потенциально конфликтующих пар ВС $\langle BC_i, BC_j \rangle$ на этапе планирования ВД:

$$\text{при } \frac{[X_i(t) - X_j(t)]^2 + [Y_i(t) - Y_j(t)]^2}{L_{\text{без}}^2} + \frac{[H_i(t) - H_j(t)]^2}{H_{\text{без}}^2} \geq 1 \text{ — ПКС отсутствует;}$$

$$\text{при } \frac{[X_i(t) - X_j(t)]^2 + [Y_i(t) - Y_j(t)]^2}{L_{\text{без}}^2} + \frac{[H_i(t) - H_j(t)]^2}{H_{\text{без}}^2} < 1 \text{ — ПКС существует.}$$

В рассмотренных формулах используются прямоугольные координаты маршрутных и текущих точек местоположения ВС, которые при необходимости переводятся из географических координат объектов φ и λ в прямоугольные с использованием системы координат Гаусса-Крюгера или условно-прямоугольной системы координат.

3.1.4 Определение конфликтных ситуаций на этапах суточного и текущего планирования

Маршрутные таблицы содержащие пространственно-временные траектории движения заявленных ВС, служат основой для поиска и устранения потенциальных конфликтных ситуаций (ПКС) на этапе суточного планирования, а также для обнаружения и устранения конфликтных ситуаций (КС) на этапе текущего планирования ВД в контролируемом районе (зоне) УВД.

Процедура поиска ПКС между различными ВС, а также между ВС и другими элементами ВП для всех заявленных маршрутов в общем виде состоит в следующей последовательности действий.

1. Из всей совокупности планов отбираются планы, которые имеют пересекающиеся интервалы времени полета.

2. Для отобранных планов выполняется поиск участков их маршрутов, на которых полёты планируются выполнять в одно и тоже время на одной и той же высоте, а также участков с набором и снижением высоты полета ВС;

3. Для этих участков маршрутов выполняется анализ взаимного положения ВС для оценки расстояния сближения между ними;

3.1. Определяются координаты точки пересечения $X_{\text{п}}$, $Y_{\text{п}}$ для i -го и j -го участков пересекающихся маршрутов путем совместного решения уравнений

прямых для этих участков $A_i x + B_i y + C_i = 0$, $A_j x + B_j y + C_j = 0$ (рисунок 3.7):

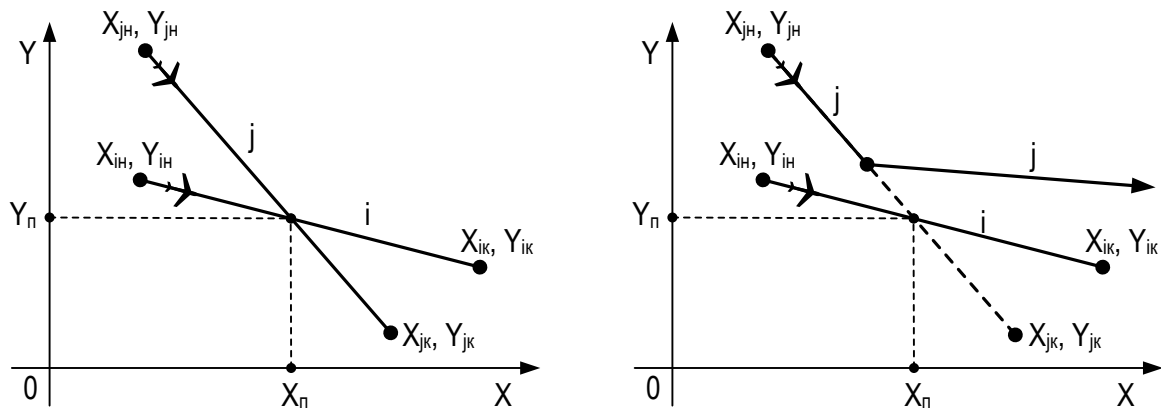


Рисунок 3.7 — Иллюстрация наличия ПКС

$$\begin{cases} X_{\text{п}} = \frac{\Delta_x}{\Delta}, \\ Y_{\text{п}} = \frac{\Delta_y}{\Delta}, \end{cases}$$

где $\Delta = \det \begin{vmatrix} A_i & B_i \\ A_j & B_j \end{vmatrix} = A_i B_j - B_i A_j$; $\Delta_x = \det \begin{vmatrix} C_i & B_i \\ C_j & B_j \end{vmatrix} = C_i B_j - B_i C_j$; $\Delta_y = \det \begin{vmatrix} A_i & C_i \\ A_j & C_j \end{vmatrix} = A_i C_j - C_i A_j$.

Значения коэффициентов A_i , A_j , B_i , B_j , C_i , C_j определяются из уравнений прямых, проходящих через две известные точки с координатами $(X_{\text{н}}, Y_{\text{н}})$, $(X_{\text{к}}, Y_{\text{к}})$. Уравнение i -ой прямой, проходящей через точки $(X_{\text{н}}, Y_{\text{н}})$, $(X_{\text{к}}, Y_{\text{к}})$ записывается в виде

$$\frac{y - Y_{\text{иН}}}{Y_{\text{иК}} - Y_{\text{иН}}} = \frac{x - X_{\text{иН}}}{X_{\text{иК}} - X_{\text{иН}}},$$

отсюда

$$(y - Y_{\text{иН}})(X_{\text{иК}} - X_{\text{иН}}) = (x - X_{\text{иН}})(Y_{\text{иК}} - Y_{\text{иН}}),$$

или

$$x(Y_{\text{иН}} - Y_{\text{иК}}) + y(X_{\text{иК}} - X_{\text{иН}}) + X_{\text{иН}}(Y_{\text{иК}} - Y_{\text{иН}}) + Y_{\text{иН}}(X_{\text{иН}} - X_{\text{иК}}) = 0.$$

Тогда коэффициенты для i -ой и аналогично для j -ой прямых определяются следующими соотношениями:

$$A_i = Y_{\text{иН}} - Y_{\text{иК}};$$

$$A_j = Y_{\text{жН}} - Y_{\text{жК}};$$

$$B_i = X_{\text{иК}} - X_{\text{иН}};$$

$$B_j = X_{\text{жК}} - X_{\text{жН}};$$

$$C_i = X_{\text{иН}} Y_{\text{иК}} - X_{\text{иК}} Y_{\text{иН}};$$

$$C_j = X_{\text{жН}} Y_{\text{жК}} - X_{\text{жК}} Y_{\text{жН}}.$$

Знание координат $X_{\text{п}}$, $Y_{\text{п}}$ позволяет установить факт пересечения двух участков анализируемых маршрутов по выполнению условий:

$$\begin{cases} X_{1н} \leq X_{п} \leq X_{1к} \\ X_{2н} \leq X_{п} \leq X_{2к} \end{cases} \quad \text{и} \quad \begin{cases} Y_{1н} \leq Y_{п} \leq Y_{1к} \\ Y_{2н} \leq Y_{п} \leq Y_{2к} \end{cases}.$$

3.2. Если в точке пересечения $X_{п}, Y_{п}$ разность времен прибытия BC_i и BC_j равна или превышает $\Delta t_{доп} = 15$ минут (см.п.1.5), то ПКС отсутствует. Иначе ПКС существует и необходимо выполнить коррекцию плана полета одного из ВС по времени или эшелону на соответствующем участке его маршрута.

Если в точке пересечения маршрутов одно из ВС меняет эшелон, то необходимо провести проверку наличия вертикального и горизонтального расстояния между ВС (рисунок 3.8).

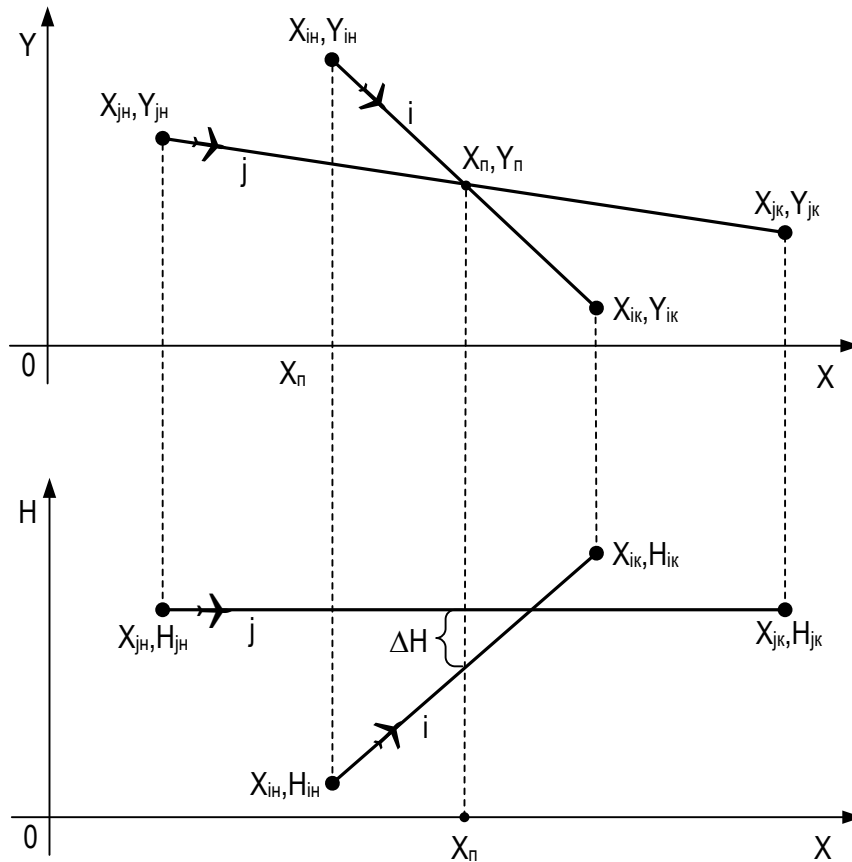


Рисунок 3.8 — Определение ПКС при смене эшелонов полета ВС

Для уточнения и разрешения ПКС требуется дополнительный расчёт времени прохождения точки конфликта воздушными судами, который выполняется на основе информации, содержащейся в маршрутных таблицах.

Для недопущения перехода ПКС в конфликтную ситуацию производится оценка величины временного или линейного удаления.

Найдём расстояния d_i и d_j от начальных точек участков маршрутов BC_i и BC_j до точки пересечения $X_{п}, Y_{п}$, а также расстояние d между начальными точками участков маршрутов двух ВС и разность их высот ΔH в точке пересечения участков маршрутов, если ВС на этих участках меняют эшелоны по-

лета (рисунок 3.9):

$$d_i = \sqrt{(X_n - X_{iH})^2 + (Y_n - Y_{iH})^2};$$

$$d_j = \sqrt{(X_n - X_{jH})^2 + (Y_n - Y_{jH})^2};$$

$$d = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_{1H} - Y_{2H})^2};$$

$$\Delta H = |H_i - H_j|.$$

Угол пересечения участков маршрутов β (для дополнительных расчетов) находится по теореме косинусов:

$$d^2 = d_i^2 + d_j^2 - 2d_i d_j \cos \beta; \quad \cos \beta = \frac{d_i^2 + d_j^2 - d^2}{2d_i d_j}; \quad \beta = \arccos \frac{d_i^2 + d_j^2 - d^2}{2d_i d_j}.$$

Найдем время пролёта точки пересечения BC_i и BC_j :

$$t_{ni} = t_{iH} + \frac{d_i}{V_i}; \quad t_{nj} = t_{jH} + \frac{d_j}{V_j},$$

где t_{iH} , t_{jH} — времена пролёта по плану начальных точек участков маршрутов BC_i и BC_j .

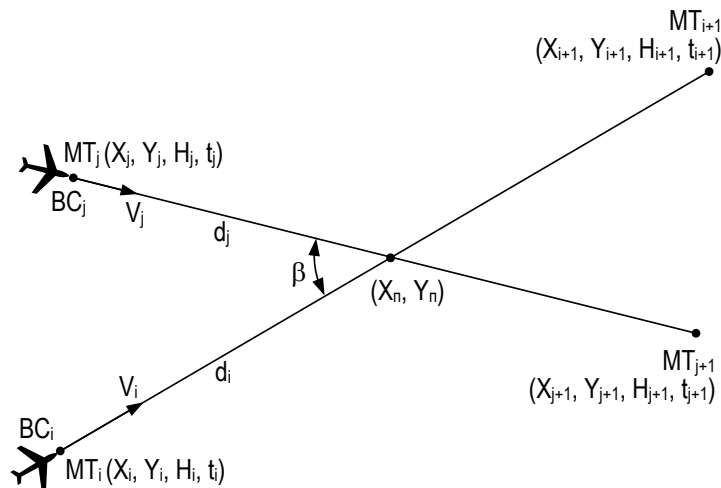


Рисунок 3.9 — Исходные данные для анализа ПКС

Если $\Delta t = |t_{ni} - t_{nj}| \geq \Delta t_{\text{доп}}$ — то ПКС между BC_i и BC_j на этих участках маршрутов не существует. При $\Delta t = |t_{ni} - t_{nj}| < \Delta t_{\text{доп}}$ существует ПКС и её необходимо устранить путём задержки момента пролёта BC_i или BC_j начальных точек своих участков маршрутов на время $\Delta t_{\text{зад}} \geq \Delta t_{\text{доп}} - \Delta t$.

При отсутствии приоритетов, как правило, задерживается то ВС, которое должно по плану проходить точку пересечения участков маршрутов позже. При изменении эшелонов на участках имеющих пересечение, должно выполняться условие: $\Delta t = |H_i - H_j| \geq H_{\text{без}}$.

Найденные значения d и β могут также использоваться для расчета

временных и линейных удалений одного из ВС от точки пересечения в момент её пролёта другим ВС.

3.3. Каждый участок i -го маршрута, выбранного за опорный, проверяется со всеми участками j -ых маршрутов.

4. Аналогичным образом определяются координаты точек пересечения X_n, Y_n участков маршрутов, заданных координатами маршрутных точек MT_i и воздушных трасс, заданных координатами ПОД, а также точки пересечения участков маршрутов с границами запретных зон (ЗЗ), которые в плане задаются координатами точек изломов своих границ $TГ_j, j = 1, 2, \dots, n$ (рисунок 3.10).

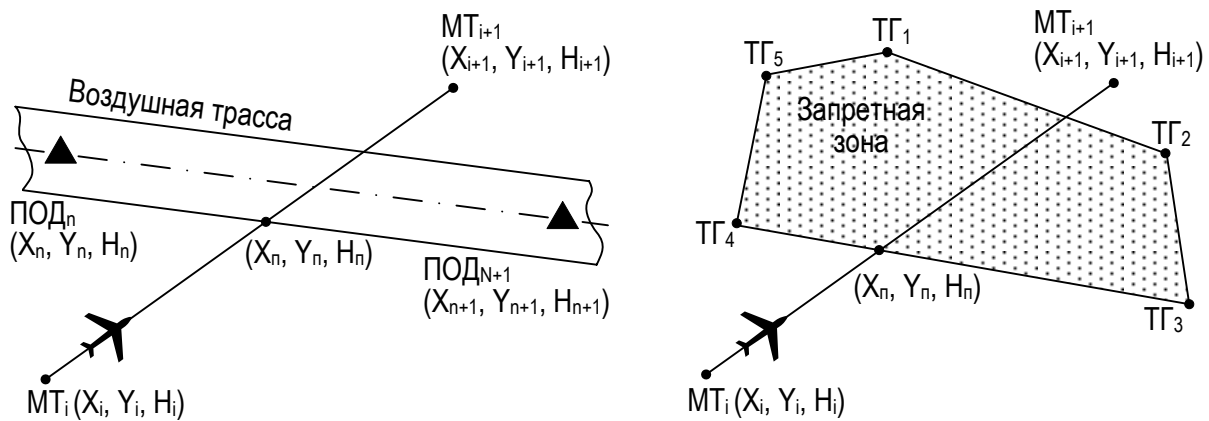


Рисунок 3.10 — Пересечение заявочных маршрутов с элементами ВП и определение параметров пересечения

3.1.5 Определение конфликтных ситуаций при непосредственном управлении воздушным движением

Представим воздушную обстановку в воздушном пространстве некоторого центра управления ВД рисунком 3.11. Воздушное судно А движется по воздушной трассе BT_i со скоростью V_A , воздушное судно В движется по маршруту со скоростью V_B . Воздушные суда осуществляют полёт на одном эшелоне в заданном направлении на пересекающихся курсах. Положение ВС по данным РЛС центра управления в момент времени t определяются векторами $\bar{D}_A(t)$ и $\bar{D}_B(t)$ текущих наклонных дальностей и азимутами ВС. Скорости и направления полёта ВС в момент времени t характеризуются векторами $\bar{V}_A(t)$ и $\bar{V}_B(t)$. Таким образом, в воздушном пространстве рассматриваемого центра управления ВД потенциально возможна конфликтная ситуация между воздушными судами А и В. Определение существования ПКС требует дополнительной обработки радиолокационной информации о положении воздушных судов в момент пересечения одним из них траектории движения другого ВС.

Результатами расчёта в вычислительных устройствах РЦ, позволяюще-

го по данным радиолокационных измерений определить наличие конфликта, является определение подлётного времени одного из ВС к точке с минимальным расстоянием между ВС $\tau_{\ell_{\min}}$ (рисунок 3.11):

$$\tau_{\ell_{\min}} = \frac{L}{|\bar{V}_{\text{отн}}|}.$$

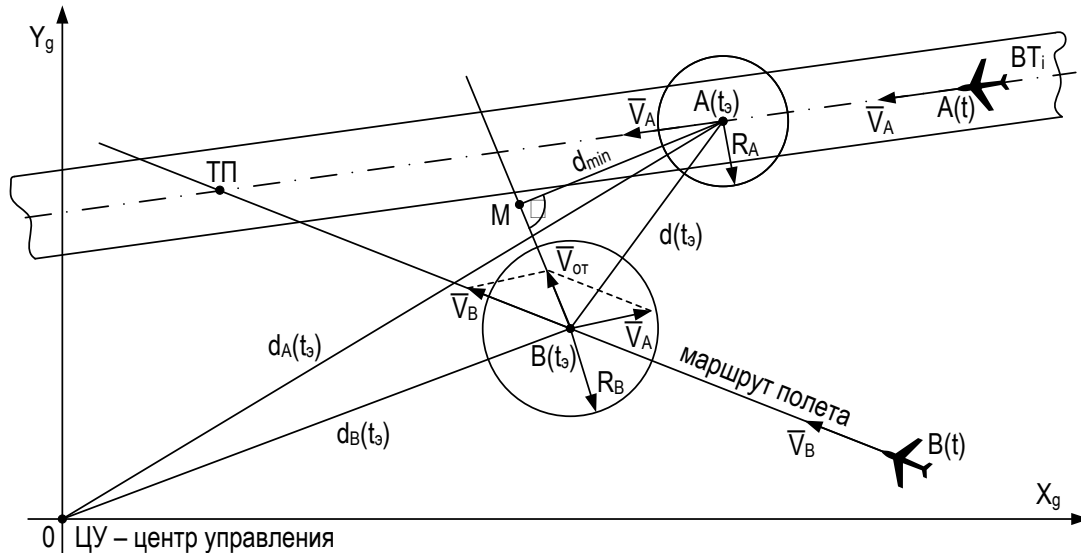


Рисунок 3.11 — Определение конфликтных ситуаций по данным радиолокационных измерений

Здесь $\bar{V}_{\text{отн}} = \bar{V}_B - \bar{V}_A$; $\bar{d} = \bar{D}_A - \bar{D}_B$; S — модуль векторного произведения векторов $a\bar{V}_{\text{отн}}$ и \bar{d} ; L — расстояние между точкой нахождения ВС А в момент расчёта этих параметров и точкой минимального сближения двух ВС; a — коэффициент, увеличивающий модуль вектора $\bar{V}_{\text{отн}}$ до величины L .

Расчет таких параметров конфликтной ситуации может производиться для текущего момента времени t или для экстраполированного t_3 .

$$S = |a\bar{V}_{\text{отн}} \times \bar{d}| = |a\bar{V}_{\text{отн}}| |\bar{d}| \sin \varphi,$$

где φ — угол между векторами $\bar{V}_{\text{отн}}$ и \bar{d} , при этом

$$a\bar{V}_{\text{отн}} \times \bar{d} = a(\bar{V}_B - \bar{V}_A) \times (\bar{D}_B - \bar{D}_A).$$

Разложим разности векторов по координатным осям X_g , Y_g , имеющим единичные орты \bar{i} и \bar{j} :

$$(\bar{D}_B - \bar{D}_A) = (D_A^x - D_B^x)\bar{i} + (D_A^y - D_B^y)\bar{j} = \Delta x\bar{i} - \Delta y\bar{j}.$$

Для расчёта проекций векторов \bar{V}_A , \bar{V}_B , \bar{D}_A и \bar{D}_B на координатные оси X_g и Y_g необходимо иметь значения направляющих косинусов углов $\alpha_1(\bar{V}_B)$, $\alpha_2(\bar{V}_A)$, $\alpha_3(\bar{V}_B)$, $\alpha_4(\bar{V}_A)$, $\alpha_5(\bar{V}_B)$, $\alpha_6(\bar{V}_A)$ и $\alpha_8(\bar{V}_B)$ в моменты времени t или t_3 .

$$a\bar{V}_{\text{отн}} \times \bar{d} = (a\Delta V_x\bar{i} + a\Delta V_y\bar{j}) \times (\Delta x\bar{i} + \Delta y\bar{j}) = a(\Delta V_x\Delta y - \Delta V_y\Delta x)\bar{k};$$

$$S = |a(\Delta V_x \Delta y - \Delta V_y \Delta x)|;$$

$$|V_{отн}| = \sqrt{\Delta V_x^2 + \Delta V_y^2}; \text{ отсюда } \ell_{\min} = \frac{S}{|a \cdot \vec{V}_{отн}|} = \frac{|\Delta V_x \cdot \Delta y - \Delta V_y \cdot \Delta x|}{\sqrt{\Delta V_x^2 + \Delta V_y^2}}.$$

Из прямоугольного треугольника следует:

$$L^2 = d^2 - \ell_{\min}^2;$$

$$d^2 = (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2;$$

$$L = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 - \ell_{\min}^2};$$

$$\tau_{\ell_{\min}} = \frac{L}{V_{отн}} = \frac{\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 - \ell_{\min}^2}}{\sqrt{\Delta V_x^2 + \Delta V_y^2}}.$$

Если $\ell_{\min} \leq R_{\text{доп}}$, то существует КС. $R_{\text{доп}}$ — радиус зоны безопасности одного из конфликтующих ВС, в данном примере — для ВС А.

Конфликтная ситуация существует, если подлётное время $\tau_{\ell_{\min}}$ находится в диапазоне $\tau_{\text{доп}_{\min}} \leq \tau_{\ell_{\min}} \leq \tau_{\text{доп}_{\max}}$, где

$$\tau_{\text{доп}_{\min}} = \frac{\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 - R_{\text{доп}}^2}}{\sqrt{\Delta V_x^2 + \Delta V_y^2}} \quad (\text{при } \ell_{\min} \geq R_{\text{доп}});$$

$$\tau_{\text{доп}_{\max}} = \frac{\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + R_{\text{доп}}^2}}{\sqrt{\Delta V_x^2 + \Delta V_y^2}} \quad (\text{при } \ell_{\min} < R_{\text{доп}}).$$

Таким образом, условие существования КС между конфликтующими парами $\langle e_{\text{ВТ}}, e_{\text{М}} \rangle$:

$$(\ell_{\min} \leq R_{\text{доп}}) \vee (\tau_{\text{доп}_{\min}} \leq \tau_{\ell_{\min}} \leq \tau_{\text{доп}_{\max}}).$$

Устранить конфликт можно, в принципе, путём увеличения или уменьшения модуля воздушной скорости одного из ВС, изменения курса ВС, летящего по маршруту, и переводом любого из ВС на другие эшелоны полета. Изменение крейсерской скорости ВС в качестве маневра для устранения конфликта, как правило, не практикуется.

3.1.6 Информационная модель процесса планирования воздушного движения

3.1.6.1 База данных — динамическая информационная модель предметной области

Как отмечалось выше, органами управления воздушным движением широко используются средства автоматизации для решения задач, связанных с различными процессами и этапами организации воздушного движения

(планирование, контроль, управление). Современные автоматизированные системы (АС), применяемые для совершенствования технологических процессов в этой области, реализуются на принципах «банка данных». Одним из основных функциональных элементов систем такого класса является система баз данных (СБД), представляющая собой динамическую информационную модель (ДИМ) управляемых (наблюдаемых) процессов реального мира. Информационную модель образует вся хранящаяся в памяти ЭВМ совокупность символов (знаков), изменяющаяся во времени (отсюда и свойство динамичности) и отображающая различные состояния наблюдаемых или управляемых процессов.

Состояния информационной модели для широко круга пользователей могут представляться с помощью некоторых таблиц, например, с помощью информационных таблиц в аэропортах о выполняемых рейсах самолетов. Функциональное окружение системы баз данных (информационной модели) можно условно представить схемой основных элементов (ОС, СУБД, СБД) и процессов обновления и поиска информации (рисунок 3.12).

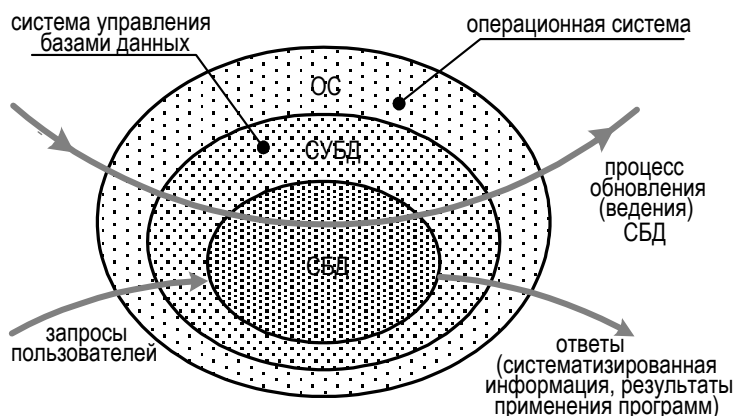


Рисунок 3.12 — Схема основных элементов и процессов

Система баз данных, обеспечивающая существование в рамках АС актуальной ДИМ, является одной из самых важных составляющих ее частей, определяющей эффективность функционирования АС в целом. Чтобы создавать, эксплуатировать и совершенствовать информационные модели необходимо знать не только конкретные системы управления базами данных (SQL, Oracle, Paradox, Access и т.д.), но и специальные законы и правила проектирования, реализации и оценки качества СБД. Теоретические основы и технологии решения перечисленных выше вопросов рассматривались во многих работах [1-3] и изучаются в специальных дисциплинах.

Оставив в стороне вопросы проектирования СБД, кратко рассмотрим примеры некоторых возможностей системы баз данных, предназначенной для решения задач планирования использования воздушного пространства (ИВП).

Заметим, что любой автоматизированный банк данных (АБнД) представляет собой организационно-техническую систему (ОТС), включающую информационные, математические, программные, языковые и технические средства, а также персонал, обеспечивающий накопление и коллективное многоаспектное использование данных для решения прикладных задач различных пользователей той или иной предметной области. Под предметной областью, в общем случае, понимается любая система операций большого масштаба в области экономики, социальных отношений или военного дела. В нашем случае, предметной областью будет являться совокупность процессов планирования ИВП. Автоматизированный банк данных обеспечивает создание и поддержку актуального состояния динамической информационной модели предметной области, в интересах которой он создан, и взаимодействие с ней всех категорий пользователей (лиц боевых расчетов; лиц, принимающих решения; подсистем; задач и т.д.). Такое взаимодействие осуществляется с помощью языков описания и манипулирования данными (ЯОД и ЯМД), являющихся составными частями любой современной системы управления базами данных (СУБД).

В общем случае информационной моделью называют совокупность сведений о состоянии и развитии реальных процессов той или иной предметной области, структурированных с помощью формальных средств, называемых моделью данных. Эти сведения представляются значениями характеристик, называемых атрибутами (элементами данных), которыми описывают состояния и поведение объектов управления. Значения имен атрибутов (скорость полета, высота полета, позывной экипажа и т.п.), так же как сами имена, правила их взаимосвязи и означивания хранятся в памяти ЭВМ. Значениями могут являться числа, символы, коды, постоянное обновление которых (в соответствии с отображаемой ситуацией реальной предметной области) обеспечивает свойство динамичности модели. Другими словами, ДИМ есть изменяемая во времени совокупность значений некоторого состава имен атрибутов сущностей и их взаимосвязей, определяемых потребностями решения соответствующих задач (приложений), контролируемой (наблюдаемой, исследуемой) предметной области.

Такая изменяющаяся во времени совокупность значений взаимосвязанных атрибутов называется базой данных (БД). В этом понятии сосредоточена основная суть системного подхода к организации информационных ресурсов и решению прикладных функциональных задач предметной области. Для создания БД необходимо выявить информационные потребности всех прикладных задач в виде необходимых им значений атрибутов и объединить эти атрибуты в систему для реализации процедур обновления и поиска их значений.

Сущностями реального мира, информация о которых в виде значений соответствующих им атрибутов хранится в базах данных, могут являться:

- объекты (аэродромы, сооружения, самолеты, документы и т.п.);
- явления и состояния природы (погода, грозы, наводнения и т.д.);
- абстрактные понятия (маршруты, экипажи, полеты, запретные зоны, скорости и высоты полетов и т.д.);
- конкретные люди (операторы, офицеры, служащие и т.д.).

Взаимосвязи сущностей (отношения), например, такие как «иметь», «принадлежать», «входить в состав», «эксплуатировать» и т.д., информация о которых также должна храниться в базах данных, могут не иметь своих атрибутов и задаваться только комбинациями значений атрибутов, идентифицирующих связываемые сущности.

Интеграция данных, необходимых для решения всех задач системы, в единую БД позволяет централизовать процессы обновления и накопления данных, возложив их выполнение на специальную группу лиц — администраторов баз данных (АБД), отвечающих за эффективность функционирования баз данных.

Принцип системности в организации БД можно показать с помощью схемы объединения данных для всех задач (Z_i), решаемых должностными лицами (D_j) некоторой предметной области (рисунок 3.13).

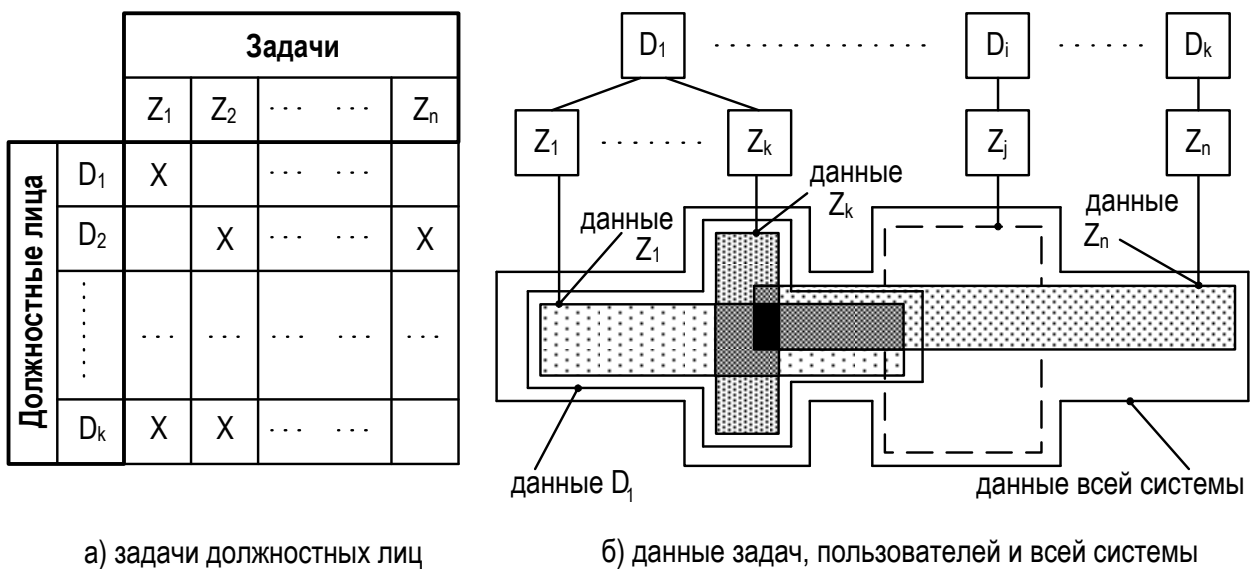


Рисунок 3.13 — Графическое представление базы данных для комплекса задач

При позадачном подходе данные каждой задачи Z_i существуют независимо друг от друга, а их дублирование (на схеме показано пересечением соответствующих областей) часто приводит к противоречиям из-за рассогласо-

ванности выполнения процедур обновления одних и тех же данных. Интеграция в единую БД позволяет устранить возникновение противоречий обновления за счет единства места накопления и централизации процедур ведения баз данных. Данные накапливаются и обновляются в одном месте, а пользователям выдаются только копии одних и тех же данных.

В общем случае создание той или иной базы данных, как и любого технического объекта, включает стадии разработки проекта и его реализации в виде реальной функционирующей системы [1-3]. Как отмечалось выше, мы не будем рассматривать процессы проектирования СБД, а лишь воспользуемся некоторыми результатами этих процессов для демонстрационного примера.

3.1.6.2 Фрагмент описания базы данных

Рассмотрим возможности применения технологии баз данных для решения задачи предотвращения потенциальных конфликтных ситуаций (ПКС) на этапе предварительного планирования полетов воздушных судов (ВС) по стандартным маршрутам (СТМ), пересекающим запретные зоны (ЗЗ) различного назначения. Эту задачу далее будем кратко называть задачей предотвращения ПКС с ЗЗ. Рассмотрение выполним на примере ограниченного и упрощенного описания соответствующей базы данных, чтобы продемонстрировать только суть использования информационных моделей для решения прикладных задач, не вдаваясь в подробности и детали описания, которые на практике могут иметь важное значение. Заметим, что для реального решения, рассматриваемой задачи необходимо детально спроектировать и реализовать не только соответствующую БД, но и программы ее обновления и обработки.

Итак, предположим, что предварительное планирование полетов ВС осуществляется ежедневно по четырем СТМ, схема которых представлена на рисунке 3.14.

Каждый из этих СТМ имеет уникальный номер (НОМ_СТМ), аэродром вылета (АЭР_В), аэродром посадки (АЭР_П) и задается необходимым количеством точек маршрута (ТМ), имеющих уникальные в маршруте номера (НОМ_ТМ), возрастающие от начала к концу маршрута, типы (ТИП_ТМ) и географические координаты (Ш_ТМ – широта, Д_ТМ – долгота). Будем считать, что имя ТИП_ТМ может иметь следующие смысловые значения:

нТМ — начальная точка маршрута;

птм — промежуточная точка маршрута;

кТМ — конечная точка маршрута;

z_i — точка соприкосновения маршрута с запретной зоной № i ;

vx_z_i или vy_z_i — соответственно точки входа и выхода из запретной зоны № i .

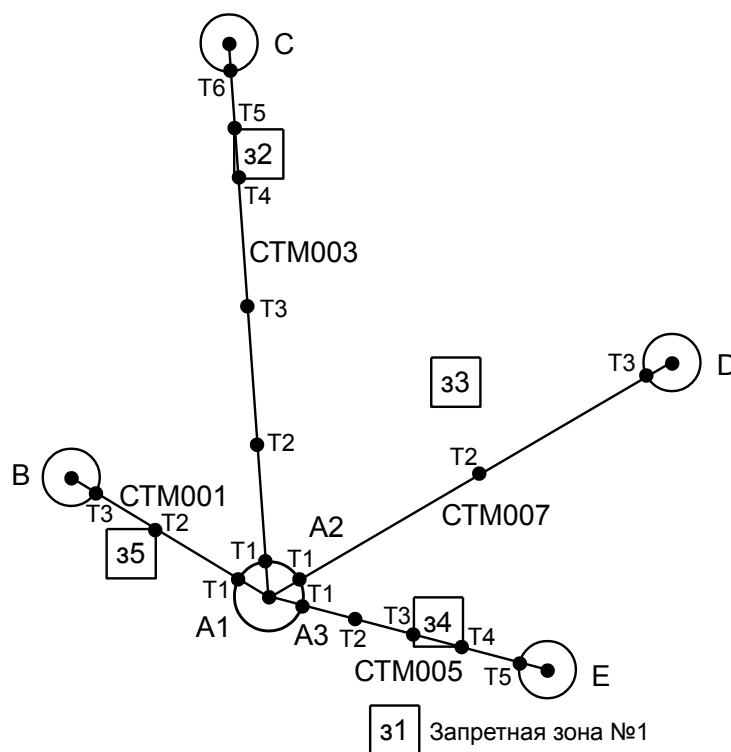


Рисунок 3.14 — Пример схемы стандартных маршрутов

Никаких других значений для указанного имени атрибута в базе данных существовать не должно. Такие ограничения по содержанию значений атрибутов в теории баз данных называются ограничениями доменов.

Стандартные маршруты могут пересекать запретные зоны (см. рисунок 3.14), которые имеют уникальные номера (НОМ_З), имена (И_З) и предназначение (НАЗ_З). Каждая запретная зона задается произвольным количеством точек излома (больше двух) своей границы, которые имеют уникальные для зоны номера (НОМ_ТГ) и географические координаты (Ш_ТГ, Д_ТГ). В каждой ЗЗ специальным должностным лицом на конкретную дату (ДТ_З) может быть определено несколько рабочих периодов времени (периодов закрытия зоны), в течение которых полеты воздушных судов через зону и в соприкосновении с ней запрещены. Каждый из этих периодов имеет уникальный в сутках номер (НОМ_ПЗ), время начала (ВРН_З) и конца (ВРК_З) закрытия зоны.

Существо рассматриваемой задачи предотвращения ПКС с ЗЗ состоит в сопоставлении времен прохода (входа и выхода) воздушных судов через запретные зоны с установленными периодами закрытия и в недопущении планирования полетов в запретных зонах (например, в 32 и 34 на рисунке 3.13)

или в соприкосновении с ними (например, с з5 на рисунке 3.13) в эти периоды.

Если t_n и t_k — время начала и конца рабочего периода некоторой ЗЗ, а $t_{вх}$ и $t_{вых}$ — время пролета ВС через входную и выходную ТМ той же ЗЗ, то условия наличия или отсутствия конфликта между планируемым полетом и периодами закрытия этой ЗЗ определяются следующими соотношениями:

$$((t_{вх} < t_n) \& (t_{вых} < t_n)) \vee (t_{вх} > t_k) \text{ — конфликта нет;} \quad (3.1)$$

$$((t_{вх} < t_n) \& (t_{вых} \geq t_n)) \vee (t_n \leq t_{вх} \leq t_k) \text{ — конфликт существует.} \quad (3.2)$$

Таким образом, для выявления конфликта необходимо знать рабочие периоды запретных зон, начало и конец которых устанавливаются соответствующими ограничениями и записываются в базу данных, а также времена пролета воздушными судами точек входа и выхода из запретных зон при реализации полетов по стандартным маршрутам. Эти времена рассчитываются вручную или с помощью специальных программ на основе знания времени вылета (ВРВ), типа воздушного судна (ТИП_ВС) и других параметров запланированного полета на данном маршруте. Результаты этих расчетов также заносятся в базу данных.

Для описания базы данных, применяемой в процессе планирования полетов воздушных судов, будем использовать реляционную (табличную) модель. Фрагмент заполнения части базы данных, являющейся информационной моделью процессов назначения запретных зон, определения их границ и указания периодов закрытия зон для полетов (рабочих периодов), показан на рисунке 3.15

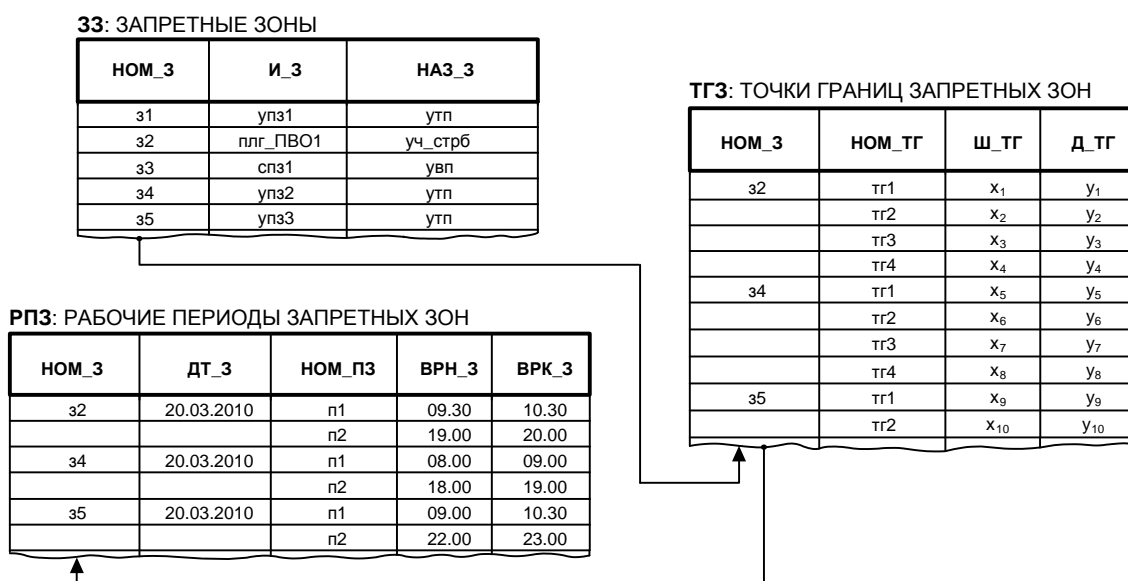


Рисунок 3.15 — Пример состояния фрагмента информационной модели запретных зон

Вид таблиц, входящих в состав модели (названия таблиц, состав и имена атрибутов — столбцов), значения имен атрибутов, которые могут появляться в таблицах, правила заполнения таблиц значениями и связи таблиц, определяются при проектировании базы данных и сообщаются СУБД с помощью языка описания данных. Для упрощенного описания фрагмента рассматриваемой базы данных будем использовать следующие смысловые значения соответствующих имен атрибутов:

зі — зона № i;

тгj — точка границы зоны, имеющая №j;

x_j, y_j — значения широты и долготы j-той точки границы;

упзі — учебно-пилотажная зона № i;

плг_ПВОi — полигон ПВО № i;

спзі — спортивная зона № i;

утп — учебно-тренировочные полеты;

уч_стрб — учебные стрельбы;

увп — упражнения высшего пилотажа;

20.09.2008 — значение даты в формате (чч.мм.гггг) — число, месяц, год;

пі — рабочий период (запрещенный для полетов) № i;

19.00 — значение времени в формате (чч.мм) — часы, минуты.

Из рисунка 3.15 видно, что в нашем примере для второй и пятой запретных зон на 20 марта 2010 г. было установлено по два рабочих периода, а для 4-ой зоны — три периода. Показанные на рисунке 3.14 таблицы могут заполняться различными должностными лицами. Связи, указанные между таблицами, определяют порядок их заполнения, подробно описанный в [1-3], и обозначают следующее. Первой должна заполняться таблица **ЗЗ**, второй — **ТГЗ** (при этом значение атрибутов Ш_ТГ и Д_ТГ могут вноситься вручную или специальными программами, вычисляющими эти значения по указанию оператора), но значения координат для граничных точек запретных зон могут определяться только для тех зон, которые уже записаны в таблицу **ЗЗ**. Таблица **РПЗ** может заполняться оператором на любую будущую дату года, но только для тех запретных зон, которые указаны в таблице **ТГЗ**. Таким образом, указанные связи позволяют реализовать следующие правила ведения базы данных запретных зон:

1) прежде, чем задать координаты граничных точек запретной зоны в таблице **ТГЗ**, необходимо включить ее описание в таблицу **ЗЗ**;

2) прежде чем, задать рабочие периоды для любой запретной зоны в таблице РПЗ, необходимо задать координаты ее граничных точек в таблице ТГЗ.

За правильностью заполнения таблиц базы данных должны «следить» специальные программы контроля ее целостности, которые не должны позволять операторам осуществлять нарушения правил (ограничений) целостности БД.

Рассмотрим теперь информационную модель процесса планирования полетов по стандартным маршрутам, представленным в таблицах СТМ, ТМ, ПСТМ, ПРТМ (рисунок 3.16).

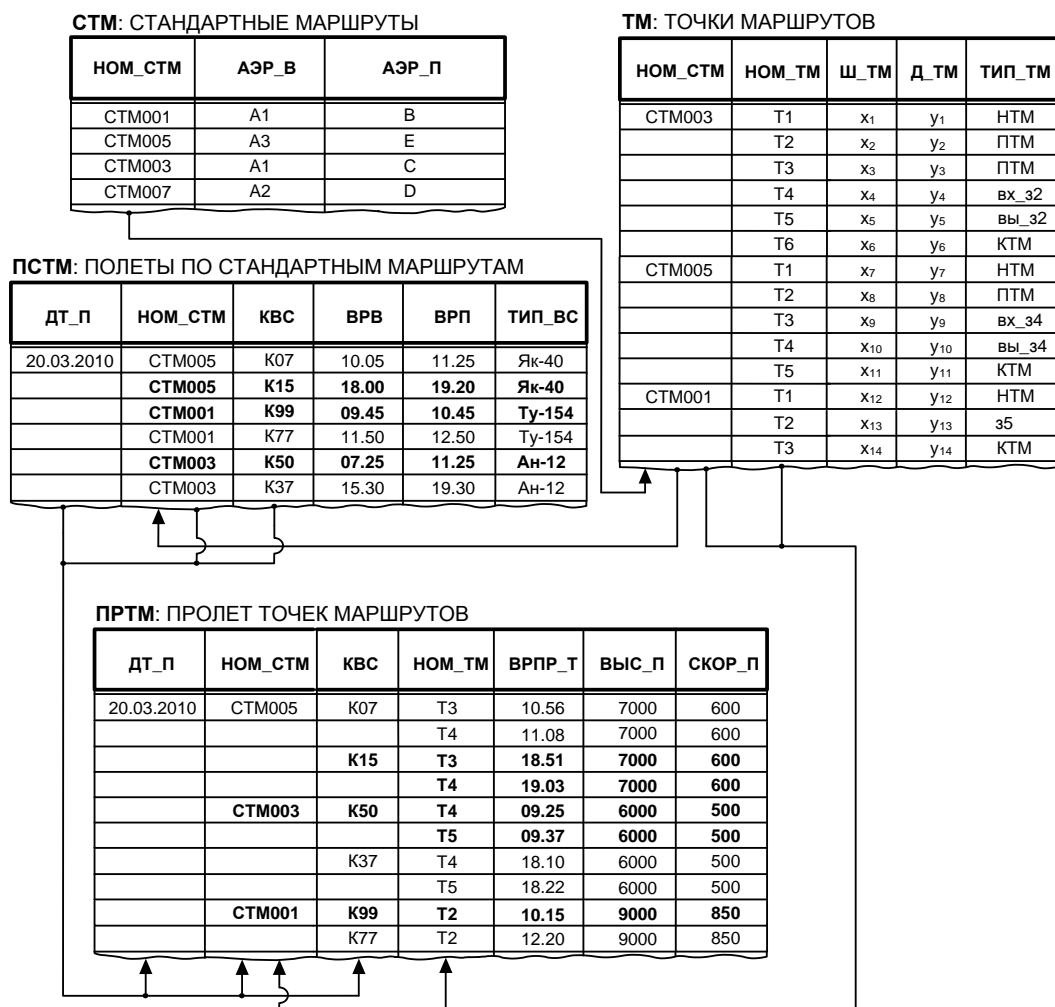


Рисунок 3.16 — Пример состояния информационной модели плана полетов по стандартным маршрутам

Пусть существо планирования полетов состоит в назначении должностным лицом (планировщиком полетов) даты полета (ДТ_П), времени вылета (ВРВ), типа воздушного судна (ТИП_ВС), позывного экипажа (КВС) и номера стандартного маршрута (НОМ_СТМ), по которому планируется выполнить полет. Этот процесс сопровождается записью соответствующих

данных в таблицу **ПСТМ**. После этого вручную или с помощью специальных программ, получив данные о типе воздушного судна (**ТИП_ВС**), каким-либо способом выполняются расчеты времен (**ВРПР_Т**), высот (**ВЫС_П**) и скоростей (**СКОР_П**) пролета каждой точки заданного СТМ. Полученные результаты расчетов записывают в таблицу **ПРТМ**, а время посадки (**ВРП**) — в таблицу **ПСТМ**. На рисунке 3.16 показан возможный вариант заполнения таблиц базы данных. В некоторых строках таблиц для наглядности их смыслового содержания сделаны пропуски повторяющихся значений атрибутов, хотя на самом деле в этих позициях записаны те же самые значения, что и в ближайшей верхней строке.

Можно считать, что рассматриваемый нами пример связан с двумя базами данных, состояние одной из которых представлено на рисунке 3.15, а другой — на рисунке 3.16. Эти базы данных не имеют атрибутов с одинаковыми именами и, с одной стороны, могут заполняться, корректироваться (обновляться) независимо друг от друга. Но, с другой стороны, они имеют разноименные атрибуты с одинаковыми значениями «дата» (имена **ДТ_П** и **ДТ_З**) и похожими (толерантными) значениями (имена **НОМ_З** и **ТИП_ТМ**). Наличие таких атрибутов, как будет показано далее, позволяет вести совместную обработку таблиц этих баз данных с целью поиска необходимой информации для решения задачи о существовании или отсутствии ПКС в предварительных планах полетов.

Таблицы рассматриваемых баз данных для большей наглядности имеют ограниченное заполнение только на одну дату 20.03.2010 и только на некоторые запретные зоны и маршрутные точки. Реальная информационная модель состоит из полностью заполненных таблиц.

Программы, обрабатывающие эти базы данных и предназначенные для решения задачи предотвращения ПКС с ЗЗ, должны определять значение признака потенциального конфликта (ПРК) для каждого планируемого полета воздушного судна. Значения этого атрибута (0 — конфликта нет; 1 — конфликт существует) имеют смысл и могут быть определены только для точек пересечения маршрутов с ЗЗ. Наличие потенциального конфликта в плане (после его выявления) может обозначаться цветом или миганием, соответствующих строк таблицы **ПСТМ** или других выходных форм, с которыми работает планировщик полетов, заставляя его сделать те или иные изменения в плане для устранения выявленных ПКС.

В рассматриваемом примере плана полетов (в таблицах **ПСТМ** и **ПРТМ**) существуют, но явно не видны ПКС для четырех экипажей с позывными K50 на маршруте СТМ003, K15 и K17 на маршруте СТМ005 и K99 на маршруте СТМ001, что обозначено жирным шрифтом соответствующих

строк в таблицах ПСТМ и ПРТМ. Потенциальные конфликтные ситуации определяются тем, что планируемый полет экипажа с позывным К50 на маршруте СТМ003, проходящем через запретную зону з2, нарушает какие-то ее рабочие периоды, полет экипажей с позывными К15 и К17 на маршруте СТМ005 нарушают какие-то рабочие периоды зоны з4, а полет экипажа с позывным К99 — зоны з5. Хотя в рассматриваемой информационной модели (рисунки 3.15 и 3.16) существует вся необходимая информация для явного наблюдения указанных ПКС, однако сделать это очень трудно. Еще труднее увидеть детальную картину этих ПКС, содержащую их причины, рабочие периоды и зоны, в которых они возникают, необходимые действия для их устранения. Ответить на эти вопросы можно только с помощью специальной обработки информации, содержащейся в рассматриваемых базах данных.

Рассмотрим, как можно решить эти задачи выявления и предотвращения ПКС с помощью операций обработки баз данных, формируемых в процессе планирования полетов.

3.1.6.3 Алгоритмы выявления и устранения потенциально конфликтных ситуаций

Для описания алгоритмов обработки сформированных баз данных будем применять алгебраические формулы, записываемые на основе операций реляционной алгебры, имен таблиц и атрибутов [1], а результаты представлять в виде соответствующих результирующих таблиц. Последовательность операций, предписываемая алгебраическими формулами, может выполняться в темпе или после завершения обновления таблиц баз данных. Результирующие таблицы могут входить в состав баз данных или иметь статус рабочих областей. Эти детали реализации не имеют для нашего рассмотрения принципиального значения. Мы хотим только показать возможности технологии СБД по выявлению и устранению ПКС в зафиксированном состоянии информационной модели, отображающей некоторый план полетов воздушных судов по стандартным маршрутам.

Последовательность этапов обработки баз данных, создаваемых в процессе планирования, будем представлять в виде содержательного и формального описания четырех запросов (Z1–Z4) к СБД. Формальные алгебраические описания информационных запросов по существу являются описаниями соответствующих алгоритмов поиска данных.

Z1. Содержательная формулировка запроса.

Для всех стандартных маршрутов (НОМ_СТМ) из таблицы ТМ определить (найти) номера (НОМ_ТМ) и типы (ТИП_ТМ) точек маршрутов, являющихся точками пересечения ($ТИП_ТМ = vx_z_i$ или vy_z_i) или касания

(ТИП_ТМ = з_і) границ запретных зон. Результат представить таблицей «Точки маршрутов на границах запретных зон»

ТМГЗ (НОМ_СТМ, НОМ_ТМ, ТИП_ТМ).

Формальная запись запроса в виде алгебраического выражения

$$\mathbf{ТМГЗ} = \pi_{\text{НОМ_СТМ, НОМ_ТМ, ТИП_ТМ}} (\sigma_{\text{ТИП_ТМ}=\text{вх_з}_i \vee \text{вы_з}_i \vee \text{з}_i} (\mathbf{ТМ}))$$

предписывает выполнение операции выборки (σ) строк таблицы **ТМ**, содержащих в столбце ТИП_ТМ одно из начений вх_з_i , вы_з_i или з_i , и оставление в результирующей таблице только трех столбцов из исходной таблицы: НОМ_СТМ, НОМ_ТМ и ТИП_ТМ (операция проекции — π).

СУБД, выполняя эти операции, сформирует предписанную указанной формулой таблицу **ТМГЗ** (рисунок 3.17) либо во временной рабочей области на период выполнения всей последовательности запросов, либо в составе системы баз данных, обновляя ее синхронно с обновлением таблиц **ТМ** и **ТГЗ**. Каждый из этих вариантов реализации имеет свои положительные и отрицательные стороны. Выбор одного из них или разработка какого-либо другого является одним из вопросов проектирования СБД.

ТМГЗ: ТОЧКИ МАРШРУТОВ НА ГРАНИЦАХ ЗАПРЕТНЫХ ЗОН

НОМ_СТМ	НОМ_ТМ	ТИП_ТМ
СТМ003	Т4	вх_з2
	Т5	вы_з2
СТМ005	Т3	вх_з4
	Т4	вы_з4
СТМ001	Т2	з5

Рисунок 3.17 — Результат операций выборки и проекции над таблицей **ТМ**

Z2. Содержательная формулировка запроса.

Для всех стандартных маршрутов, имеющих точки пересечения или соприкосновения с запретными зонами (таблица **ТМГЗ**), найти для каждой такой точки периоды (НОМ_ПЗ) и время (ВРН_З, ВРК_З) закрытия соответствующих зон по всем датам планирования полетов. Результат представить таблицей «Периоды закрытия точек маршрутов на границах запретных зон»

ПЗТМГЗ (НОМ_СТМ, НОМ_ТМ, ТИП_ТМ, НОМ_З, ДТ_З, НОМ_ПЗ, ВРН_З, ВРК_З).

Формальная запись запроса в виде алгебраического выражения

$$\mathbf{ПЗТМГЗ} = \mathbf{ТМГЗ} [\text{ТИП_ТМ} = (\text{вх_з}_i \vee \text{вы_з}_i \vee \text{з}_i) \ \& \ \& \ \text{НОМ_З} = \text{з}_i] \ \mathbf{РПЗ}$$

предписывает выполнение операции толерантного естественного соединения

[4] строк таблицы **ТМГЗ**, имеющих значением или в окончании значения атрибута ТИП_ТМ символы z_i , со строками таблицы **РПЗ** из базы данных запретных зон, имеющих значением атрибута НОМ_З ту же комбинацию символов z_i . Это не простое естественное соединение строк, а соединение по схожести значений (наличию в них общих комбинаций символов).

СУБД, выполняя эти операции, сформирует предписанную указанной формулой таблицу **ПЗТМГЗ** (рисунок 3.18).

Таким образом, в результате выполнения этих операций для каждой точки пересечения планируемых маршрутов с границами запретных зон устанавливаем соответствие всех их рабочих периодов на все планируемые даты полетов.

Z3. Содержательная формулировка запроса.

Для всех стандартных маршрутов, планируемых для полетов всех экипажей (КВС) воздушных судов, найти время их пролета (ВРПР_Т) точек пересечения (соприкосновения) маршрутов и границ запретных зон. Результат представить таблицей «Время пролета экипажами воздушных судов точек границ запретных зон»

ВРПРТМГЗ (ДТ_П, НОМ_СТМ, КВС, НОМ_ТМ, ВРПР_Т).

Формальная запись запроса в виде алгебраического выражения

$$\mathbf{ВРПРТМГЗ} = \pi_{\text{ДТ_П, НОМ_СТМ, КВС, НОМ_ТМ, ВРПР_Т}}(\mathbf{ПРТМ}[(\text{НОМ_СТМ, НОМ_ТМ})] \mathbf{ТМГЗ})$$

предписывает выполнение операции проекции на атрибуты ДТ_П, НОМ_СТМ, КВС, НОМ_ТМ и ВРПР_Т естественного соединения строк таблиц **ПРТМ** и **ТМГЗ** по комбинации значений их одноименных атрибутов (НОМ_СТМ, НОМ_ТМ).

ПЗТМГЗ: ПЕРИОДЫ ЗАКРЫТИЯ ТОЧЕК МАРШРУТОВ НА ГРАНИЦАХ ЗАПРЕТНЫХ ЗОН

НОМ_СТМ	НОМ_ТМ	ТИП_ТМ	НОМ_З	ДТ_З	НОМ_ПЗ	ВРН_З	ВРК_З
СТМ003	Т4	вх_з2	з2	20.03.2010	п1	09.30	10.30
					п2	19.00	20.00
	Т5	вы_з2	з2	20.03.2010	п1	09.30	10.30
					п2	19.00	20.00
СТМ005	Т3	вх_з4	з4	20.03.2010	п1	08.00	09.00
					п2	18.00	19.00
	Т4	вы_з4	з4	20.03.2010	п1	08.00	09.00
					п2	18.00	19.00
СТМ001	Т2	з5	з5	20.03.2010	п1	09.00	10.30
					п2	22.00	23.00

Рисунок 3.18 — Результат толерантного естественного соединения таблиц **ТМГЗ** и **РПЗ**

СУБД, выполняя эти операции, сформирует предписанную указанной формулой таблицу **ВРПРТМГЗ** (рисунок 3.19).

Таким образом, для каждого экипажа, выполняющего полет по заданному маршруту, получаем время пролета точек границ запретных зон или соприкосновения с ними. Эти моменты времени (таблица **ВРПРТМГЗ**) теперь можно сопоставить с рабочими периодами запретных зон (таблица **ПЗТМГЗ**) и определить наличие ПКС.

ВРПРТМГЗ: ВРЕМЯ ПРОЛЕТА ТОЧЕК ГРАНИЦ ЗАПРЕТНЫХ ЗОН

ДТ_П	НОМ_СТМ	КВС	НОМ_ТМ	ВРПР_Т
20.03.2010	СТМ003	К50	Т4	09.25
			Т5	09.37
		К37	Т4	18.10
			Т5	18.22
	СТМ005	К07	Т3	10.56
			Т4	11.08
		К15	Т3	18.51
			Т4	19.03
	СТМ001	К99	Т2	10.15
		К77	Т2	12.20

Рисунок 3.19 — Результат проекции естественного соединения таблиц **ТМГЗ** и **ПРТМ** по комбинации значений атрибутов (НОМ_СТМ, НОМ_ТМ)

Z4. Содержательная формулировка запроса.

Для всех стандартных маршрутов, планируемых для полетов всех экипажей воздушных судов определить значение признака конфликта (ПРК) в точках пересечения (соприкосновения) маршрутов и границ запретных зон. Результат представить таблицей «Потенциально конфликтные ситуации»

ПКС (ДТ_П, НОМ_СТМ, КВС, НОМ_ТМ, ТИП_ТМ, ВРПР_Т, НОМ_ПЗ, ВРН_З, ВРК_З, ПРК).

Формальная запись запроса в виде алгебраического выражения

ПКС = $\pi_{\text{ДТ_П, НОМ_СТМ, КВС, НОМ_ТМ, ТИП_ТМ, ВРПР_Т, НОМ_ПЗ, ВРН_З, ВРК_З, ПРК}}$ (**ВРПРТМГЗ** [(ДТ_П= ДТ_З, НОМ_СТМ, НОМ_ТМ)] **ПЗТМГЗ**)

предписывает выполнение операции проекции на атрибуты ДТ_П, НОМ_СТМ, КВС, НОМ_ТМ, ТИП_ТМ, ВРПР_Т, НОМ_ПЗ, ВРН_З, ВРК_З и ПРК естественного соединения строк таблиц **ВРПРТМГЗ** и **ПЗТМГЗ** по комбинации значений их одноименных НОМ_СТМ, НОМ_ТМ и разноименных ДТ_П и ДТ_З, но имеющих общий домен «дата», атрибутов.

СУБД, выполняя эти операции, сформирует предписанную указанной формулой таблицу **ПКС** (рисунок 3.20). Значение атрибута ПРК в этой таблице определяется по рассмотренным ранее соотношениям (3.1 и 3.2) с учетом того, что $t_{\text{вх}}$ и $t_{\text{вых}}$ определяются комбинациями значений атрибутов

(ТИП_ТМ, ВРПР_Т), а t_n и t_k — значениями атрибутов ВРН_3 и ВРК_3 соответственно.

Потенциальная конфликтная ситуация для экипажа на некотором маршруте в зоне z_i существует, если хотя бы в одной из точек этого маршрута на границе с запретной зоной (входной, выходной или соприкосновения) $ПРК = 1$ для одного из рабочих периодов этой зоны.

3.1.6.4 Устранение потенциально конфликтных ситуаций в плане полетов

Анализ данных, представленных в таблице ПКС (рисунок 3.20), которая была получена путем реализации последовательности описанных выше запросов Z1–Z4, позволяет получить явные доказательства справедливости высказанного ранее утверждения о существовании в разработанном варианте плана полетов нескольких труднообнаруживаемых ПКС. Поясним это примером для экипажа с позывным K50, выполняющим полет по маршруту СТМ005:

1) по времени входа (ВРПР_Т = 09.25) в запретную зону z_2 (пролет маршрутной точки Т4) этот полет неконфликтует ни с одним рабочим периодом этой зоны (поэтому $ПРК=0$);

2) по времени выхода (ВРПР_Т = 09.37) из зоны z_2 (пролет маршрутной точки Т5) видно, что этот полет точно будет проходить во время первого рабочего периода (п1) этой зоны (поэтому $ПРК=1$).

Таким образом, для данного полета выполняется условие (3.2), что в плане полетов для КВС = K50 отображено жирным шрифтом соответствующих значений в таблицах ПСТМ и ПРТМ на рисунке 3.15.

Для устранения данной ПКС, с учетом того, что время нахождения экипажа в запретной зоне равно 12 минутам ($t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}} = 09.37 - 09.25 = 00.12$), можно либо запланировать более ранний вылет, ускорив его не менее чем на 8 минут (тогда данный полет через зону z_2 пройдет до начала рабочего периода п1: $t_{\text{вх}} = 09.17$, $t_{\text{вых}} = 09.29$), либо запланировать более поздний вылет, отложив его не менее чем на 1 час 6 минут (тогда данный полет через зону z_2 пройдет после завершения рабочего периода п1: $t_{\text{вх}} = 10.36$, $t_{\text{вых}} = 10.48$).

Эти или подобные им выводы планировщик полетов может делать либо исходя из непосредственного анализа содержания таблицы ПКС (или из любой другой формы, отображающей суть ситуации, характеризуемой данными этой таблицы), либо с помощью соответствующих прикладных программ, которые способны не только рассчитывать любые графики полетов и выявлять наличие ПКС с запретными зонами, но и формировать наиболее целесо-

образные рекомендации для их устранения.

Анализ других ПКС, существующих в рассматриваемом плане полетов и нашедших отображение в представленной таблице ПКС, а также выработка решений по их устранению выполняется аналогично рассмотренному примеру для экипажа с КВС = К50.

ПКС: ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ КОНФЛИКТНЫЕ СИТУАЦИИ

ДТ_П	НОМ_СТМ	КВС	НОМ_ТМ	ТИП_ТМ	ВРПР_Т	НОМ_ПЗ	ВРН_З	ВРК_З	ПРК
20.03.2010	СТМ003	К50	T4	вх_з2	09.25	п1	09.30	10.30	0
						п2	19.00	20.00	0
			T5	вы_з2	09.37	п1	09.30	10.30	1
						п2	19.00	20.00	0
		K37	T4	вх_з2	18.10	п1	09.30	10.30	0
						п2	19.00	20.00	0
			T5	вы_з2	18.22	п1	09.30	10.30	0
						п2	19.00	20.00	0
	СТМ005	K07	T3	вх_з4	10.56	п1	08.00	09.00	0
						п2	18.00	19.00	0
			T4	вы_з4	11.08	п1	08.00	09.00	0
						п2	18.00	19.00	0
		K15	T3	вх_з4	18.51	п1	08.00	09.00	0
						п2	18.00	19.00	1
			T4	вы_з4	19.03	п1	08.00	09.00	0
						п2	18.00	19.00	1
	СТМ001	K99	T2	з5	10.15	п1	09.00	10.30	1
						п2	22.00	23.00	0
		K77	T2	з5	12.20	п1	09.00	10.30	0
						п2	22.00	23.00	0

Рисунок 3.20 — Результат проекции естественного соединения таблиц ПЗТМГЗ и ВРПРТМГЗ по комбинации значений атрибутов (ДТ_П = ДТ_З, НОМ_СТМ, НОМ_ТМ) и определения значения ПРК

Предположим, что планировщик полетов для устранения выявленных ПКС оперировал только временем вылета экипажей и принял следующие решения:

— вылет экипажа с КВС = К50 на маршрут СТМ003 ускорить на 12 минут;

— вылет экипажа с КВС = К17 на маршрут СТМ005 задержать на 11 минут;

— вылет экипажа с КВС = К15 на маршрут СТМ005 задержать на 10 минут;

— вылет экипажа с КВС = К99 на маршрут СТМ001 задержать на 16 минут.

Эти решения планировщик полетов реализовал вводом в базу данных

планируемых вылетов соответствующих новых значений атрибута ВР_В в таблицу ПСТМ, что потребовало пересчета моментов прохождения воздушными судами всех точек маршрутов. Пересчитанные значения атрибутов на рисунке 3.21 выделены жирным шрифтом.

ПСТМ: ПОЛЕТЫ ПО СТАНДАРТНЫМ МАРШРУТАМ

ДТ_П	НОМ_СТМ	КВС	ВРВ	ВРП	ТИП_ВС
20.03.2010	СТМ005	К07	10.05	11.25	Як-40
	СТМ005	К15	18.10	19.30	Як-40
	СТМ001	К99	10.01	11.01	Ту-154
	СТМ001	К77	11.50	12.50	Ту-154
	СТМ003	К50	07.13	11.13	Ан-12
	СТМ003	К37	15.30	19.30	Ан-12

ПРТМ: ПРОЛЕТ ТОЧЕК МАРШРУТОВ

ДТ_П	НОМ_СТМ	КВС	НОМ_ТМ	ВРПР_Т	ВЫС_П	СКОР_П
20.03.2010	СТМ007	К07	Т3	10.56	7000	600
			Т4	11.08	7000	600
		К15	Т3	19.01	7000	600
			Т4	19.13	7000	600
	СТМ003	К50	Т4	09.13	6000	500
			Т5	09.25	6000	500
		К37	Т4	18.10	6000	500
			Т5	18.22	6000	500
	СТМ001	К99	Т2	10.31	9000	850
		К77	Т2	12.20	9000	850

Рисунок 3.21 — Состояние таблиц базы данных после изменения значений атрибута ВР_В

Выполнение описанной выше последовательности процедур (запросы Z1–Z4) обработки измененных состояний таблиц рассматриваемой СБД, подтверждает отсутствие ПКС в измененном плане полетов (рисунок 3.22). Другими словами, планировщик, внося указанные изменения и не получая сигнала о возникновении ПКС, разрабатывает потенциально бесконфликтный план полетов.

ПКС: ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ КОНФЛИКТНЫЕ СИТУАЦИИ

ДТ_П	НОМ_СТМ	КВС	НОМ_ТМ	ТИП_ТМ	ВРПР_Т	НОМ_ПЗ	ВРН_З	ВРК_З	ПРК
20.03.2010	СТМ003	К50	Т4	вх_32	09.13	п1	09.30	10.30	0
						п2	19.00	20.00	0
			Т5	вы_32	09.25	п1	09.30	10.30	0
						п2	19.00	20.00	0
		К37	Т4	вх_32	18.10	п1	09.30	10.30	0
						п2	19.00	20.00	0
			Т5	вы_32	18.22	п1	09.30	10.30	0
						п2	19.00	20.00	0
	СТМ005	К07	Т3	вх_34	10.56	п1	08.00	09.00	0
						п2	18.00	19.00	0
			Т4	вы_34	11.08	п1	08.00	09.00	0
						п2	18.00	19.00	0
		К15	Т3	вх_34	19.01	п1	08.00	09.00	0
						п2	18.00	19.00	0
			Т4	вы_34	19.13	п1	08.00	09.00	0
						п2	18.00	19.00	0
	СТМ001	К99	Т2	35	10.31	п1	09.00	10.30	0
						п2	22.00	23.00	0
		К77	Т2	35	12.20	п1	09.00	10.30	0
						п2	22.00	23.00	0

Рисунок 3.22— Результат обработки измененных таблиц СБД

Аналогичным образом в процессе предварительного планирования может решаться задача обнаружения ПКС при пересечении воздушными судами, летящими на одном эшелоне запланированных участков различных маршрутов, которые по совпадают во времени полета хотя бы и частично или имеют точки пересечения, а также решается задача обнаружения ПКС при полетах воздушных судов по участкам маршрутов на встречных или попутных эшелонах при снижении или наборе высоты.

Для решения этих задач необходимо соответствующим образом спроектировать требуемую для этого базу данных, которая должна позволять выполнять расчеты временных и пространственных параметров положения ВС и логических условий для различных типов возможных конфликтов.

3.1.7 Методы и алгоритмы оптимального управления воздушными судами в аэродромном воздушном пространстве

3.1.7.1 Содержание и критерии оценки качества решения задач посадки воздушных судов на аэродром

Современные комплексы средств автоматизации процессов управления полетами и воздушным движением предназначены не только для решения задач планирование полетов, определения потенциально конфликтных ситуаций (ПКС) и устранения конфликтных ситуаций (КС) в полетах, но также и для решения оптимизационных задач с целью повышения качества управления авиацией.

Основными задачами оптимального (наилучшего по выбранному кри-

терию оценки) управления полетами и воздушным движением воздушных судов являются:

— определение оптимальных траекторий движения воздушных судов, то есть таких, которые при заданных условиях полета и летно-технических характеристиках ВС, обеспечивают наилучшие показатели безопасности и экономичности отдельных полетов и воздушного движения в целом;

— выработка оптимальных управляющих воздействий

$$u(t) = [a_x(t), \nu(t), \gamma(t)]^T,$$

где $a_x(t)$ — ускорение, создаваемое тягой двигателей вдоль оси X в траекторной системе координат; $\nu(t)$ и $\gamma(t)$ — изменение углов тангажа и крена для перемещения центра масс ВС в вертикальной и горизонтальной плоскостях) на воздушные суда при непосредственном управлении ими с наземных ПУ на основе знания целей управления, плановых и реальных траекторий полетов.

Для расчета оптимальных траекторий (программ полета) и/или оптимальных управляющих воздействий на ВС обосновываются соответствующие показатели (критерии) качества решаемых задач. Рассчитанные траектории и/или управляющие воздействия (команды), обеспечивающие достижение экстремальных значений выбранных критериев, называются оптимальными. Задачи, связанные с поиском оптимальных решений (оптимизационные задачи) в области УВД, как правило, сводятся к известным математическим постановкам и методам решения. Например, при предварительном (долгосрочном и суточном) планировании для нахождения оптимальных траекторий (маршрутов полетов) ВС во внеаэродромном ВП используются методы линейного программирования, разработанные для решения транспортной задачи, задачи о кратчайшем пути или задачи о потоках в сетях.

Оптимальное управление полетами и воздушным движением, включающее в себя процессы текущего планирования и непосредственного управления самолетами в воздухе, обеспечивает удовлетворение заявок пользователей воздушного пространства и безопасность ВД в зонах ответственности органов и пунктов управления авиацией. Обслуживание каждого ВС при оперативном управлении ВД начинается со сбора информации от различных источников (заявок на полеты, сообщений по УВД от смежных и вышестоящих органов управления, данных от радиотехнических средств УВД, экипажей), идентификации ее с каждым ВС, а также запоминания и хранения на разных носителях информации. На основе собранной и поступающей информации выполняется анализ реальной и прогнозирование предстоящей воздушной обстановки с учетом действующих норм и правил ВД. В результате анализа вырабатываются решения по дальнейшему выполнению полета каж-

дым ВС, которые при необходимости согласовываются со смежными органами и пунктами управления и экипажами. Согласованные решения в виде команд поступают на борт и смежные пункты управления для выполнения задач оперативного управления полетами и ВД.

Наиболее сложной и трудоемкой процедурой при управлении воздушным движением в аэродромном ВП является расчет траектории и времени посадки для каждого ВС. Поэтому при создании средств управления полетами и ВД задача автоматизации этой процедуры является наиболее важной. Одной из сложнейших задач, решаемых группой руководства полетами, является формирование очередности посадки воздушных судов из группы, входящих в аэродромное ВП с небольшими интервалами времени и имеющих, в общем случае, различные приоритеты на посадку. Для решения этой задачи в АСУ П и ВД используются различные математические методы, позволяющие определять очередность посадки воздушных судов, уменьшая (минимизируя) время нахождения группы ВС в аэродромном ВП и увеличивая (максимизируя) пропускную способность аэродрома, с учетом приоритетов и установленных стандартных траекторий для маневрирования ВС, а также требований по безопасности полетов. К таким методам относятся методы математического и динамического программирования, методы вариационного исчисления и другие комбинаторные методы.

В качестве критерия для решения задачи посадки воздушных судов наиболее часто используется длительность интервала времени, необходимого для посадки одиночного ВС (или группы ВС) и рассчитываемого от момента входа ВС в аэродромное ВП (t^0) до момента касания ВПП (t^k).

При этом задача оптимального управления посадкой одиночного i -го ВС состоит в определении и реализации такой j -ой траектории (из всех допустимых для данного ВС траекторий), которая будет определять минимальное время посадки i -го ВС:

$$T_{ij}^n = T_{ij}(t_i^0, t_{ij}^k) = t_{ij}^k - t_i^0,$$

где t_i^0 — момент времени входа i -го ВС в аэродромное ВП; t_{ij}^k — момент времени касания ВПП i -м ВС, выполняющим посадку по j -ой допустимой траектории $tr_j \in TR_i$. Тогда оптимальной траекторией посадки будет являться любая j -ая траектория ($j = 1, 2, \dots, n_i$; $n_i = |TR_i|$ — мощность множества допустимых траекторий посадки для i -го ВС), которой соответствует минимальное время посадки, т.е. минимальное значение рассматриваемого критерия:

$$T_i^{no} = \min_{tr_j \in TR_i} T_{ij}(t_i^0, t_{ij}^k) = \min_{tr_j \in TR_i} (t_{ij}^k - t_i^0), \quad (3.1)$$

где T_i^{no} — оптимальное значение критерия T_{ij}^n для i -го воздушного судна;

$TR_i = \{tr_1, tr_2, \dots, tr_{n_i}\}$ — множество допустимых траекторий посадки для i -го воздушного судна.

Оптимальное управление посадкой группы, включающей m воздушных судов, состоит в определении и реализации очередности и траектории посадки для каждого из ВС, которые в совокупности будут определять минимальное суммарное время (T_n) нахождения всей группы ВС в аэродромном ВП, включая интервал времени посадки замыкающего группу ВС:

$$\sum_{n=1}^m T_{ij}(t_i^0, t_{ij}^k) = \sum_{n=1}^m (t_{ij}^k - t_i^0); \quad j \in N_i, \quad (3.2)$$

где $N_i = \{1, 2, \dots, n_i\}$ — множество номеров траектории посадки, допустимых для i -го ВС; j — номер одной из допустимых траекторий, существующей в множестве N_i ; T_{ij} — интервал времени посадки i -го ВС по j -ой траектории.

Оптимальное значение данного критерия будет соответствовать следующим соотношениям:

$$T^{no} = \min_{tr_j \in TR_i} (\sum_{n=1}^m T_{ij}(t_i^0, t_{ij}^k); j = \overline{1, n_i}) = \min_{tr_j \in TR_i} (\sum_{n=1}^m (t_{ij}^k - t_i^0); j = \overline{1, n_i}), \quad (3.3)$$

где T^{no} — оптимальное значение критерия для всей группы из m воздушных судов.

При расчете очередности посадки воздушных судов обязательно учитываются их приоритеты, выдерживается интервал времени τ_6 их безопасной посадки (т.е. для всех совершающих друг за другом посадку ВС должно выполняться условие $|t_{i+1}^k - t_i^k| \geq \tau_6$) и контролируется выполнение норм безопасного горизонтального $L_{БЭ}$ и вертикального $H_{БЭ}$ эшелонирования путем выполнения соотношения:

$$\frac{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}{L_{БЭ}^2} + \frac{(H_i - H_j)^2}{H_{БЭ}^2} \geq 1. \quad (3.4)$$

Использование указанного критерия T^{no} направлено на расчет таких траекторий движения для каждого отдельного воздушного судна, вошедшего в ВП аэродрома, которые удовлетворяли бы заданным требованиям по приоритетам ВС и безопасности их посадки. Каждая из рассчитываемых траекторий полета ВС в аэродромном ВП от моментов t^0 до t^k представляют собой в общем случае совокупность дуг окружностей, виражей (полных и неполных), «восьмерок», «змеек» и прямых, касательных к дугам окружностей.

В качестве примера расчета оптимальной очередности захода на посадку ВС, прибывающих с небольшим временным интервалом в район аэродро-

ма, рассмотрим состав исходных данных, ограничений и допущений, а также структурно-функциональную схему органа автоматизированного управления полетами ВС в дальней и ближней зоне ВП аэродрома.

Пусть аэродром расположен в точке с координатами $X_{аэ}$ и $Y_{аэ}$ в прямоугольной системе координат, оборудован радиотехническими средствами наблюдения (ПРЛС, ВРЛ) за воздушной обстановкой и средствами связи с ВС. Для упрощения расчетов примем, что центр системы координат совпадает с центром ВПП аэродрома (в точке размещения РСБН). Ось X совпадает с восточным направлением параллели, ось Y — с северным направлением меридиана. Магнитный посадочный курс аэродрома $\psi_{п}$ принят равным 225° (он может быть изменен на противоположный и быть равным 45°). Курсом ВС называется угол, заключенный между северным направлением меридиана, проходящим через ВС, и продольной осью ВС. Курс ВС отсчитывается в горизонтальной плоскости от северного направления меридиана до продольной оси ВС по ходу часовой стрелки в пределах от 0° до 360° . Курс i -го ВС в точке входа на траекторию посадки (в точку $ТВХ_i$) с координатами $X_{вх}^i$, $Y_{вх}^i$, $h_{вх}^i$ обозначим как $\psi_{вх}^i$. Местоположение ВС определяется по данным РЛС в аэродромной системе координат.

Пусть на аэродром посадки заходят ВС разных типов с разных направлений, на различных высотах и скоростях. Алгоритм формирования оптимальной очередности посадки предусматривает управление движением всех ВС после получения и обработки в АСУ радиолокационной и полетной информации о ВС. Заход на посадку каждого i -го ВС осуществляется по кратчайшему пути от $ТВХ_i$ аэродрома до точки начала снижения (ТНС), находящейся на посадочной прямой с курсом посадки $\psi_{п}$, и имеющей координаты $X_{тнс}^i$, $Y_{тнс}^i$, $h_{тнс}^i$ (рисунок 3.23).

Порядок выполнения захода одиночного ВС на посадку по кратчайшему пути состоит из следующих этапов.

1. Вход в точку начала снижения. Для каждой исходной точки $ТВХ_i$ с координатами $X_{вх}^i$, $Y_{вх}^i$, $h_{вх}^i$ рассматривается самая короткая (кратчайшая) траектория полета ВС до расчетной точки начала снижения (ТНС) с координатами $X_{тнс}^i$, $Y_{тнс}^i$, $h_{тнс}^i$. Эта траектория, в общем случае, состоит из дуги окружности радиуса r (части виража), начинающейся в $ТВХ_i$, дуги окружности того же радиуса r , заканчивающейся в ТНС, и прямой, являющейся касательной к обеим этим дугам.

2. Вход в глиссаду и посадка. Этот этап начинается в ТНС с таким расчетом, чтобы примерно за 1 мин до точки входа ВС в глиссаду посадки (ТВГ) или в заданную расчетную точку (РТ) выйти в горизонтальный полет

на высоте $h_{рт}$, (высота аэродромного круга). Момент входа в ТВГ контролируется экипажем по курсовому углу приводной радиостанции (КУР), азимуту и дальности до РСБН, а также руководителем зоны посадки по данным РСП. Посадка ВС выполняется с использованием посадочных систем типа СП-70, ПРМГ-76У.

Все необходимые расчеты выполняются при следующих ограничениях и допущениях:

— скорости полета воздушных судов по элементам траектории посадки постоянные;

— маневрирование воздушных судов в аэродромном ВП выполняется на скоростях, допускающих углы крена не более 45° ;

— все выполняемые воздушными судами развороты должны быть правильными (с постоянными скоростью и креном без скольжения);

— направление и скорость ветра не учитываются.

При наличии потока ВС на посадку безопасный интервал времени выхода в точку ТВГ принимается в пределах 1...3 мин (60...180 сек).

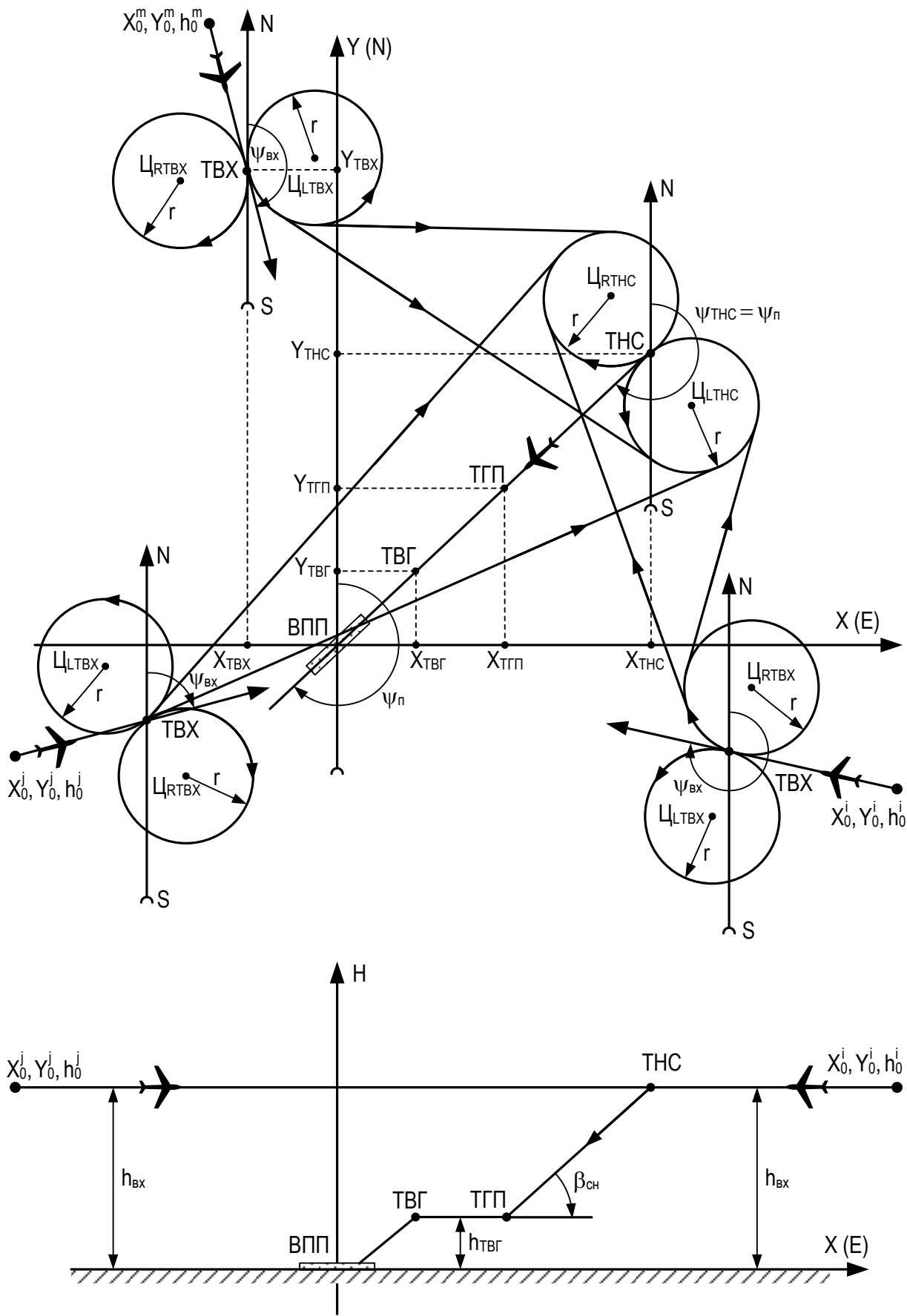


Рисунок 3.23 — Схема траекторий полета самолетов в вертикальной и горизонтальной плоскостях

Информация о воздушной обстановке за пределами ВП аэродрома (в дальней зоне), получаемая с помощью обзорной РЛС или трассового радиолокационного комплекса (ТРЛК) и докладов с бортов ВС, анализируется руководителем дальней зоны (РДЗ) или диспетчером подхода (ДП) и другими лицами группы руководства полетами на КДП с помощью КСА управления П и ВД с целью определения вариантов очередности и траекторий посадки воздушных судов на данном аэродроме.

При невозможности посадки каких-либо ВС на данном аэродроме из-за большого времени ожидания посадки (при наличии более высоких приоритетов у других ВС, находящихся в очереди на посадку) они направляются на запасные или другие аэродромы. Расчет очередности и траекторий посадки, а также контроль воздушной обстановки в зоне посадки осуществляются по данным диспетчерской РЛС (аэродромного радиолокатора — АРЛ). Принципиальная структурно-функциональная схема КСА, обеспечивающего решение задач управления П и ВД в аэродромном ВП, показана на рисунке 3.24.

3.1.7.2 Определение параметров траектории посадки воздушных судов

Интервал времени $T^п$, требуемый для выполнения посадки одиночного ВС и определяемый от момента оценки параметров его траектории в точке с координатами X_0, Y_0, h_0 до момента касания ВПП, определяется суммой следующих интервалов времени:

$$T^п = T_{об} + T_{гм} + T_{сн} + T_{гп} + T_{гл}, \quad (3.5)$$

где $T_{об}$ — время (константа аэродрома) от момента входа ВС в ВП аэродрома в точке X_0, Y_0, h_0 до точки входа на траекторию посадки (ТВХ), требуемое для обработки радиолокационных и полетных данных о ВС, оценки параметров его движения, принятия решения о посадке и передачи на борт команды начала маневра посадки в точке ТВХ (в это время ВС сохраняет начальную скорость V_0 , крен γ_0 и высоту полета $h_0 = h_{вх}$); $T_{гм}$ — минимизируемое время горизонтального маневрирования ВС по схеме «разворот-прямая-разворот» от точки ТВХ до точки ТНС на высоте $h_{вх}$; $T_{сн}$ — время снижения ВС с высоты $h_{вх}$ до высоты $h_{ТВГ}$ между точками ТНС и ТГП под углом снижения $\beta_{сн}$, максимально допустимом для данного типа ВС ($T_{сн} = (h_{вх} - h_{ТВГ})/V_{сн}$; $V_{сн} = V_0 \sin \beta_{сн}$ — скорость снижения ВС); $T_{гп}$ — время (константа аэродрома) прямолинейного горизонтального полета на высоте $h_{ТВГ}$ между точками ТГП и ТВГ (за это время скорость ВС должна быть снижена до скорости посадки $V_п$ и установлен посадочный курс $\psi_п$); $T_{гл}$ — время полета по глиссаде посадки со скоростью $V_п$ от точки ТВГ до точки касания ВПП ($T_{гл} = S_{гл}/V_п$; $S_{гл} = \sqrt{(h_{ТВГ} - h_{ВПП})^2 + L_{ТВГ}^2}$ — длина глиссады; $L_{ТВГ}$ — константа аэродрома, определяющая удаление ТВГ по горизонтали от точки касания ВПП).

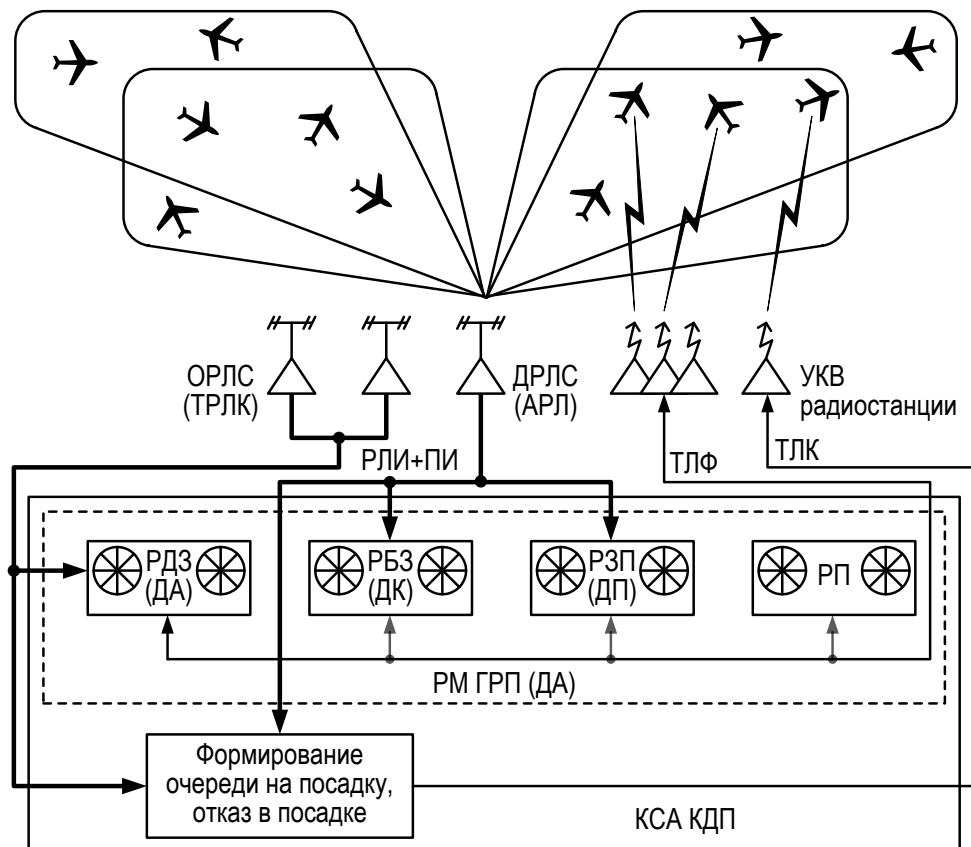


Рисунок 3.24 — Структура автоматизированного КДП

ОРЛС — обзорная РЛС; ТРЛК — трассовый радиолокационный комплекс; ДРЛС — диспетчерская РЛС; АРЛ — аэродромный радиолокатор; РЛИ — радиолокационная информация; ПИ — полетная информация; РП — руководитель полетов; РМ ГРП — рабочие места группы руководства полетами; ДА — диспетчеры аэродрома; ТЛФ — телефонный канал связи; ТЛК — телекодированный канал связи; РЗП — руководитель зоны посадки (ДП — диспетчер посадки); РДЗ — руководитель дальней зоны (ДП — диспетчер подхода); РБЗ — руководитель ближней зоны (ДК — диспетчер круга)

Координаты точки ТНС определяются следующим образом (см. рисунок 3.23)

$$X_{\text{ТНС}} = X_{\text{ТК}} - (L_{\text{ТВГ}} + L_{\text{ТП}} + L_{\text{СН}}) \sin \psi_{\text{п}}; Y_{\text{ТНС}} = Y_{\text{ТК}} - (L_{\text{ТВГ}} + L_{\text{ТП}} + L_{\text{СН}}) \cos \psi_{\text{п}},$$

где $X_{\text{ТК}}$, $Y_{\text{ТК}}$ — координаты точки касания (ТК) воздушным судном ВПП; $L_{\text{ТП}} = V_{\text{ср}} T_{\text{ТП}}$ — расстояние по горизонтали между точками ТВГ и ТТП; $V_{\text{ср}} = (V_0 + V_{\text{п}})/2$ — средняя скорость горизонтального прямолинейного полета между точками ТВГ и ТТП; $L_{\text{СН}} = (h_{\text{вх}} - h_{\text{ТП}}) \cdot \text{ctg} \beta_{\text{СН}}$ — расстояние по горизонтали между точками ТТП и ТНС.

Координаты точек входа в ВП аэродрома $X_{\text{вх}}$, $Y_{\text{вх}}$ ВС с учетом времени на обработку $T_{\text{об}}$ определяются для двух вариантов начальных условий:

— ВС входит в ВП аэродрома без крена ($\gamma_0=0$), по прямой на ДПРМ,

имея координаты X_0, Y_0, h_0 и курс ψ_0 , тогда

$$\Delta X = V_0 T_{об} \sin \psi_0, \Delta Y = V_0 T_{об} \cos \psi_0 \text{ и } X_{вх} = X_0 - \Delta X, Y_{вх} = Y_0 - \Delta Y. \quad (3.6)$$

— ВС входит в ВП аэродрома с креном ($\gamma_0 \neq 0$) в направлении на ДПРМ, имея координаты X_0, Y_0, h_0 и курс ψ_0 . Другими словами, ВС в данной точке находится в состоянии выполнения разворота (при $\gamma > 0$ — вправо, при $\gamma < 0$ — влево). На интервале времени $T_{об}$ этот разворот должен быть завершен в точке ТВХ с курсом $\psi_{вх}$. Текущий курс ВС ψ изменяется от значения ψ_0 до значения $\psi_{вх}$ на величину $\Delta\psi$ (реализуется управление по изменению курса ВС), которая при правом развороте имеет положительное значение, а при левом — отрицательное и определяется соотношением

$$\Delta\psi = \frac{g}{V_0} \operatorname{tg} \gamma_0 T_{об}.$$

Если в процессе выполнения разворота с креном γ_0 на интервале времени $T_{об}$ воздушное судно пересекает северное направление меридиана, то в момент пересечения текущее значение курса $\psi = \psi_0 + \Delta\psi$ при правом развороте обнуляется, а при левом развороте принимает значение 360° . Разворот выполняется до момента выхода ВС в точку ТВХ с курсом $\psi = \psi_{вх}$.

При вычислении значений курсового угла $\psi = \psi_0 + \Delta\psi$, которые по физическому смыслу всегда являются положительными и меньше 360° , возможно получение как отрицательных, так и положительных значений $\psi \geq 360^\circ$ (за счет положительных или отрицательных значений $\Delta\psi$). Для предотвращения такого рода ошибок применяется специальный способ функционального преобразования одной величины в другую (вычисление значения «А по модулю В» — $A \bmod B$). Смысл этого способа поясняет следующее выражение: $A \bmod B = C$, где $C = A - n \cdot B$; $n = 0, 1, 2, \dots, m$. Другими словами, $A \bmod B$ есть либо сама величина А (при $A \geq 0$ и $A < B$, т.к. $n = 0$), либо значение остатка от операции вычитания из величины А целого числа (кратного количеству) величины В (при $A > 0$ и $A \geq B$, т.к. $n > 0$).

При вычислении значений курсовых углов или углов каких-либо направлений движения (азимуты) в качестве величины В используются значения 360° (или 2π), а в качестве величины А — суммы $(\psi_0 + \Delta\psi + 360^\circ)$ или $(\psi_0 + \Delta\psi + 2\pi)$ соответственно. Слагаемые 360° (или 2π) позволяют перейти от возможных отрицательных значений суммы $(\psi_0 + \Delta\psi)$ к положительным $(\psi_0 + \Delta\psi + 360^\circ)$, не изменяя существо процедуры вычисления истинного значения курсового угла, которые всегда будут удовлетворять условию $0 \leq \psi < 360^\circ$.

Таким образом, значение курса ВС в точке ТВХ $\psi_{вх}$ при управлении $\Delta\psi$

в точке (X_0, Y_0) будет определяться выражениями:

$\psi_{\text{вх}} = (\psi_0 + \Delta\psi + 360^\circ) \bmod 360^\circ$, если углы исчисляются в градусах, или

$\psi_{\text{вх}} = (\psi_0 + \Delta\psi + 2\pi) \bmod 2\pi$, если углы исчисляются в радианах.

Для пояснения рассмотрим два примера:

1. Пусть $\psi_0 = 20^\circ$, а $\Delta\psi = -40^\circ$ (см. рисунок 3.25 а), тогда

$$\psi_{\text{вх}} = ((20^\circ - 40^\circ) + 360^\circ) \bmod 360^\circ = 340^\circ \bmod 360^\circ = 340^\circ.$$

2. Пусть $\psi_0 = 350^\circ$, а $\Delta\psi = 40^\circ$ (см. рисунок 3.25 б), тогда

$$\psi_{\text{вх}} = ((350^\circ + 40^\circ) + 360^\circ) \bmod 360^\circ = 750^\circ \bmod 360^\circ = 750^\circ - 2 \cdot 360^\circ = 30^\circ.$$

В рассматриваемом варианте начальных условий поправки ΔX и ΔY для расчета координат $X_{\text{вх}}, Y_{\text{вх}}$ по рассмотренным выше выражениям (см. формулу 3.6) определяются следующими соотношениями:

$$\Delta X = \frac{V_0^2}{g \operatorname{tg} \gamma_0} (\cos \psi_0 - \cos \psi_{\text{вх}}); \quad \Delta Y = \frac{V_0^2}{g \operatorname{tg} \gamma_0} (\sin \psi_{\text{вх}} - \sin \psi_0),$$

где g — ускорение свободного падения.

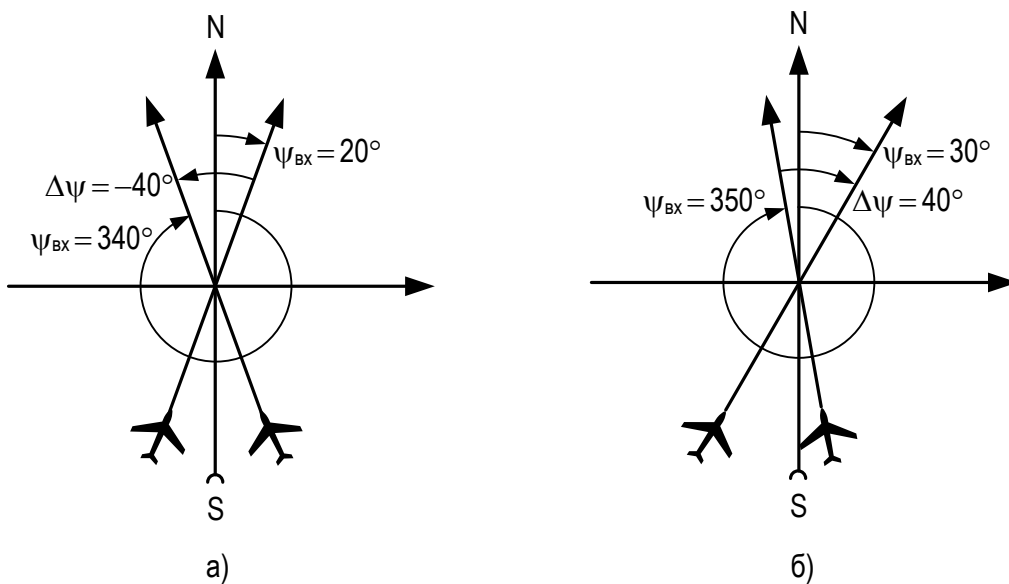


Рисунок 3.25 — Примеры вычисления значений курсовых углов и азимутов направлений

В точке ТВХ с координатами $X_{\text{вх}}, Y_{\text{вх}}, h_{\text{вх}}$ и курсом $\psi_{\text{вх}}$ ВС начинает выполнение разворота в горизонтальной плоскости на высоте $h_{\text{вх}}$ с радиусом r и угловой скоростью ω (см. рисунок 3.23), определяемым по формулам:

$$r = \frac{V_0^2}{g \operatorname{tg} \gamma}; \quad \omega = \frac{V}{r},$$

где значение r может быть отрицательным, так как $\operatorname{tg}(-\alpha) = -\operatorname{tg} \alpha$.

Тогда координаты центров окружностей при правом (Ψ_{RTBX}) и при левом (Ψ_{LTBX}) разворотах в точке TBX с учетом знака r определяются следующими соотношениями (см. рисунок 3.26):

$$X_{\Psi_{RTBX}} = X_{TBX} + r \cos \psi_{BX}, \quad Y_{\Psi_{RTBX}} = Y_{TBX} - r \sin \psi_{BX};$$

$$X_{\Psi_{LTBX}} = X_{TBX} - r \cos \psi_{BX}, \quad Y_{\Psi_{LTBX}} = Y_{TBX} + r \sin \psi_{BX}.$$

Вход в точку начала снижения с координатами X_{THC} , Y_{THC} , h_{BX} осуществляется путем разворота BC вправо R или влево L с радиусом r и угловой скоростью ω (см. рисунок 3.23). Координаты центров разворотов Ψ_{RTHC} , Ψ_{LTHC} в точке THC с учетом знака r определяются следующими соотношениями:

$$X_{\Psi_{RTHC}} = X_{TBX} + r \cos \psi_{\Pi}, \quad Y_{\Psi_{RTHC}} = Y_{TBX} - r \sin \psi_{\Pi};$$

$$X_{\Psi_{LTHC}} = X_{TBX} - r \cos \psi_{\Pi}, \quad Y_{\Psi_{LTHC}} = Y_{TBX} + r \sin \psi_{\Pi}.$$

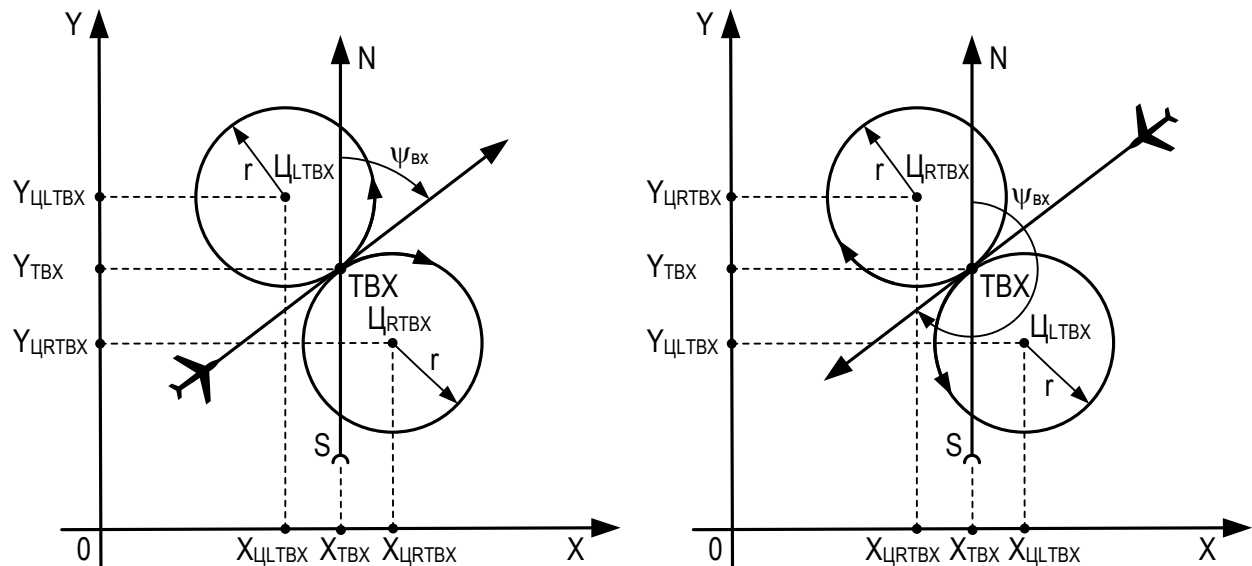


Рисунок 3.26 — Определение координат центров разворотов

3.1.7.3 Определение оптимальной траектории посадки одиночного воздушного судна

Оптимальная траектория одиночного BC tr_j^o , доставляющая минимум рассмотренному критерию (3.1), определяется минимальной своей длиной между точками TBX и THC . Этой длине будет соответствовать минимальный интервал времени T_{GM} в выражении (3.5), так как значение координат всех остальных характерных точек ($TГП$, $TВГ$, $TК$) и параметров траекторий посадки известны и практически постоянны (и не могут быть изменены) для одинаковых типов BC .

Таким образом, рассматриваемая задача состоит в определении крат-

чайшей траектории полета (кратчайшего пути) для i -го ВС между точками TBx_i и THC из множества допустимых для i -го ВС траекторий (TR_i) для выполнения посадки i -го ВС, появившегося в момент времени t_i^0 в точке (X_0^i, Y_0^i) входа в аэродромное ВП на высоте h_0^i . Рассматриваемая задача решается с помощью следующих построений.

Для определения множества TR -допустимых траекторий посадки одиночного ВС из двух центров разворотов в точке TBx (\bar{C}_{RTBx} и \bar{C}_{LTBx}) проведем векторы \bar{Q}_{ij} в два центра разворотов в точке THC (\bar{C}_{RTHC} и \bar{C}_{LTHC}). Таких векторов будет четыре:

— векторы \bar{Q}_{11} и \bar{Q}_{12} имеют началом точку \bar{C}_{RTBx} и оканчиваются в точках \bar{C}_{RTHC} и \bar{C}_{LTHC} соответственно;

— векторы \bar{Q}_{21} и \bar{Q}_{22} начинаются в точке \bar{C}_{LTBx} и оканчиваются в точках \bar{C}_{RTHC} и \bar{C}_{LTHC} соответственно.

Координаты точек начала и конца этих векторов обозначим (X_{ij}^H, Y_{ij}^H) и (X_{ij}^K, Y_{ij}^K) , тогда модули этих векторов будут определяться выражениями

$$Q_{ij} = |\bar{Q}_{ij}| = \sqrt{\Delta X_{ij}^2 + \Delta Y_{ij}^2}, \text{ где } \Delta X_{ij} = X_{ij}^K - X_{ij}^H; \Delta Y_{ij} = Y_{ij}^K - Y_{ij}^H,$$

а направление — азимутом A_{ij} (углом между северным направлением меридиана, проходящего через центр разворота, и линией, соединяющей центры окружностей, точек TBx и THC , отсчитываемый по ходу часовой стрелки) в пределах от 0° до 360° .

Азимуты векторов \bar{Q}_{ij} вычисляются с помощью рассмотренной функции A по модулю B :

$$A_{ij} = (\arctg \frac{\Delta X_{ij}}{\Delta Y_{ij}} + 2\pi) \bmod 2\pi.$$

При определении значения углов в градусах используется известное соотношение $\alpha_{[град]} = \alpha_{[рад]} \cdot 180/\pi$.

Для выполнения посадки любого ВС, в общем случае из всего множества допустимых для него траекторий предпочтительными являются, как правило, не более четырех траекторий $TR = \{tr_j; j = 1, 2, 3, 4\}$, среди которых существуют и оптимальные (самые короткие), доставляющие минимум критерию (3.1). Конкретное число таких траекторий зависит от расстояний между центрами разворотов в точках TBx и THC .

Если существует такой вектор \bar{Q}_{ij} , модуль которого $Q_{ij} < 2r$, то траектории виражей радиуса r в точках TBx и THC пересекаются (рисунок 3.27). В этом случае существует не более трех траекторий движения между точками

ТВХ и ТНС $TR = \{tr_1, tr_2, tr_3\}$, среди которых имеется хотя бы одна кратчайшая.

Первая возможная траектория посадки ВС (tr_1) включает следующие элементы:

- разворот вправо по окружности с центром в точке Π_{RTBX} на угол $\Delta\psi_1^1$;
- касательную прямую к окружностям с центрами Π_{RTBX} и Π_{RTHC} ;
- разворот вправо по окружности с центром в точке Π_{RTHC} на угол $\Delta\psi_2^1$.

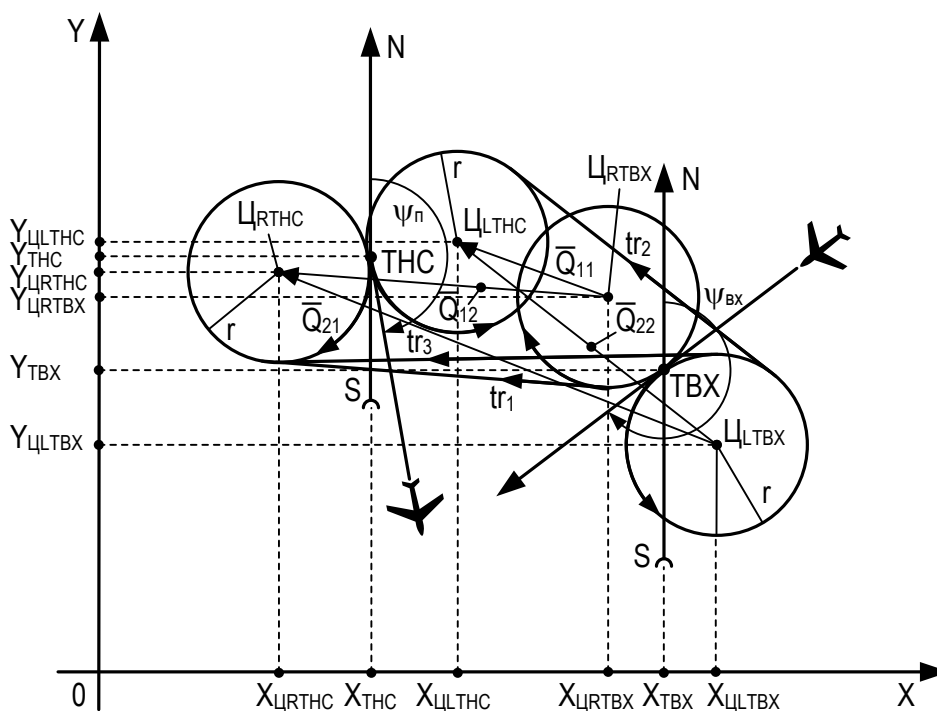


Рисунок 3.27 — Траектории виражей точек входа и посадки пересекаются

Угол разворота вправо $\Delta\psi_1^1$ по окружности с центром Π_{RTBX} до азимута касательной определяется как разность азимута A_{11} вектора \bar{Q}_{11} и курса ВС $\psi_{вх}$:

$$\Delta\psi_1^1 = ((A_{11} - \psi_{вх}) + 2\pi) \bmod 2\pi.$$

Интервалы времени, необходимые для первого разворота с центром в точке Π_{RTBX} и движения по прямой параллельной вектору \bar{Q}_{11} до точки начала второго правого разворота определяются выражениями:

$$T_R^1 = \frac{\Delta\psi_1^1}{\omega}, \quad T_{11} = \frac{Q_{11}}{V_0}.$$

Угол второго разворота вправо $\Delta\psi_2^1$ по окружности с центром Π_{RTHC} от точки конца касательной до точки ТНС определяется выражением:

$$\Delta\psi_2^1 = ((\psi_n - A_{11}) + 2\pi) \bmod 2\pi,$$

а интервал времени, необходимый для этого $T_R^2 = \Delta\psi_2^1/\omega$.

Тогда, полное время полета ВС по траектории tr_1 между точками ТВХ и ТНС будет определяться выражением:

$$T_1^{\Pi} = \frac{Q_{11}}{V_0} + \frac{1}{\omega} (\Delta\psi_1^1 + \Delta\psi_2^1).$$

Вторая возможная траектория посадки ВС (tr_2) включает:

- разворот влево по окружности с центром в точке $\Pi_{ЛТВХ}$ на угол $\Delta\psi_1^2$;
- касательную прямую к окружностям с центрами $\Pi_{ЛТВХ}$ и $\Pi_{ЛТНС}$;
- разворот влево по окружности с центром в точке $\Pi_{ЛТНС}$ на угол $\Delta\psi_2^2$.

Параметры движения ВС по указанным элементам траектории tr_2 определяются следующими соотношениями:

$$\Delta\psi_1^2 = ((\psi_{ВХ} - A_{22}) + 2\pi) \bmod 2\pi;$$

$$T_L^1 = \frac{\Delta\psi_1^2}{\omega}; \quad T_{22} = \frac{Q_{22}}{V_0};$$

$$\Delta\psi_2^2 = ((A_{22} - \psi_{п}) + 2\pi) \bmod 2\pi;$$

$$T_L^2 = \frac{\Delta\psi_2^2}{\omega}.$$

Тогда полное время полета ВС по траектории tr_2 между точками ТВХ и ТНС будет определяться выражением:

$$T_2^{\Pi} = \frac{Q_{22}}{V_0} + \frac{1}{\omega} (\Delta\psi_1^2 + \Delta\psi_2^2).$$

Третья возможная траектория посадки ВС (tr_3) включает:

- разворот влево по окружности с центром в точке $\Pi_{ЛТВХ}$ на угол $\Delta\psi_1^3$;
- касательную прямую к окружностям с центрами $\Pi_{ЛТВХ}$ и $\Pi_{РТНС}$;
- разворот вправо по окружности с центром в точке $\Pi_{РТНС}$ на угол $\Delta\psi_2^3$.

Эта траектория будет длиннее первых двух за счет более длинных виражей по окружностям с центрами $\Pi_{ЛТВХ}$ и $\Pi_{РТНС}$ даже при возможном равенстве длин прямолинейных участков траекторий.

Таким образом, определение оптимальной траектории посадки ВС будет связано со следующими решающими правилами:

- если $(T_1^{\Pi} - T_2^{\Pi}) < 0$, то оптимальной является траектория tr_1 и $T^{\Pi 0} = T_1^{\Pi}$;

- если $(T_1^n - T_2^n) > 0$, то оптимальной является траектория tr_2 и $T^{по} = T_2^n$;
- если $(T_1^n - T_2^n) = 0$, то обе траектории оптимальны и можно использовать любую из них.

В том случае, когда для любого из векторов \bar{Q}_{ij} справедливо соотношение $|\bar{Q}_{ij}| \geq 2r$ (см. рисунок 3.28), число возможных допустимых и наиболее коротких траекторий полета ВС между точками ТВХ и ТНС будет равно четырем ($TR = \{tr_1, tr_2, tr_3, tr_4\}$). Параметры этих траекторий и периоды времени, необходимые для совершения посадки находятся с помощью построений, аналогичным рассмотренным выше. В этом случае оптимальной будет являться некоторая j -ая траектория посадки, которой соответствует минимальное время T_j^n , при $j=1, 2, 3, 4$:

$$T^{оп} = \min\{T_1^n, T_2^n, T_3^n, T_4^n\}.$$

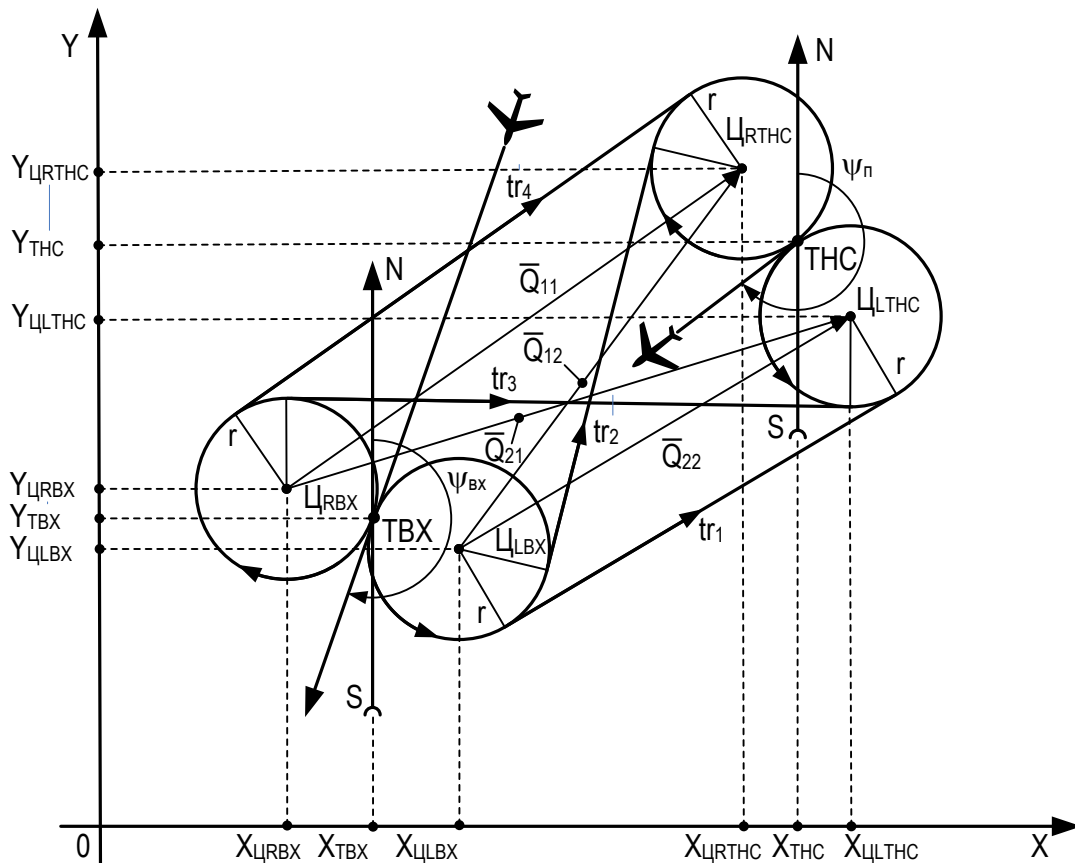


Рисунок 3.28 — Траектории виражей точек входа и посадки не пересекаются

3.1.7.4 Определение очередности посадки воздушных судов из группы

Формирование оптимальной очередности посадки S воздушных судов (самолетов), входящих ВП аэродрома плотной группой и имеющие приоритеты в посадке, состоит в расчете для каждого ВС момента времени посадки с учетом времени прибытия $T^{пр}$, интервала безопасности между очередными посадками τ_6 , приоритета самолета в посадке и необходимого времени ожи-

дания $t^{ож}$ посадки на траектории полета самолета от ТВХ до ТНС. В данной задаче число самолетов, прибывающих в район аэродрома, составит множество S . Самолеты этого множества имеют три вида приоритетов ($j = 1, 2, 3$) на посадку. Приоритет №3 принят в данном множестве наивысшим. Число самолетов с этими приоритетами обозначим m_1, m_2, m_3 , при этом $m_1 + m_2 + m_3 = S$.

Предполагается, что у прибывающих S самолетов достаточно топлива, чтобы ожидать момента своей посадки. Другие самолеты, не вошедшие в число S по разным причинам, могут быть до входа в аэродромное ВП отправлены на другие аэродромы или быть приняты на посадку за счет сокращения интервала безопасности τ_6 . Приоритет ВС, в общем, отражает состояние ВС: недостаток топлива для ожидания, неисправность на борту, ранг ВС.

Формирование потока самолетов, совершающих посадку в назначенное время, производится следующим образом.

1. Для всех самолетов из множества S , вошедших в ВП аэродрома и взятых АСУП на «обработку» и управление, рассчитывается время прибытия в расчетную точку аэродрома $T_{ij}^{пр}$ ($i \in S, j \in G$) как минимальное время полета от ТВХ до ТНС и далее по траектории снижения и посадки по приведенным выше формулам.

2. Рассчитываются моменты посадок $ВС_{ij}$ с приоритетом $j = 3$, входящих в подмножество m_2 , в виде значений времени последовательных посадок $T_{i3}^{пос z}$ ($z = 1, 2, \dots, m_3$) с учетом $T_{i3}^{пр}$ и времени ожидания i -го самолета по причине выдерживания интервала безопасности τ_6 между $ВС_i$, имеющих тот же приоритет $j = 3$. Время ожидания $ВС_{ij}$ $t_{i3}^{ож}$ вычисляется следующим образом:

$$t_{i3}^{ож} = K \cdot t_{ij}^{ож \min},$$

где $t_{ij}^{ож \min} = \frac{2\pi V_{ij}}{g \operatorname{tg} \gamma_{ij}^{\text{доп}}}$ — время выполнения ВС виража с максимально допустимым углом крена $\gamma^{\text{доп}}$.

Коэффициент K определяется следующим образом:

$$K = \begin{cases} 0 \\ 1 \\ 1,1; 1,2; 1,3 \end{cases},$$

где 0 — если ожидания не требуется; 1 — минимально возможное время ожидания $ВС_{ij}$ (самый короткий по времени вираж); 1,1; 1,2; 1,3 (например) — ряд коэффициентов, повышающих время ожидания от $t_{ij}^{ож \min}$ до необходимого за счет увеличения радиуса виража ВС.

По рассчитанному ряду времен ожидания, начиная от $t_{ij}^{\text{ож min}}$ и выше (с дискретностью коэффициента K не более величины ошибок при выдерживании экипажем ВС времени ожидания), определяются параметры выража BC_{ij} соответствующие необходимому $t_{ij}^{\text{ож}}$:

$$\gamma_{ij} = \arctg \frac{2\pi V_{ij}}{g t_{ij}^{\text{ож}}}; \quad r_{ij} = \frac{V_{ij}^2}{g \operatorname{tg} \gamma_{ij}}.$$

Время первой посадки некоторого BC_{ij} из множества m_3 с приоритетом $j = 3$:

$$T_{ij}^{n1} = \min_i \{T_{ij}^{\text{пп}}\}, \quad i \in m_3.$$

Время второй посадки BC_{ij} из множества m_3 с приоритетом $j = 3$:

$$T^{n1} + \tau_6 \leq T_{ij}^{n2} = \min_i \{T_{ij}^{\text{пп}} + K \cdot t_{ij}^{\text{ож min}}\}, \quad i \in (m_3 - 1).$$

Время очередной посадки BC_{ij} из множества m_3 с приоритетом $j = 3$:

$$T^{n(z-1)} + \tau_6 \leq T_{ij}^{n2} = \min_i \{T_{ij}^{\text{пп}} + K \cdot t_{ij}^{\text{ож min}}\}, \quad i \in (m_3 - (z - 1)).$$

Время последней посадки BC_{ij} из множества m_3 с приоритетом $j = 3$:

$$T^{n(m_3-1)} + \tau_6 \leq T_{ij}^{nm_3} = \min_i \{T_{ij}^{\text{пп}} + K \cdot t_{ij}^{\text{ож min}}\}, \quad i \in (m_3 - (m_3 - 1)) = 1.$$

3. Рассчитываются моменты посадок BC_{ij} с приоритетом $j = 2$, входящих в подмножество m_2 . Времена посадок этой группы ВС учитывают времена посадок ВС более высокого приоритета и ВС, имеющих тот же приоритет, т.е $j = 2$.

Время первой посадки BC_{ij} из множества m_2 с приоритетом $j = 2$:

$$(T^{n(i+1)} + \tau_6) \leq T_{ij}^{n1} = \min_i \{T_{ij}^{\text{пп}} + K \cdot t_{ij}^{\text{ож min}}\} \leq (T^{n(i+1)} - \tau_6), \quad i \in m_2.$$

Время второй посадки BC_{ij} из множества m_2 с приоритетом $j = 2$:

$$(T^{n(i+1)} + \tau_6) \leq T^{n2} = \min_i \{T_{ij}^{\text{пп}} + K \cdot t_{ij}^{\text{ож min}}\} \leq (T_{i(i+1)}^{n1} - \tau_6), \quad i \in (m_2 - 1), j \in (2; 3).$$

Время очередной посадки BC_{ij} из множества m_2 с приоритетом $j = 2$:

$$(T^{n(i+1)} + \tau_6) \leq T_{i2}^{nz} = \min_i \{T_{ij}^{\text{пп}} + K \cdot t_{ij}^{\text{ож min}}\} \leq (T_{i(i+1)}^{n1} + \tau_6), \quad i \in (m_2 - (z - 1)), j \in (2; 3).$$

Время последней посадки BC_{ij} из множества m_2 с приоритетом $j = 2$:

$$(T^{n(i+1)} + \tau_6) \leq T_{i2}^{nm_2} = \min_i \{T_{ij}^{\text{пп}} + K \cdot t_{ij}^{\text{ож min}}\} \leq (T_{i(i+1)}^{n1} + \tau_6), \quad i \in (m_2 - (m_2 - 1)), j \in (2).$$

4. Рассчитываются моменты посадок BC_{ij} с самым низким приоритетом

$j=1$, входящих во множество m_1 . Времена посадок этой группы ВС учитывают времена посадок ВС с более высокими приоритетами и ВС, имеющих тот же приоритет, т.е. $j = 1$.

Время первой посадки BC_{ij} из множества m_1 с приоритетом $j = 1$:

$$(T^{n(i+1)} + \tau_6) \leq T_{ij}^{ni} = \min_i \{ T_{ij}^{np} + K \cdot t_{ij}^{ож \min} \} \leq (T^{n(i+1)} - \tau_6), \quad i \in m_1.$$

Время второй посадки BC_{ij} из множества m_1 с приоритетом $j = 1$:

$$(T^{n(i+1)} + \tau_6) \leq T_{ij}^{ni} = \min_i \{ T_{ij}^{np} + K \cdot t_{ij}^{ож \min} \} \leq (T^{n(i+1)} - \tau_6), \quad i \in (m_1 - 1).$$

Время очередной посадки BC_{ij} из множества m_1 с приоритетом $j = 1$:

$$(T^{n(i+1)} + \tau_6) \leq T_{ij}^{ni} = \min_i \{ T_{ij}^{np} + K \cdot t_{ij}^{ож \min} \} \leq (T^{n(i+1)} - \tau_6), \quad i \in (m_1 - (z - 1)).$$

Время последней посадки BC_{ij} из множества m_1 с приоритетом $j = 1$:

$$(T^{n(i+1)} + \tau_6) \leq T_{ij}^{ni} = \min_i \{ T_{ij}^{np} + K \cdot t_{ij}^{ож \min} \} \leq (T^{n(i+1)} - \tau_6), \quad i \in (m_1 - (m_1 - 1)).$$

5. Времена ожидания от $t^{ож \min}$ до $t^{ож \max}$ и времени посадок $T^п$ для каждого BC_{ij} рассчитывается на ЭВМ, исходя из времени прибытия T^{np} и приоритета ВС. Очередность посадок ВС реализуется путем передачи с КП (КДП) на борт BC_i , где i — номер борта или позывной командира ВС, по радиотелефону управляющих команд: вид разворота, угол разворота и время полета по дуге круга в ТВХ; курс и время полета по прямой; параметры выража для назначенного времени ожидания на траектории полета к последнему развороту (если ожидание для данного ВС необходимо); вид разворота, угол разворота и время полета по дуге круга для входа в точку начала снижения ТНС.

Данная задача предусматривает расчет времени посадки для любого количества самолетов S и трех видов приоритетов. Добавив к решающему правилу математические выражения для определения моментов посадок BC_{ij} с приоритетами $j > 3$, можно формировать поток посадок любого количества ВС с заданным числом приоритетов.

Пример формирования очередности посадок ВС с учетом ожидания назначенного времени посадки показан на рисунке 3.29.

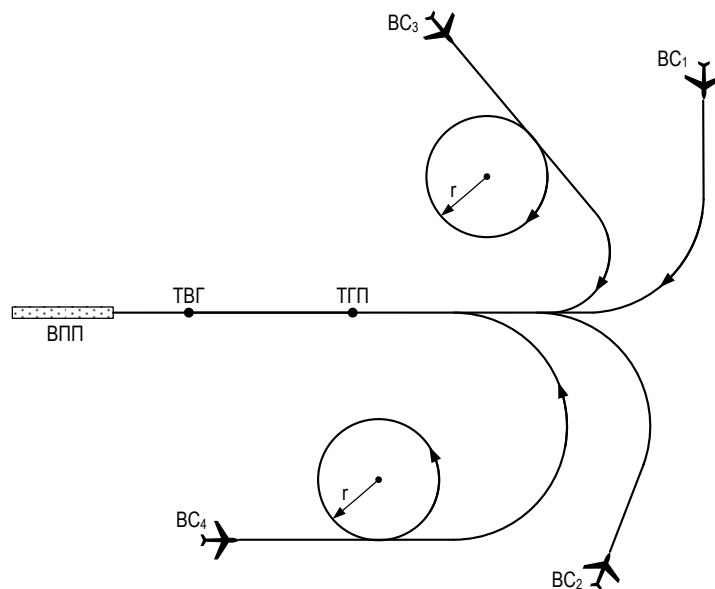


Рисунок 3.29 — Пример формирования очередности посадок ВС с учетом ожидания входа на предпосадочную прямую

3.2 Автоматизированные системы управления полетами и воздушным движением

3.2.1 Структурные схемы АСУ полетами и воздушным движением во внеаэродромном и в аэродромном воздушном пространстве

Дальнейшее развитие малых АСУ ВД районного уровня идет по пути оснащения районных центров высокопроизводительными вычислительными комплексами, позволяющими автоматизировать процессы планирования ВД, одновременного автосопровождения сотен ВС, отображения воздушной и наземной обстановки в различных формах, обмена плановой информацией между взаимодействующими центрами УВД и органами управления аэродромов. Структурно-функциональная схема районной (трассовой) АСУ ВД приведена на рисунке 3.30.

В эту схему включены новые специализированные автоматизированные абонентские пункты (СААП), необходимые для автоматизированного обмена информацией:

- «Октава-2» для приема РЛИ из РЦ УВД и анализа воздушной обстановки с помощью кругового знакового индикатора (КЗИ);
- «Октава-3» для приема и передачи формализованных сообщений по УВД в процессе предварительного и текущего планирования.

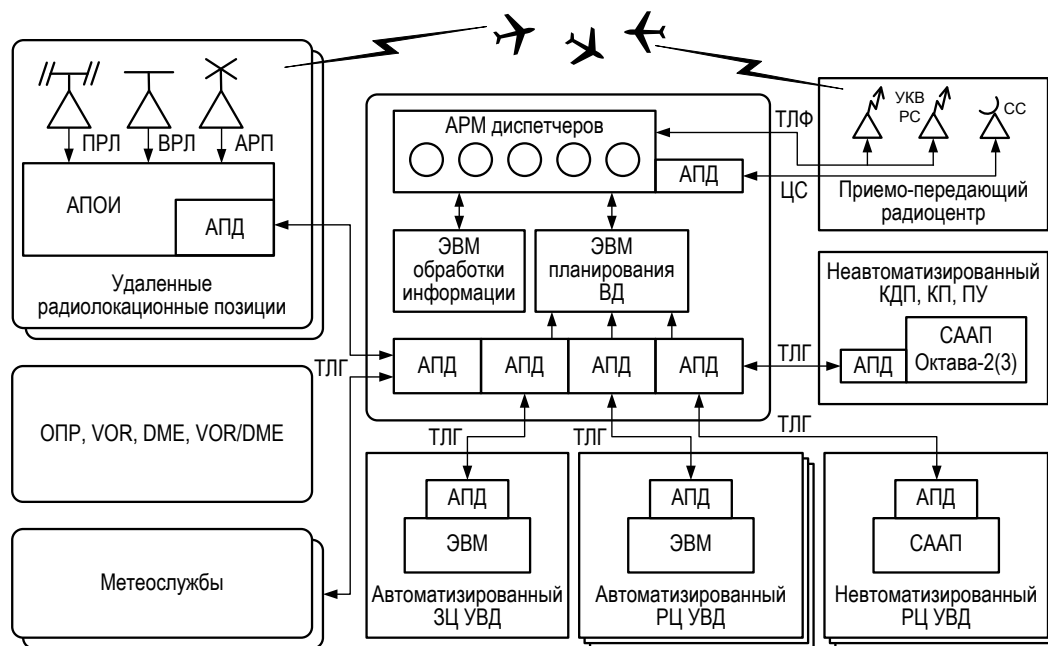


Рисунок 3.30 — Структурно-функциональная схема районной (трассовой) АСУ ВД:

ОПР — отдельные приводные радиостанции; ППРЦ — приемо-передающий радиоцентр; СС — спутниковая станция; ЦС — цифровая связь; VOR — всенаправленный азимутальный радиомаяк; DME — дальномерный радиомаяк

Автоматизированные системы управления полетами и воздушным движением в аэродромном воздушном пространстве представляют собой дальнейшее развитие МАСУ ВД за счет использования более производительных ЭВМ, позволивших увеличить количество одновременно автосопровождаемых трасс ВС и отображаемых формуляров с координатной и полетной информацией, а также отображенных списков вылетающих, прилетающих и пролетающих ВС. В этих системах предусмотрено отображение РЛ информации о ВС, совершающих посадку, включая отклонения от курса и глиссады в десятках метров. В перспективе предполагается реализовать автоматическое управление ВС по отклонениям от линий курса и глиссады, получаемым от посадочной РЛС. В аэродромных АСУ ВД предусмотрен обмен информацией с районным центром УВД и метеослужбами сначала в телеграфно-телефонной форме, а в перспективе с помощью межмашинного обмена. Структурно-функциональная схема аэродромной АСУ ВД приведена на рисунке 3.31.

3.2.2 Система управления воздушным движением «Небосвод»

В настоящее время существующие АСУ воздушным движением используются для управления всеми видами авиации, осуществляющими полеты по воздушным трассам (ВТ) и местным воздушным линиям (МВЛ).

Управление воздушным движением авиации вне ВТ, осуществляемое вне-трассовыми (военными) секторами центров управления, не автоматизировано. При этом вне-трассовые (военные) секторы центров ЕС ОрВД, являясь оперативными органами управления воздушным движением, решают большой объем задач по организации и обеспечению учебно-тренировочных полетов (УТП) и воздушного движения всех видов авиации вне ВТ и МВЛ, а также полетов военной авиации по ВТ, МВЛ и полетов ВС с пересечением государственной границы. Решение вопросов автоматизации процессов планирования и непосредственно управления полетами авиации по маршрутам вне ВТ и МВЛ на всех уровнях управления (главного, зональных и районных центров ЕС ОрВД), а также в органах (пунктах) управления полетами в районах аэродромов военной авиации было осуществлено путем создания специальной АСУ, получившей название «Военная федеральная стационарно-мобильная система организации ВД России «Небосвод» (С-500).

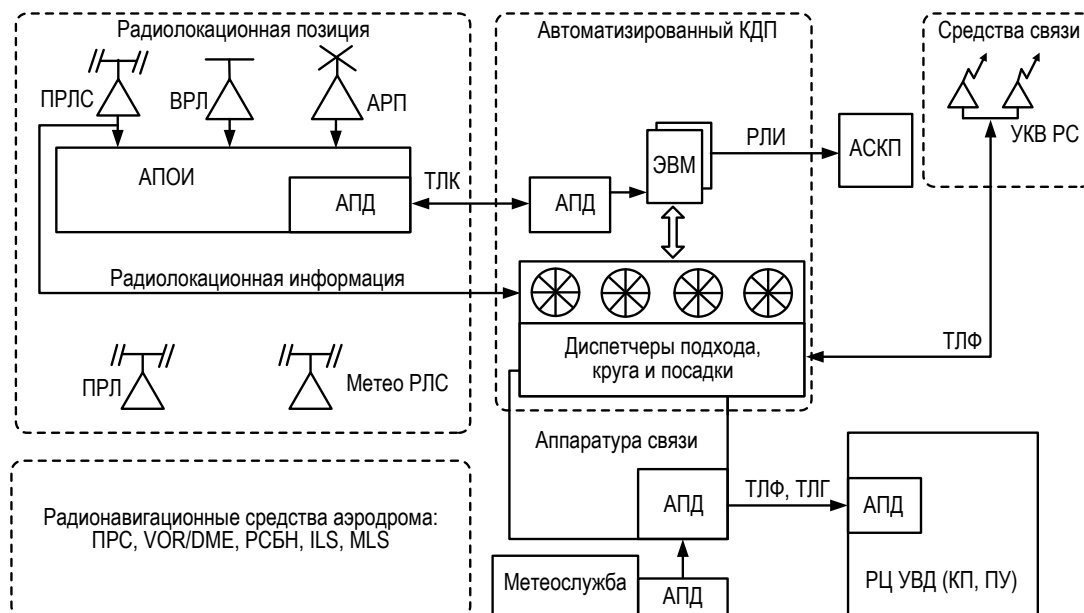


Рисунок 3.31 — Структурно-функциональная схема аэродромной АСУ ВД:

АПД — аппаратура передачи данных; АРП — автоматический радиопеленгатор; ПРЛ — посадочный радиолокатор; ПРС — приводные радиостанции; ILS — инструментальная система посадки (метровый диапазон); MLS — инструментальная система посадки (миллиметровый диапазон)

Стационарно-мобильная система (СМС) «Небосвод» предназначена для автоматизации процессов организации и обеспечения безопасности полетов всех видов авиации вне ВТ и МВЛ, включая задачи планирования, непосредственного управления ВД и контроля за соблюдением порядка ИВП в зонах ответственности вне-трассовых секторов центров ЕС ОрВД. Комплексами этой системы оснащаются вне-трассовые секторы главного центра, зональных

и районных центров ЕС ОрВД, а также командные пункты и пункты управления авиацией всех уровней МО РФ: КП авиационных баз различных категорий (ПУ полетами), КП авиационных объединений, ЦКП ВВС и ПВО, ЦКП ГШ, ЦКП ВГК.

С помощью этих комплексов средств автоматизации (КСА) в настоящее время создаются федеральная сеть и региональные сети оперативного управления полетами и ВД.

Архитектура локальной вычислительной сети (ЛВС) комплекса средств автоматизации «Небосвод» для органов и пунктов управления ВД (рисунок 3.32) на любом из уровней включает 3 типа систем:

— модульная система планирования ВД, состоящая либо из 2-х, либо 4-х, либо 8-ми, либо 16-ти автоматизированных рабочих мест (АРМ): МС ПВД-2, (МС ПВД-4, МС ПВД-8, МС ПВД-16);

— модульная система управления ВД: МС УВД-2 (МС УВД-4, МС УВД-8);

— модульная система регулирования ВД: МС РВД-1 (МС РВД-2, МС РВД-4, МС РВД-8, МС РВД-16).

Поскольку техническое, информационное, математическое и программное обеспечения МС ПВД и УВД позволяют решать одни и те же задачи УВД в различных объемах, то в некоторых органах УВД вместо модулей МС ПВД используются модули МС УВД. Система РВД существует во всех органах управления.

Внетрассовые (военные) секторы центров ЕС ОрВД и пунктов управления военной авиацией объединены между собой и связаны с вышестоящими, взаимодействующими и подчиненными органами УВД, КП и ПУ посредством систем связи АСОТИ и АFTN. В перспективе они будут связаны посредством единой системы связи и навигации, а также обеспечены единой автоматизированной радиолокационной системой.

Модульная система органа управления ВД состоит из следующих функциональных подсистем:

- планирования воздушного движения;
- контроля и управления воздушным движением;
- объективного контроля;
- ведения параметров инфраструктуры региона;
- обеспечения надежности функционирования КСА.

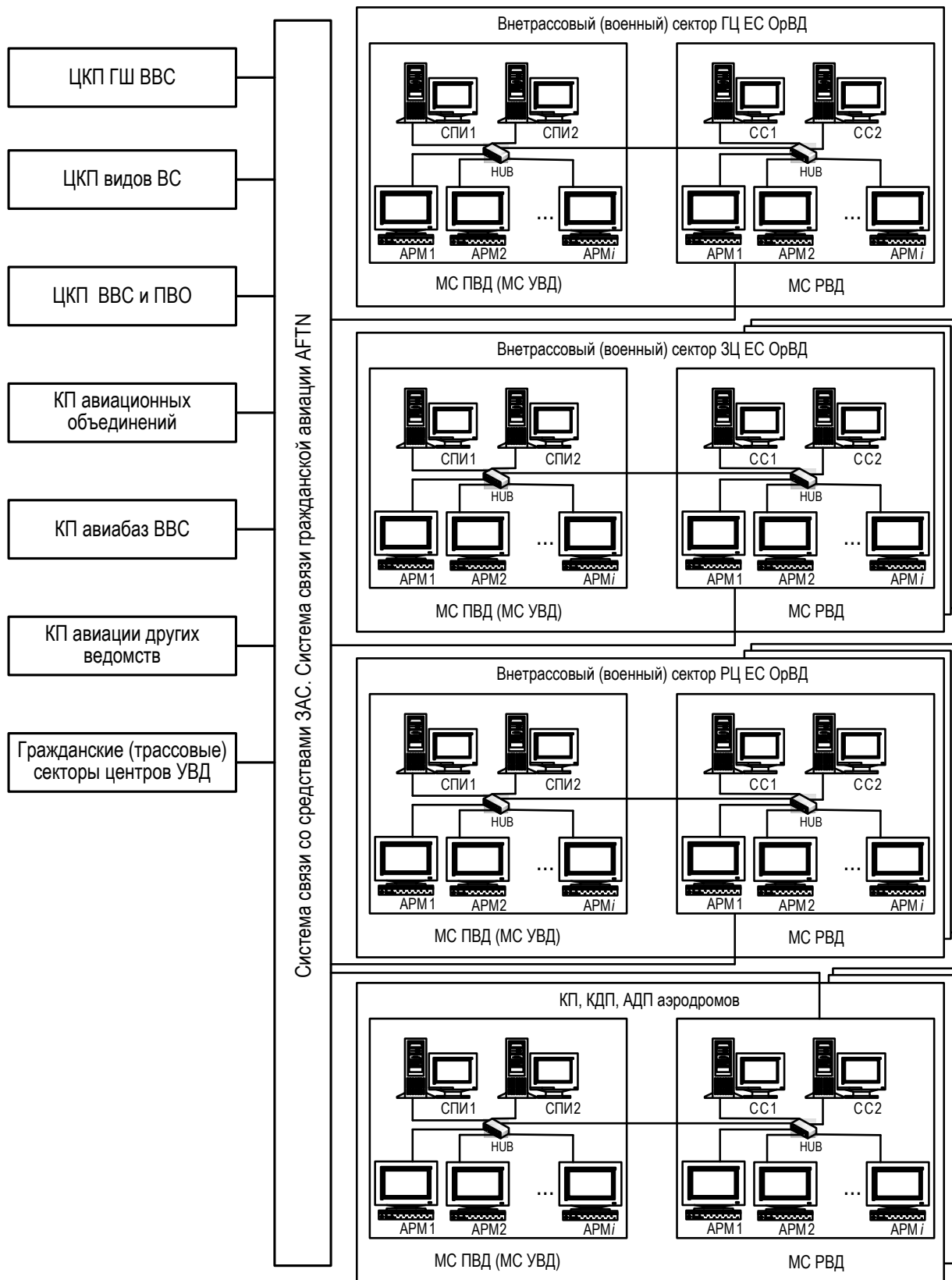


Рисунок 3.32 — Структурно-функциональная схема АСУ «Небосвод» (С-500):

АСОТИ — авиационная система оперативной телеграфной информации; АFTN — международная авиационная фиксированная телеграфная сеть; СПИ — сервер плановой информации; СС — сервер связи

Подсистема планирования ВД обеспечивает:

- сбор заявок на ИВП и сбор формализованных сообщений для УВД;
- форматно-логический контроль заявок и формализованных сообщений по УВД, формирование или корректировка планов полетов;
- формирование условий полета, режимных и кратковременных ограничений полета;
- формирование и ведение суточного и текущего планов ИВП;
- ведение библиотеки долговременных планов и формирование на ее основе суточного плана полетов гражданской авиации;
- преобразование суточного плана полетов в текущий план с добавлением планов государственной и экспериментальной авиации (формирование единого текущего плана полетов ВС);
- автоматический расчет плана полетов ВС: определение параметров траекторий в районе обслуживания (управления);
- формирование графиков почасовой загрузки элементов ВП полетами на основе разработанного суточного плана (СП);
- ведение библиотек стандартных маршрутов и стандартных планов полетов;
- ведение «окна контроля» для обслуживания плана полетов на этапе текущего планирования (ТП) (разрешение на вылет, согласование и доведение информации до заинтересованных абонентов, контроль посадки и т.п.);
- формирование списка работающих аэродромов и полигонов;
- формирование и распечатка СП или ТП ИВП, справок по итогам выполнения текущего плана ИВП;
- обнаружение ПКС при формировании СП и ТП (конфликты между ВС, между ВС и зонами ограничений ИВП) и выдача предупреждений диспетчеру.

Подсистема контроля и управления ВД обеспечивает:

- прием, обработку и регистрацию на магнитном носителе цифровых данных от АПОИ РЛС (отметки ПРЛС, ВРЛ) и служебной информации (сейчас функционируют следующие типы АПОИ: ВУОКСА, ПРИОР, С2, ВИП 118 и др.);
- прием, обработку и регистрацию на магнитном носителе цифровых данных от автоматических радиопеленгаторов АРП-75 и «ПЛАТАН»;
- формирование трассовой информации (образование треков) по дан-

ным первичных и вторичных РЛС;

- формирование плановых треков по данным активных планов полета;
- автоматическое обнаружение отклонений ВС от заданных плановых траекторий в горизонтальной и вертикальной плоскостях;

- автоматическое обнаружение и отображение КС между воздушными судами (опасное сближение), при входе ВС в зоны ограничений ИВП, снижении ВС ниже безопасной высоты полета;

- отображение реальной и псевдореальной (рассчитанного планового местоположения ВС) воздушной обстановки на фоне электронных карт местности в трех проекциях: проекции на горизонтальную и вертикальную плоскости;

- автоматическое формирование плана полетов по участкам маршрутов для электронных стрипов на основе активных планов полетов;

- автоматический прием и передача управления;

- автоматический прием, обработка и отображение фактической и прогнозируемой погоды на аэродроме;

- автоматическое ведение списков планов полетов, списков потерь, списков прилета и вылета;

- автоматическое отображение линий пеленга при переговорах с экипажем ВС;

- отображение треков ВС с формулярами: первичных, вторичных и плановых треков;

- отображение радиолокационных отметок ВС;

- отображение по желанию диспетчера маршрутов полетов, планов полетов, действующих режимных и кратковременных ограничений полетов ВС;

- управление отображением слоев карты и слоев описания инфраструктуры региона;

- сервисные функции: масштабирование, сдвиг, лупа, измерение по карте, вызов информации по карте, поиск объектов и др.

Подсистема объективного контроля обеспечивает:

- регистрацию входной радиолокационной и плановой информации на магнитном носителе;

- воспроизведение радиолокационной и плановой информации, а также действий диспетчеров.

Подсистема ведения параметров инфраструктуры региона обеспечивает ввод следующих параметров: географических точек, населенных пунктов, коридоров, секторов управления, опасных и запретных зон, аэродромов, аэродромных зон и других.

Подсистема обеспечения надежности функционирования КСА позволяет осуществлять:

- применение режима «горячего» резервирования на уровне серверов и оборудования ЛВС;

- использования серверами и рабочими станциями режима «горячего» резервирования;

- резервирование баз данных;

- автоматическую перезагрузку сервера и рабочих станций при обнаружении отказа средств;

- использование источников резервного питания при отказе первичного электропитания;

- контроль работоспособности функциональных задач и автоматическое устранение отказа путем использования «горячего» резервирования;

- контроль работоспособности резервных каналов связи и устранение отказа за счет резерва.

Кроме перечисленных задач, реализованных в функциональных подсистемах, КСА «Небосвод» дополнительно позволяет осуществлять:

- формирование и отображение трассовой информации по данным первичных гражданских и военных РЛС и с использованием средств государственного опознавания;

- обмен радиолокационной информацией с КСА ПУ районов ПВО;

- передачу в КСА пунктов управления районов ПВО планово-диспетчерской информации;

- обработку заявок на УТП и расчет пространственно-временных траекторий;

- осуществлять контроль и управление полетами ВС в отсутствии радиолокационной видимости;

- формирование и передачу в КСА гражданских секторов органов управления всех видов ограничений на ИВП;

- автоматическое копирование планов полетов по данным РЛИ, выявлять конфликты на всем протяжении полета и выдавать предупреждения

диспетчеру;

— автоматическое выявление нарушителей ИВП и выдачу предупреждений диспетчеру об отклонении полета от ПВТ, в том числе с учетом норм эшелонирования;

— процедурное управление ВД на основе плановой ВО и отображаемых электронных стрипов.

Информационное обеспечение АСУ «Небосвод» представляет собой совокупность различного рода данных, необходимых для планирования и непосредственного управления полетами и ВД органами ЕС ОрВД и пунктами управления авиации в зонах их ответственности.

В состав информационного обеспечения входят данные об инфраструктуре зон и районов ЕС ОрВД, а также районов аэродромов и самих аэродромов. Например, географические координаты центров УВД, их названия и условные обозначения; географические координаты пунктов обязательных донесений, рубежей передачи управления, ППМ, ориентиров, радиотехнических средств навигации с указанием их типов и частот работы, летно-тактические характеристики ВС всех видов авиации; состав и тип бортового радиооборудования; позывные командиров ВС и другие данные.

Все данные структурированы и представлены совокупностью баз данных в виде таблиц, содержание которых можно изменять и дополнять.

Математическое обеспечение АСУ «Небосвод» включает в себя совокупность математических методов, моделей и алгоритмов, которые позволяют формализовать физические процессы движения ВС в пространстве, отображать эти процессы для визуального восприятия диспетчерами и регистрации на магнитных и бумажных носителях соответствующей информации, производить математические расчеты на этапах планирования и непосредственно управления П и ВД. При преобразовании координатной информации о ВС используются методы аналитической геометрии, методы вторичной и третичной обработки раидолокационной информации. Расчет бесконфликтных пространственно-временных траекторий в процессе предварительного и текущего планирования ВД производится с применением методов аналитической и сферической геометрии, а также методов геодезии.

Программное обеспечение АСУ «Небосвод» состоит из системы программ, используемых при ее функционировании. Программное обеспечение АСУ реализует ее математическое обеспечение и делится на общее и специальное. Общее ПО представляет собой систему машинных программ, обеспечивающих вычислительные процессы и процессы обмена данными в системе: установка, настройка, активация, диспетчеризация, загрузка, диагностика

и анализ сбоев, функциональный контроль и другие. Специальное ПО предназначено для реализации специального математического обеспечения. К нему относятся:

- программы для приема и первичной обработки радиолокационной информации и пеленговой информации;
- программы для вторичной обработки радиолокационной информации;
- программы для третичной обработки радиолокационной информации (завязки и ведение трасс ВС);
- программы для расчета планов полета;
- программы для обнаружения ПКС и КС;
- программы для отображения воздушной и наземной обстановки;
- программы для отображения треков ВС;
- программы для расчета кратковременных ограничений для всех видов трасс конкретного плана полета и другие.

3.2.3 Бортовые средства и системы автоматизированного управления воздушным судном

Современные воздушные суда гражданской и государственной авиации оснащены пилотажно-навигационными комплексами (ПНК), позволяющими осуществлять управление ими в ручном и автоматизированном режимах. Автоматизированное управление, в свою очередь, подразделяется на полуавтоматическое (директорное) и автоматическое. При ручном управлении пилоты воздушных судов, анализируя показания бортовых приборов (датчиков информации) об их угловом и пространственном положении, путем физических воздействий на органы управления ВС (элероны, руль высоты, руль направления, рукоятка сектора газа) осуществляют траекторное и угловое управление ими. При полуавтоматическом управлении бортовой вычислитель воздушного судна выдает на пилотажно-навигационные приборы сигналы отклонения текущих значений параметров траектории от требуемых и сигналы, указывающие на необходимость изменения текущих значений параметров на требуемые. Экипаж с помощью органов управления изменяет текущее положение ВС на требуемое, устраняя возникшие отклонения между текущими и требуемыми значениями параметров.

При автоматическом режиме управления ВС возникшие отклонения между текущими и требуемыми значениями параметров движения ВС устраняются путем воздействия на рули ВС сигналами, вырабатываемыми систе-

мами автоматического управления (САУ) воздушных судов. Перспективным направлением развития бортовых ПНК и наземных систем УВД является их комплексирование в целях повышения эффективности и качества выполнения многочисленных функций самолетовождения и УВД. В соответствии с заданным планом программой движения ВС и с учетом складывающейся обстановки диспетчер принимает решения о необходимости изменения параметров движения ВС. Если при этом система управления является автоматизированной, то часть функций диспетчера выполняется с помощью комплексов средств автоматизации управления. В случае отклонения от плана полета сверх установленных норм (отклонение от плановой траектории, выход с трассы) в систему траекторного управления ВС поступает корректирующий сигнал по радиосвязи с диспетчером, в систему директорного или автоматического управления. Бортовая САУ, формирующая сигналы управления воздушным судном, не исключает пилота из контура управления, за которым остаются функции контроля и принятия окончательных решений.

Упрощенная схема структуры современного ПНК представлена на рисунке 3.33. Пунктирные линии на рисунке обозначают функции органов УВД и экипажа при директорном и ручном управлении. В этой схеме управление на траектории (управление центром масс ВС) имеет свой контур, в котором маршрутная плановая информация сравнивается с текущей информацией о путевой скорости W и путевом угле ψ_n и вырабатывается сигнал для экипажа или САУ ВС с последующим воздействием на рули: δ_γ , δ_σ , δ_H , $\delta_{руд}$.

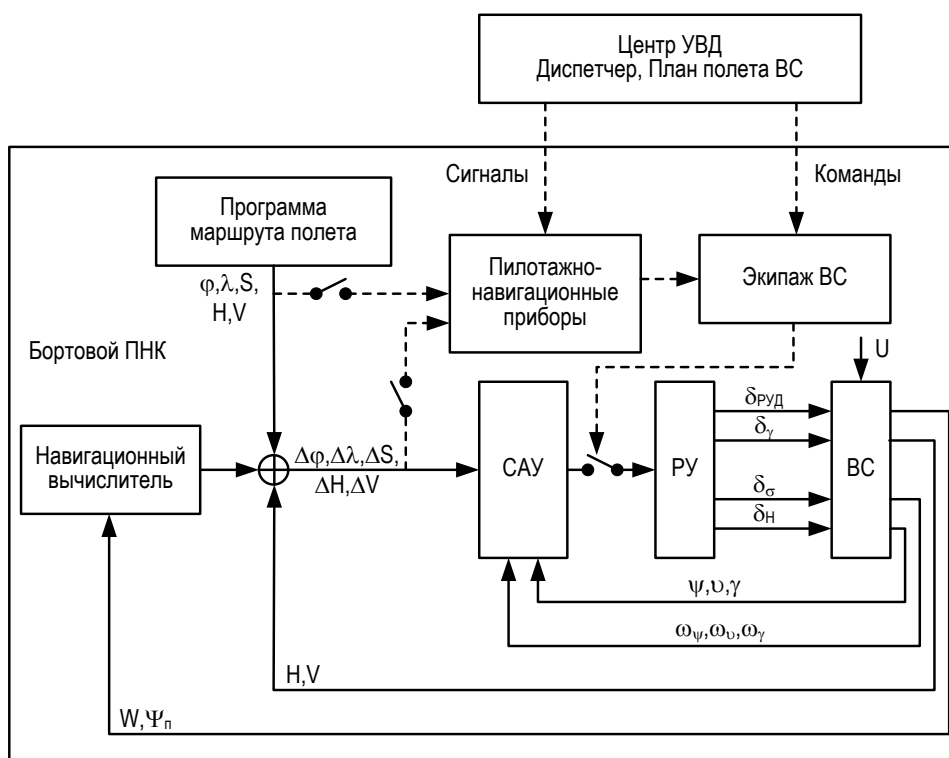


Рисунок 3.33 — Схема структуры ПНК

Контур углового положения ВС с обратными связями по сигналам ψ , υ , γ , ω_y , ω_z , ω_x участвует как в управлении ВС на траектории полета, так и в стабилизации углового положения ВС при возмущениях.

Рассмотрим, как осуществляется автоматический полет ВС по заданному маршруту.

Маршрут полета ВС, как правило, состоит из прямолинейных участков, соединяющих аэродром вылета, ППМ и аэродром посадки. Прямолинейные участки маршрутов называются частными ортодромиями. Маршрут может состоять и из одного участка между начальным и конечным пунктами, называемого главной ортодромией, относительно которой могут быть проложены частные ортодромии.

Подготовка ВС к полету по маршруту включает работу по вводу в память бортовой ЭВМ географических координат (широты — φ и долготы — λ) аэродрома вылета ($\varphi_{ав}$, $\lambda_{ав}$), ППМ (φ_i , λ_i) и аэродрома посадки ($\varphi_{ап}$, $\lambda_{ап}$). Производится выставка в курсовой гироскопической системе стояночного курса ВС, по которому берется ортодромический курс в начале движения по первому участку маршрута и который должен быть равен азимуту истинного или магнитного путевого угла β_1 первого участка маршрута в его начальной точке. При движении по другим участкам маршрута ортодромические курсы полета ВС в начальных точках этих участков должны быть равны азимутам истинных или магнитных путевых углов этих участков (β_i). Азимуты истинных путевых углов в начале каждого участка отсчитываются относительно местных истинных меридианов в начальных точках участков (рисунок 3.34) и рассчитываются одновременно с ортодромической длиной участков (S_i) по следующим формулам сферической геометрии:

$$\beta_i = \arctg [\cos \varphi_i \operatorname{tg} \varphi_{i+1} \operatorname{cosec} (\lambda_{i+1} - \lambda_i) - \sin \lambda_i \operatorname{ctg} (\lambda_{i+1} - \lambda_i)] \quad (3.1)$$

$$S_i^{\text{угл}} = \arccos [\sin \varphi_i \sin \varphi_{i+1} + \cos \varphi_i \cos \varphi_{i+1} \cos (\lambda_{i+1} - \lambda_i)] \quad (3.2)$$

$$S_i = S_i^{\text{угл}} \times 60 \times 1,852, \quad (3.3)$$

где β_i — магнитный путевой угол i -ой ортодромии (i -го участка маршрута); $S_i^{\text{угл}}$ — длина i -ой ортодромии, выраженная в угловых градусах; S_i — длина i -ой ортодромии, выраженная в километрах; 1,852 км — длина морской мили, соответствующая длине дуги центрального угла в одну угловую минуту.

Расчет азимута β_{i+1} очередного ($i+1$)-го участка маршрута выполняется в конечной точке пройденного i -го участка с начальными координатами φ_i , λ_i . Конечная точка предыдущего участка движения всегда совпадает с начальной точкой последующего участка.

Признаком выхода ВС в начальную точку ($i+1$)-го участка маршрута

является нулевое состояние счетчика оставшейся длины пути по i -му участку ($S_i - W_i t_i$), где W_i — путевая скорость, t_i — время движения ВС на i -м участке траектории. Такая процедура называется счислением пройденного пути.

Основной задачей воздушной навигации является определение в любой момент времени t местоположения ВС в географических координатах φ , λ , H_{BC} или в прямоугольных X , Y , Z , где $Z = H_{BC}$. Знание этих координат позволяет корректировать путевые и курсовые углы. Местоположение ВС может быть установлено либо методами независимых определений, либо методами счисления пути.

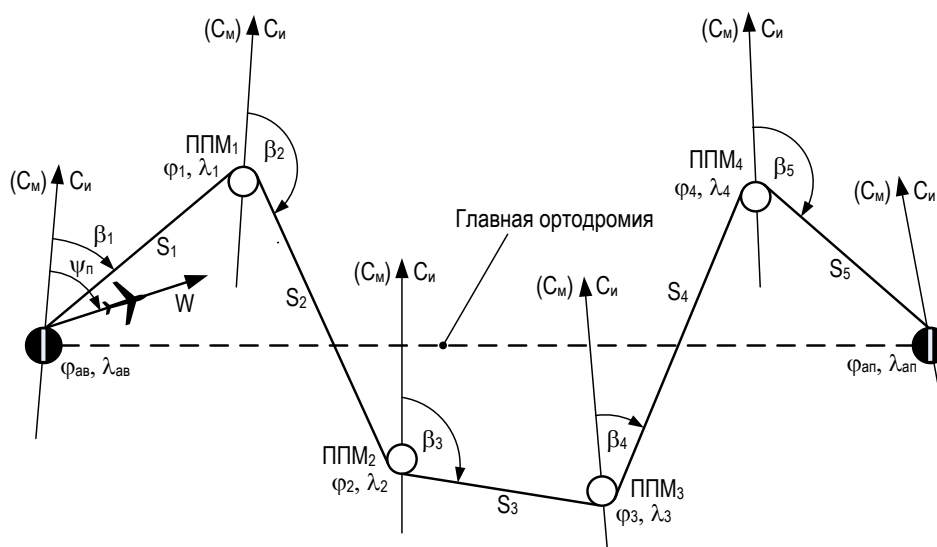


Рисунок 3.34 — Элементы маршрута полета по частным ортодромам

Методы независимых определений места основаны на фиксации в момент t навигационных элементов (опорных объектов), положение которых точно определено в земной системе координат. Такими объектами являются: РСБН, РСДН, VOR/DME, объекты спутниковой системы навигации. Эти методы не требуют знания местоположения ВС в предшествующие моменты времени. Указанные объекты являются основой зональной навигации для полетов по спрямленным воздушным трассам (СВТ).

Методы счисления пути основаны на расчете (счислении) координат места в текущий момент времени по известным данным о местоположении ВС в некоторый предшествующий (начальный) момент времени и о параметрах полета (\bar{W}) от предшествующего до текущего моментов времени.

При автоматизации процессов навигации в основном применяется метод счисления пути. Бортовые системы счисления пути подразделяются на следующие виды: аэрометрические, доплеровские, инерциальные и комплексные (воздушно-доплеровские, радиоинерциальные и др.).

В аэрометрических системах счисления пути вектор путевой скорости

\bar{W} определяется на основе знания вектора воздушной скорости \bar{V} и вектора ветра \bar{U} :

$$\bar{W} = \bar{V} + \bar{U}.$$

Допплеровские системы счисления пути используют информацию доплеровского измерителя путевой скорости, угла сноса и датчика угла курса.

Инерциальные системы счисления пути определяют составляющие скорости движения самолета путем интегрирования ускорений вдоль осей одной из систем координат. Интегрирование скоростей по времени позволяет определить местоположение ВС в земной системе координат. Инерциальные системы счисления пути разделяются на три типа: аналитические, геометрические и полуаналитические. Более просто решается задача определения места ВС в системах геометрического и полуаналитического типов. В инерциальных системах геометрического типа оси чувствительности акселерометров с помощью следящих систем ориентируются в направлении истинного севера и на восток, что позволяет получить значения северной W_N и восточной W_E составляющих путевой скорости ВС, связанных с величиной путевой скорости W и истинного путевого курса воздушного судна $\psi^П$:

$$W_N = W \cos \psi^П, \quad W_E = W \sin \psi^П.$$

Текущие географические координаты ВС в любой момент времени t определяются следующими соотношениями:

$$\varphi(t) = \varphi_0 + \frac{1}{R_3} \int_0^t W_N dt; \quad \lambda(t) = \lambda_0 + \frac{1}{R_3} \int_0^t \frac{W_E}{\cos \varphi(t)} dt,$$

где φ_0, λ_0 — широта и долгота начальной точки движения воздушного судна, $S(t)$ — длина участка ортодромии в километрах, $Z(t)$ — боковое отклонение ВС от ортодромии в километрах.

Географические координаты ВС могут пересчитываться в бортовой ЭВМ в ортодромические $\varphi_{орт}(t), \lambda_{орт}(t), S(t), Z(t)$ по формулам:

$$\varphi_{орт} = \arcsin [\sin \varphi \cos \varphi_v - \cos \varphi \sin \varphi_v \cos (\lambda_{i+1} - \lambda_i)];$$

$$\lambda_{орт} = \arctg \left[\frac{\sin \varphi \operatorname{tg} \varphi + \cos \lambda_v \cos (\lambda - \lambda_v)}{\sin (\lambda - \lambda_v)} \right],$$

где φ_v и λ_v — координаты точки начала ортодромической системы координат;

$$S = \frac{\pi(R_3 + H)}{180^\circ} \lambda_{орт}; \quad Z = \frac{\pi(R_3 + H)}{180^\circ} \varphi_{орт}.$$

Полет по участку маршрута с азимутом β_i (истинным путевым углом частной ортодромии) по причине воздействия возмущений, в том числе горизонтальной составляющей скорости ветра, приводит к тому, что ортодромический курс φ_i не совпадает с β_i , и ВС «сходит» с заданного участка ортодромии. Знание координат точек текущего положения ВС $\varphi(t)$, $\lambda(t)$, координат начальной точки участка маршрута φ_i , λ_i и конечной точки этого участка φ_{i+1} , λ_{i+1} позволяет по формулам (3.2) и (3.3) определять пройденное $S_i^{\Pi}(t)$ и оставшееся расстояние до конца i -го участка маршрута $S_i^{oc}(t) = S_i - S_i^{\Pi}(t)$, а также вычислять новое заданное значение азимута $\beta(t)$ на конечную точку i -го участка маршрута. Результат расчета выдается на плановый навигационный прибор экипажу или в САУ, которые, воздействуя на рули, разворачивают ВС на новый курс $\psi^{\Pi}(t)$ и приводят ВС в $(i+1)$ -ю точку (рисунок 3.35). Такой способ вывода ВС в заданную точку называется *курсовым* или *путевым*.

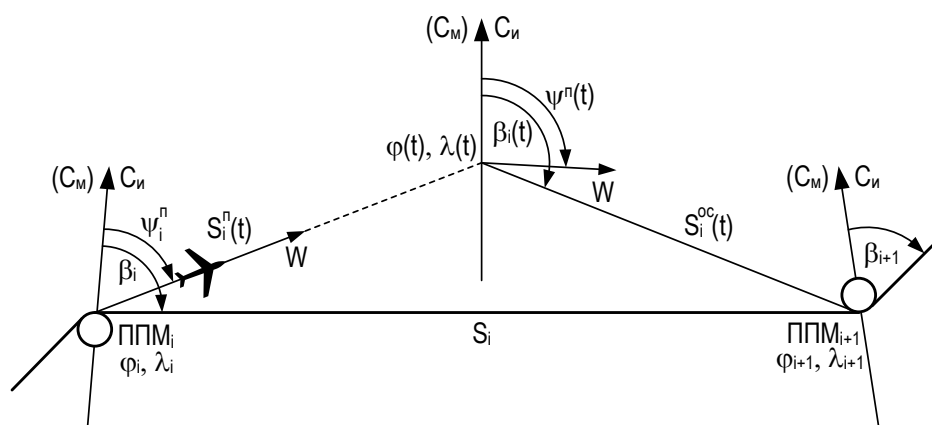


Рисунок 3.35 — Курсовой способ вывода ВС в заданную точку

В инерциальных системах счисления пути оси акселерометров могут ориентироваться вдоль ортодромического участка маршрута (ось Y) и перпендикулярно ему (ось Z), то есть счисление пути производится вычислением пройденного расстояния по ортодромии $S_i^{\Pi}(t)$ и отклонения ВС от ортодромии $Z_i(t)$. Вычисление прямоугольных ортодромических координат S и Z производится по следующим выражениям (рисунок 3.36):

$$S_i(t) = S_{i-1} + \int_0^t W \cos(\psi_i - \beta_i) dt; \quad Z_i(t) = Z_0 + \int_0^t W \sin(\psi_i - \beta_i) dt;$$

$$S_{oc\Gamma i}(t) = S_i - \int_0^t W_S dt; \quad Z(t) = - \int_0^t W_Z dt.$$

Сигналом экипажу или САУ для воздействия на рули ВС является наличие отклонения $Z_i(t)$ от заданной линии пути, Задача экипажа или САУ

сводится к устранению этого отклонения ($Z_i = 0$). Такой способ вывода ВС на заданную линию пути называется *маршрутным*. Маршрутный способ позволяет получить максимальную точность выдерживания траектории полета, но является наиболее сложным в технической реализации.

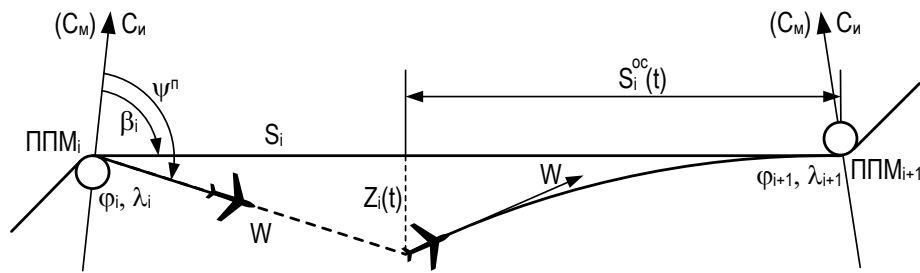


Рисунок 3.36 — Маршрутный способ вывода ВС в заданную точку

При *курсовом* способе вывода ВС в заданную точку закон управления элеронами, реализуемый САУ, имеет вид:

$$\delta_3 = -K_3^\psi(\psi^n - \beta) + K_3^\gamma \gamma + K_3^{\omega_x} \omega_x,$$

где $K_3^\psi = \frac{d\delta_3}{d\psi}$; $K_3^\gamma = \frac{d\delta_3}{d\gamma}$; $K_3^{\omega_x} = \frac{d\delta_3}{d\omega_x}$ — передаточные коэффициенты между отклонениями от заданного курса, крена и угловой скорости ВС вокруг продольной оси и величиной отклонения элеронов. Сигналы $K_3^\gamma \gamma$ и $K_3^{\omega_x} \omega_x$ являются противоположными по знаку первому слагаемому. Их действие проявляется в том, что при уменьшении первого слагаемого два других слагаемых становятся больше первого и элероны отклоняются в противоположную сторону. Таким образом, происходит устранение крена γ и ВС плавно выходит на новый курс, равный заданному (рисунок 3.37).

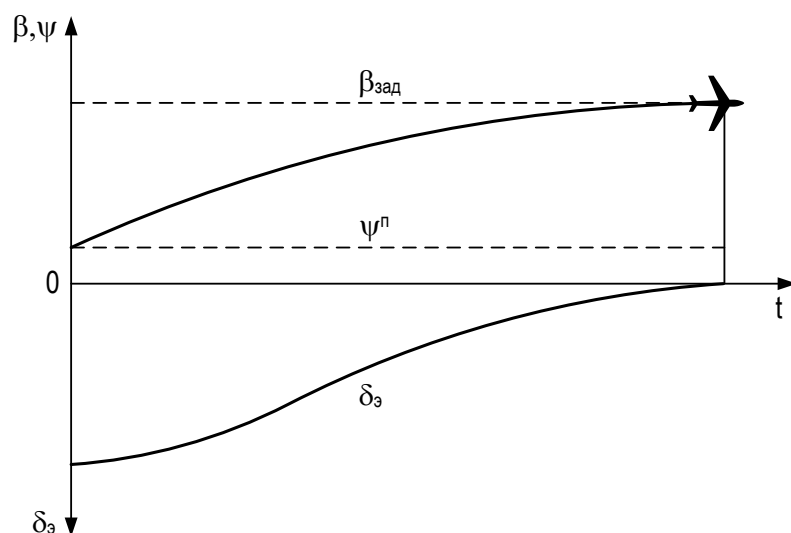


Рисунок 3.37 — Закон управления элеронами при курсовом способе вывода ВС в точку

Закон управления элеронами при маршрутном способе вывода ВС в за-

данную точку имеет вид:

$$\delta_z = -K_3^\Psi (\gamma - \gamma_{\text{зад}}) - K_3^{\omega_x} \omega_x; \quad (3.4)$$

$$\gamma_{\text{зад}} = -K_\gamma^Z Z + K_\gamma^\Psi (\beta_i - \psi_i^n). \quad (3.5)$$

Первое слагаемое во втором выражении является основным сигналом для отклонения элеронов, а второе слагаемое переключает элероны в противоположную сторону при уменьшении первого слагаемого и увеличении второго и тем самым обеспечивается плавное вхождение ВС на заданную траекторию (рисунок 3.38).

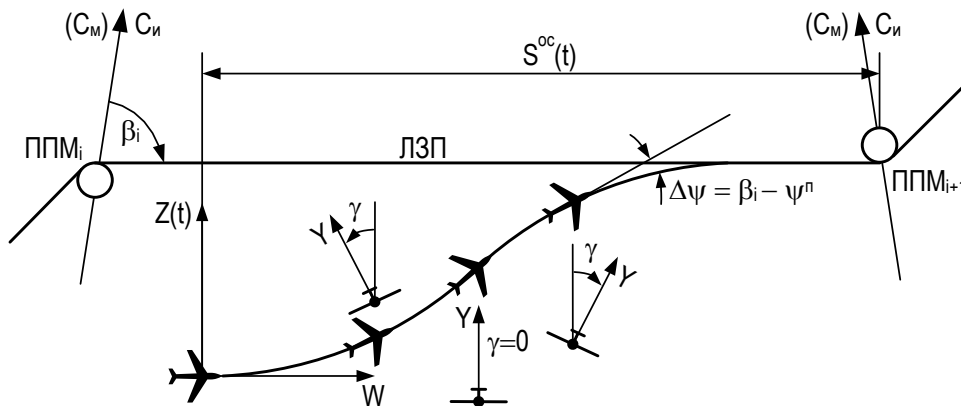


Рисунок 3.38 — Траектория выхода ВС на линию заданного пути при маршрутном способе управления

Направление ортодромического участка маршрута может задаваться не истинным заданным путевым углом $\beta_i^И$, а магнитным заданным путевым углом $\beta_i^М$.

Автоматизированное управление ВС в соответствии с программой полета может производиться с наземных центров и ПУ путем передачи диспетчером сигналов (команд) в бортовую САУ для устранения отклонений радиолокационного «трека» ВС от планового или для назначения новых точек на участках маршрута. При этом выход ВС на заданную траекторию или в заданную точку маршрута проводится по представленным выше законам управления, реализованными в САУ. Управление полетами беспилотных ЛА на маршруте производится как автономно по программе, так и с помощью команд с наземных ПУ.

Контрольные вопросы

1. Поясните сущность автоматизации элементов аэродромной системы управления.
2. Назовите предназначение и задачи АСУ «Небосвод» (с-500).
3. Поясните структуру базы данных (совокупность таблиц) для реше-

ния задач планирования ВД , наличие потенциальных конфликтных ситуаций и их устранения.

4. Покажите необходимость реализации в АСУ статистической модели движения ВС в зонах ответственности органов УВД.

5. Поясните сущность автоматизации процессов суточного и текущего планирования в органах УВД с целью определения ПКС и их устранения на этапе планирования.

6. Покажите место кинематической модели движения ВС в математическом и программном обеспечении АСУ П и ВД.

7. Покажите место динамической модели движения ВС в математическом и программном обеспечении АСУ П и ВД.

8. Поясните связь наземной АСУ П и ВД с бортовой системой управления.

9. Покажите необходимость оптимизации процессов управления полетами и воздушным движением в аэродромном и во внеаэродромном ВП.

ГЛАВА 4 СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТАМИ И ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

4.1 АСУ полетами и воздушным движением в аэродромном воздушном пространстве

Внастоящее время на аэродромах гражданской и государственной авиации РФ созданы и функционируют отечественные и зарубежные АСУ П и ВД. Зарубежные АСУ ВД представляет система «Теркас», а отечественными АСУ П и ВД являются неавтоматизированные системы «Знак», «Символ-Д», «Строка» и «Страница», а также автоматизированные системы «Старт» и «АКУП-80». Многофункциональные АСУ ВД типа «Буран» и «Спектр» позволяют решать задачи управления в аэродромном и аэроузловом ВП.

Аэродромные АСУ П и ВД предназначены для обеспечения безопасности полетов воздушных судов во всех элементах аэродромного ВП путем непрерывного контроля и управления ими с КДП и КП.

Архитектуру аэродромных АСУ П и ВД образуют следующие функционально-технические подсистемы:

- подсистемы обеспечения группы руководства полетами (диспетчеров) радиолокационной и пеленговой информацией;
- подсистемы обеспечения экипажей ВС аэронавигационной информацией;
- подсистемы обеспечения посадки ВС в различных метеоусловиях, днем и ночью;
- подсистемы автоматизированного диспетчерского центра (АДЦ) на земле и автоматизированного КДП на «вышке»;
- подсистемы воздушной и наземной связи с ВС на земле и в воздухе, с органами УВД (центрами ЕС ОрВД) и со службами аэродрома;
- подсистемы метео и светотехнического обеспечения;
- подсистемы энергоснабжения.

Основными комплексами функциональных задач этих систем являются:

- автоматизированный сбор, обработка и отображение на совмещен-

ных плановых индикаторах диспетчеров координатной, полетной и картографической информации о воздушной обстановке в районе аэродрома;

— автоматическое сопровождение воздушных судов в секторах подхода, в зоне круга и посадки;

— расчет и выдача на экран (табло) линейных отклонений ВС от траектории посадки;

— автоматизированная обработка плановой информации и выдача на ТЗИ АРМ списков прилетающих и вылетающих ВС.

Некоторые характеристики аэродромных АС приведены в таблице 4.1.

Т а б л и ц а 4.1

Тип АС УВД	Эксплуатант	Место развертывания	Число отображаемых ВС на посадке	Число авто- сопровождаемых ВС в зоне	Число авто- сопровождаемых ВС на посадке	Архитектура КСА
«Теркас»	ГА	Аэродромы Московской зоны	—	40	—	Спец ЭВМ, АРМ
«Старт»	ГА	Аэродромы РФ	36	36	2	Спец ЭВМ, АРМ
Малые АСУ	ГА	Аэродромы РФ	—	36	—	Спец ЭВМ, АРМ
АКУП-80	ВВС	Опытные аэродромы	—	—	—	—
«Буран»	ГА	Самара и другие аэродромы	—	—	—	—
«Спектр»	ГА	Пулковский аэро- дромный узел	—	50	—	ЛВС

Средствами наблюдения за воздушной обстановкой в аэродромном ВП являются:

— обзорные (первичные) РЛС «Скала-МПА» с дальностью обнаружения 150...200 км;

— вторичные РЛС «Корень» с дальностью обнаружения 400...450 км;

— радиолокационные комплексы «Иртыш», включающие первичные и вторичные радиолокаторы;

— автоматические радиопеленгаторы АРП-9 и АРП-11.

Координатная, полетная и пеленговая информация о ВС обрабатывается в АПОИ и передается в виде кодограмм в КСА диспетчерских центров по узкополосным телефонным каналам связи. Для обеспечения надежности контроля воздушной обстановки на АРМ диспетчеров подается и первичная радиолокационная информация по широкополосным кабельным каналам связи.

Радиолокационные системы посадки оснащены РЛС типа РП-3Г, РП-4Г чешского производства, позволяющими с высокой точностью определять по курсовому и глиссаднему индикаторам отклонения ВС от траекторий посадки и передавать по радиотелефону экипажу величины отклонений. В перспективе величины отклонений планируется передавать в виде управляющих сигналов непосредственно в САУ воздушных судов.

Посадочные РЛС работают в сантиметровом диапазоне ($\lambda = 3$ см) и имеют дальность обнаружения 20...30 км.

Кроме посадочных РЛС в нашей стране эксплуатируются РЛС типа ПРЛС-7, ПРЛС-8, работающие активном и пассивном режимах. На военных аэродромах РФ в качестве радиолокационных средств наблюдения и посадки используются радиолокационные системы посадки (РСП) типа РСП-6, РСП-7 и РСП-10, объединяющие в себе диспетчерский радиолокатор, курсовой и глиссадный радиолокаторы. Дальность действия диспетчерского радиолокатора составляет 60...100 км.

Кроме радиолокационной системы посадки аэродромы гражданской авиации оснащаются инструментальными системами посадки типа ILS ($\lambda = 3...5$ м), создающие с помощью курсового и глиссадного радиомаяков траекторию посадки, которую должны выдерживать экипажи ВС. На аэродромах ВВС аналогичной инструментальной системой является посадочная радиомаячная группа ПРМГ-5.

Средствами связи диспетчеров с экипажами ВС является УКВ радиостанции метрового и дециметрового диапазонов волн, с помощью которых осуществляется радиотелефонный обмен. Связь диспетчерских пунктов и центров аэродромов с РЦ ЕС ОрВД осуществляется по телеграфным и телефонным каналам связи, реализованным с помощью проводных и радио линий связи. Для управления службами аэродрома используется громкоговорящая связь. Дальность воздушной радиосвязи в УКВ диапазоне определяется дальностью прямой радиовидимости, а энергетика аэродромных УКВ радиостанций обеспечивает дальность связи с бортовыми радиостанциями ВС до 400...450 км.

Комплексы средств автоматизации аэродромных АС включают в свой состав специальные вычислительные устройства (специальные ЭВМ), серийные ЭВМ различной производительности, а также объединенные в ЛВС серверы и рабочие станции на базе ПЭВМ, выполняющие функции АРМ должностных лиц группы руководства полетами.

АРМ диспетчеров подхода и диспетчеров круга аэродрома размещаются на нижнем этаже центра управления аэродрома, а АРМ диспетчеров по-

садки, старта, руления и метеослужбы размещаются на «вышке».

Информационное обеспечение КСА аэродромных АС включает постоянную и временную (текущую) информацию.

В состав постоянной информации входят:

— элементы картографической информации для отображения на экранах диспетчеров точек расположения взаимодействующих элементов и их географических координат (ВПП, ДПРМ, БПРМ, АРП, РЛС и др.);

— летно-тактические характеристики ВС, необходимые для автоматизированного управления ими на траекториях полетов;

— схемы захода на посадку и стандартных маршрутов движения ВС в районе аэродрома.

В состав временной информации входят:

— данные о планах полетов, вылетающих и прилетающих ВС (списки вылета и прилета);

— данные о метеообстановке в районе аэродрома;

— информация о состоянии ВПП.

Математическое обеспечение КСА центров управления аэродромов реализует следующие математические методы:

— методы первичной обработки радиолокационной, полетной и пеленговой информации о ВС, находящихся в зоне наблюдения соответствующих средств радиолокации, радионавигации и радиосвязи;

— методы вторичной обработки координатной информации о ВС с целью их автосопровождения;

— методы управления движением ВС по стандартным траекториям в районе аэродрома и на посадке с целью выработки и передачи на борт ВС управляющих команд и расчета прогнозируемого времени посадки;

— методы определения очередности посадки ВС на основе расчета времени их прибытия в район аэродрома, безопасных временных интервалов посадки и приоритетов на посадку.

Следует отметить, что в АСУ аэродромного предназначения третичная обработка информации о воздушной обстановке (обобщение информации от нескольких РЛС) не производится, так как источником такой информации является одна радиолокационная позиция, удаленная от центра управления на 3...5 км.

Программное обеспечение КСА центров управления аэродромов реали-

зовано в виде программных модулей, обеспечивающих решение всего комплекса функциональных задач: прием и обработка радиолокационной информации, автосопровождение ВС, отображение данных о воздушной и наземной обстановке, расчет пространственно-временных траекторий движения ВС и другие.

4.2 АСУ воздушным движением во внеаэродромном воздушном пространстве

В настоящее время в различных регионах РФ функционирует ряд разнотипных районных (трассовых) АС УВД. Среди них есть как зарубежные АС типа «Теркас», так и отечественные АС типа «Стрела», «Альфа», «Строка-Ц» и другие. Эти системы обеспечивают решение основных задач управления воздушным движением:

— автоматизированный сбор от пользователей воздушного пространства заявок на его использование;

— автоматизированное составление сводного суточного плана ИВП и рассылка его взаимодействующим и обеспечивающим органам УВД;

— автоматизированную корректировку планов ИВП в процессе текущего планирования и оповещение о корректировке взаимодействующих и обеспечивающих служб УВД;

— автоматизацию процессов сбора, обработки и отображения данных о воздушной и наземной обстановке и плановой информации с помощью КСА и АРМ должностных лиц пунктов и центров управления;

— контроль выполнения планов ИВП и управление ВС при полетах по ВТ, МП, МВЛ;

— доведение режимов ИВП до органов УВД и пользователей ВП.

Структурно-функциональные схемы районных АС УВД были приведены в главе 2. Существующие КСА зональных центров ЕС ОрВД с правом непосредственного управления состоят из следующих подсистем:

— подсистемы радиолокационных постов (позиций), развернутых на площади района УВД, и удаленных от центра управления на сотни километров;

— подсистемы центра УВД, оснащенного комплексами обработки координатной и полетной информации о ВС, находящихся в радиолокационном поле района УВД, и комплексами обработки и рассылки заявочной информации по ИВП органам УВД, обеспечивающими отображение воздушной и наземной обстановки на экранах АРМ диспетчеров;

— подсистемы комплекса средств воздушной и наземной связи для обмена телефонными и телеграфными сообщениями, а также другой информацией с экипажами ВС и органами УВД;

— подсистемы электроснабжения центра управления воздушным движением и радиолокационных постов.

Основные ГТХ ряда существующих районных АС УВД и места их развертывания приведены в таблице 4.2. Аэроузловые АС УВД функционируют на базе районных АС УВД в полном или сокращенном составе.

Т а б л и ц а 4.2

Тип районной АС УВД	«Теркас»	«Стрела»	«Альфа»	КАРМ	«Строка-Ц»
Место развертывания	Москва (Внуково)	Ростов-на-Дону	Санкт-Петербург	Вологда, Иркутск	Волгоград
Сопряжение с РЛС, АРП, РСБН, ВРЛ	С любыми РЛС и ТРЛК	С любыми РЛС и ТРЛК	1-РЛ-139, ТРЛК-11, АРП, РСБН	1-РЛ-139, ТРЛК-11, АРП, РСБН	1-РЛ-139, ТРЛК-11, АРП, РСБН
Представление информации о ВО	Аналогово-цифровое	Аналогово-цифровое	Аналогово-цифровое	Аналогово-цифровое	Аналогово-цифровое
Вторичная обработка радиолокационной информации	По всем ВС по ПРЛ и ВРЛ	По всем ВС по ПРЛ и ВРЛ	По всем ВС по ПРЛ и ВРЛ	По всем ВС по ПРЛ и ВРЛ	По всем ВС по ПРЛ и ВРЛ
Третичная обработка радиолокационной информации	До 8 радиолокационных позиций	До 5 радиолокационных позиций	До 10 РЛС и АРП	До 10 РЛС и АРП	«Мозаика», до 5 РЛС
Количество сопровождаемых ВС	До 300	До 200	До 600	До 300	До 72 на РМ
Сопряжение с AFTN, обработка плановой информации	СП-3000, ТП-600	СП-3000, ТП-600	AFTN, отображение плановой информации	AFTN, отображение плановой информации	AFTN, отображение плановой информации
Планирование для сектора УВД вне ВТ	+	+	+	2-я фаза текущего планирования	—
Наличие сопряжения с действующими системами связи	+	+	—	+	+
Сопряжение с другими АС УВД	На уровне AFTN	—	+	—	На уровне AFTN
Сопряжение с АСУ МО РФ	+	—	+	С помощью выносного РМ	—
Наличие ЛВС	—	—	+	+	+
Эксплуатант	ГС, ВС	ГС, ВС	ГС, ВС	ГС	ГС

Примечание: ГС — гражданский сектор; ВС — военный сектор

Техническими средствами наблюдения за воздушной обстановкой в системах управления ВД различного уровня автоматизации являются круговые

(обзорные) радиолокационные станции, вторичные радиолокаторы (ВРЛ) и автоматические радиопеленгаторы. Радиолокационные станции по виду получаемой информации о воздушном судне в виде эхо-сигнала, несущего информацию о наклонной дальности до него и его азимуте, получили название первичных РЛС (ПРЛС).

В районных АС УВД в качестве обзорных трассовых РЛС (ОРЛС-Т) используются ПРЛС различных типов: подвижные П-35М, П-37 (1-РЛ-139), стационарные РЛС типа «Утес» и «Скала». Дальности обнаружения ВС находятся в пределах 250...400 км. Поскольку РЛС работают в дециметровом диапазоне радиоволн, то минимальная дальность обнаружения ВС D_{\min} в зависимости от высоты его полета H определяется дальностью прямой радиовидимости:

$$D_{\min}[\text{км}] \approx 130 \sqrt{H [\text{км}]},$$

а максимальная дальность определяется энергетикой станции, которая зависит от излучаемой мощности передатчика и чувствительности приемника РЛС. На смену названным ПРЛС приходят новые станции ПРЛС типа «Скала-М» и подвижные ПРЛС типа «Скала-МПР» с улучшенными техническими характеристиками и дальностью обнаружения не менее 450 км.

Дальность обнаружения ВС этими ВРЛ составляет 400...450 км и более, так как они работают в режиме активного ответа. Вторичные радиолокаторы выдают в цифровой форме третью координату (барометрическую высоту ВС) и другую полетную информацию, необходимую авиационным диспетчерам для контроля и управления ВС.

Антенны ПРЛС и ВРЛ вращаются синхронно и запускаются на зондирование (запрос) одним импульсом. В качестве ВРЛ используются станции «Корень» и «Лист». ПРЛС и ВРЛ на радиолокационных позициях объединяются в радиолокационные комплексы (РЛК). В малоавтоматизированных районных системах УВД в РЛК входят ПРЛС П-37, «Утес» и ВРЛ типа «Корень».

В АС УВД с высоким уровнем автоматизации существуют два типа трассовых РЛК (ТРЛК): ТРЛК-10, включающий ПРЛС «Скала-М», ВРЛ «Корень» и АРП-9, и ТРЛК-11, включающий ПРЛС «Скала-МПР», ВРЛ «Лист», АРП-11.

Некоторые характеристики ТРЛК и ВРЛ приведены в таблице 4.3.

При работе в составе ТРЛК характеристики ВРЛ улучшаются благодаря реализации дискретно-адресного запроса о выдаче с ВС полетной информации только с конкретного ВС. Автоматические радиопеленгаторы определяют магнитный пеленг на ВС в момент радиотелефонной связи с экипажем.

Информация от ПРЛС, ВРЛ и АРП обрабатывается аппаратурой обработки и передачи информации (АПОИ) РЛК и выдается в виде кодограммы, содержащей координатную и полетную информацию о ВС, в центр управления районной АС УВД.

Т а б л и ц а 4.3

Тип	ТРЛК-10	ВРЛ «Корень»	ВРЛ «Лист»
Максимальное число обслуживаемых ВС	30	30	50
Темп обновления информации, с	10	5	5

В настоящее время полем ПРЛС перекрыто около 90...94% воздушного пространства на воздушных трассах. Станциями ВРЛ оснащены 13 районных центров из 80. Всего лишь 28% протяженности воздушных трасс обслуживается РЛК с ВРЛ, что составляет только 8% территории РФ [...]. Имеются значительные участки (до 800 км) в районе Сибири и Дальнего Востока, не охваченные радиолокационным контролем по причине их труднодоступности и суровых климатических условий.

Средствами воздушной связи в районных АС УВД являются радиостанции УКВ и КВ диапазонов. С помощью УКВ радиостанций метрового и дециметрового диапазонов организуется радиосвязь с экипажами ВС в воздухе. В районных АС УВД используются УКВ радиостанции Р-845, Р-844 и Р-831. Минимальная дальность связи определяется дальностью прямой радиовидимости, а максимальная дальность связи определяется излучаемой мощностью передатчика и чувствительностью приемника станции. На высоте полета ВС около 10 км дальность связи составляет 400...450 км. Поскольку протяженность района УВД может быть до 1000 км и более, то для связи диспетчеров центра управления с экипажами ВС в воздухе УКВ радиостанции размещаются на радиолокационных позициях, которые удалены от центра управления на сотни километров. Управление радиостанциями осуществляется по кабельным или радиолиниям связи. Радиостанции КВ диапазона используются для дальней связи с ВС, при этом связь производится по радиотелефону или слуховым телеграфированием. Дальность связи составляет до 10...12 тыс. км. Радиостанции КВ диапазона используются для связи с ВС при полете на маловысотных эшелонах (вне УКВ поля). Радиостанции КВ диапазона используются также для наземной связи с органами УВД как резервные. Для связи используются КВ радиостанции Р-137 и Р-140, а также радиоприемники типа П-870 и Р-871.

В качестве проводных средств связи в районных АС УВД используются стационарные кабельные линии связи, с помощью которых организованы те-

леграфные и телефонные каналы связи.

Районные АСУ УВД высокого уровня автоматизации отличаются от неавтоматизированных и малоавтоматизированных систем управления ВД тем, что в их составе имеются средства автоматизированной обработки координатной и полетной информации о большом количестве ВС, средства автоматизированного отображения динамической и статической информации на рабочих местах диспетчеров центров УВД, а также средства автоматизированного приема, обработки и отображения плановой информации. По составу функционирующих в настоящее время районных АС УВД можно отслеживать эволюцию развития элементной базы КСА и архитектуры ЭВМ и вычислительных комплексов. В малоавтоматизированных системах УВД «Знак», «Строка» и «Страница» в качестве устройства обработки данных о воздушной обстановке используются специализированные вычислительные устройства с ограниченной вычислительной производительностью. В АС УВД «Теркас» в состав КСА центра управления входят четыре вычислительных комплекса, из которых два обрабатывают координатную, полетную и другую информацию в зоне УВД и выдают ее на различные средства отображения диспетчеров, другие два комплекса принимают и обрабатывают плановую информацию, результаты расчетов выдают на средства отображения и регистрации АРМ диспетчеров. В каждом из двух вычислительных комплексов один находится (работает) в горячем резерве. В состав КСА этой АС УВД входят более 30 специализированных пультов (АРМ) диспетчеров. В вычислительные комплексы входят специализированные ЭВМ на элементной базе 80-х годов прошлого века. В АС УВД «Стрела» в КСА входит 4 универсальных ЭВМ типа ЕС-1060, из которых две ЭВМ обрабатывают информацию о воздушной и наземной обстановке, а две другие — плановую информацию. Из двух ЭВМ в каждой группе одна находится в горячем резерве, то есть дублирует работу основной ЭВМ. В состав КСА центра управления входит значительная группа специализированных АРМ диспетчеров.

Комплексы средств автоматизации районной АС УВД нового поколения типа «Альфа» и «КАРМ» имеют современную элементную базу и принципиально новую архитектуру: ЭВМ и АРМ составляют локальную вычислительную сеть с серверами и рабочими станциями на базе ПЭВМ. Технические характеристики КСА нового поколения районной АС УВД в целом выше, чем у КСА со специализированными ЭВМ и АРМ.

Аэроузловые АСУ ВД «Теркас», «Спектр» и «Буран» предыдущих поколений имеют КСА аналогичные комплексам районной АС УВД по задачам и архитектуре. Новое поколение КСА аэроузловых АСУ в основе своей архитектуры имеют структуру ЛВС.

Информационное обеспечение районных АС УВД реализовано в виде баз данных, которые имеют сложную структуру и включают в себя:

— параметры инфраструктуры района УВД (секторы УВД, их номера, названия и географические координаты ПОД, аэродромы, стандартные маршруты полетов, ВТ с координатами характерных точек и другие данные);

— ТТХ ВС (тип, крейсерская скорость, время набора высоты и другие характеристики);

— коды ответчиков;

— картографические данные;

— стандартные планы полетов;

— кратковременные планы полетов;

— метеоинформация;

— состояние ВПП и другие данные.

Математическое обеспечение районных АС УВД включает в себя математические модели, методы и алгоритмы, предназначенные для решения всех функциональных задач обработки и представления данных в необходимой для диспетчеров форме. В районных АС УВД реализованы методы вторичной обработки координатной информации о ВС с целью их автозахвата и автосопровождения (завязки траекторий). В районных АС реализованы методы третичной обработки информации о воздушной обстановке, позволяющие объединить информацию об одном и том же воздушном судне, но полученную от нескольких разнесенных радиолокационных постов (РЛП), а также представить итоговую информацию о воздушной обстановке на экранах АРМ должностных лиц. К третичной обработке информации о воздушной обстановке в КСА РЦ УВД можно отнести и пересчет координат из местных прямоугольных систем координат РЛП, удаленных от центра УВД на десятки и сотни километров, в прямоугольную систему координат, привязанную к местоположению центра УВД, с целью отображения обобщенной воздушной обстановки в районе УВД на экранах коллективного и индивидуального пользования.

Рассмотрим каким образом производится такой пересчет. Точки стояния РЛП задаются географическими координатами $\varphi_{РЛП}$, $\lambda_{РЛП}$. Оси антенн РЛС ориентированы вдоль истинного меридиана в точках стояния РЛП на север для отсчета азимутов на ВС $\beta_{ВС}$ — первой координаты ВС. Второй координатой является наклонная дальность до ВС $D_{ВС}$. Центр УВД находится в точке с координатами $\varphi_{ЦУ}$, $\lambda_{ЦУ}$. Отображение воздушной обстановки и элементов наземной обстановки в центре УВД производится в прямоугольной

системе координат, начало которой совмещается с точкой местоположения центра УВД. Ось Y находится в плоскости меридиана, проходящего через точку местоположения центра управления, направлена на север и касается точки стояния центра УВД. Ось X перпендикулярна оси Y , направлена на восток, касается параллели в точке местоположения центра УВД. Таким образом плоскость системы координат центра УВД нормальна к радиусу-вектору, направленному из центра Земли в точку местоположения центра УВД. Аналогичные прямоугольные системы координат приняты на РЛП: плоскости систем координат перпендикулярны радиусам-векторам, направленным из центра Земли в точки стояния РЛП. Задача стоит в пересчете координат ВС из системы координат РЛП в систему координат центра УВД (рисунок 4.1).

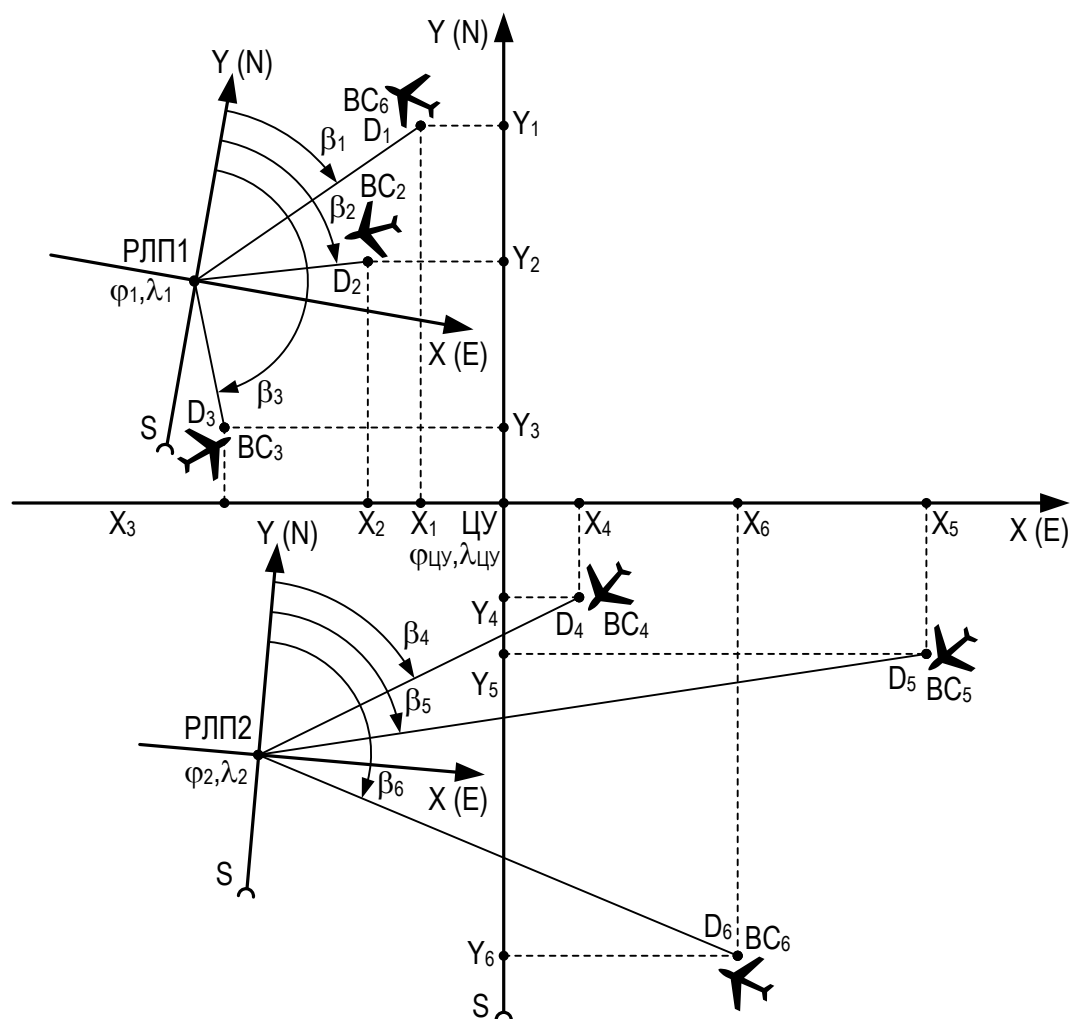


Рисунок 4.1 — Пересчет координат ВС из системы координат РЛП в систему координат центра УВД

Ось Y РЛП по отношению к оси Y центра УВД развернута на угол, равный углов сближения меридианов в точке стояния РЛП:

$$\sigma_{\text{РЛП}} = (\lambda_{\text{ЦУ}} - \lambda_{\text{РЛП}}) \sin \varphi_{\text{РЛП}}.$$

Полярные координаты ВС $D_{\text{ВС}}$, $\beta_{\text{ВС}}$ в АПОИ РЛП пересчитываются в

прямоугольную систему координат

$$X_{BC}^{РЛП} = D_{BC} \times \sin \beta_{BC}; Y_{BC}^{РЛП} = D_{BC} \times \cos \beta_{BC},$$

и совместно с полетной информацией о ВС (номер ВС, высота полета ВС, остаток топлива в процентах и др.) в цифровой форме передаются по телефонным каналам связи в центр УВД. В вычислительном комплексе центра УВД производится пересчет координат ВС из плоскостной системы координат РЛП в плоскостную систему координат центра УВД. Эти плоскости находятся под различными углами друг к другу. Формулы пересчета координат определяются методами проекции точек в системе координат РЛП в картинную плоскость центра УВД. Существует несколько методов проекции. Приведем формулы пересчета координат при использовании ортографической проекции (рисунок 4.2 а).

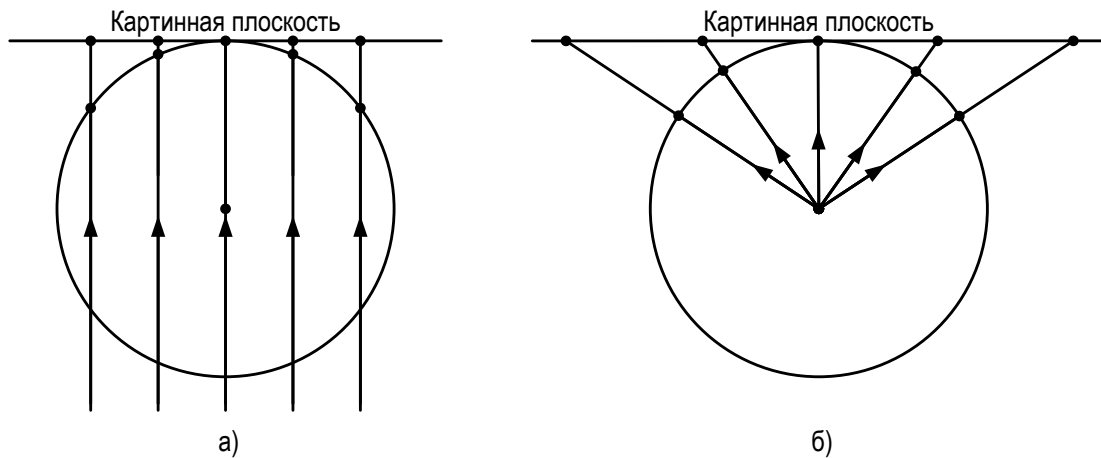


Рисунок 4.2 — Ортографическая (а) и центральная (б) проекции точек Земли на картинную плоскость

Шаг 1. Поворот системы координат РЛП на угол $\sigma_{РЛП}$, таким образом, чтобы ось Y РЛП была параллельной оси Y центра УВД. Координаты ВС при первом повороте рассчитываются следующим образом:

$$X_{BC}^{(1)} = X_{BC}^{РЛП} \times \cos \sigma_{РЛП} + Y_{BC}^{РЛП} \times \sin \sigma_{РЛП};$$

$$Y_{BC}^{(1)} = Y_{BC}^{РЛП} \times \cos \sigma_{РЛП} - X_{BC}^{РЛП} \times \sin \sigma_{РЛП}.$$

Шаг 2. Поворот плоскости системы координат РЛП относительно оси Y на угол $\Delta\lambda = (\lambda_{ЦУ} - \lambda_{РЛП})$, а затем — относительно оси X на угол $\Delta\varphi = (\varphi_{РЛП} - \varphi_{ЦУ})$. Такие повороты сделают плоскость системы координат РЛП параллельной плоскости системы координат центра УВД. Координаты ВС при повороте рассчитываются следующим образом:

$$X_{BC}^{(2)} = X_{BC}^{(1)} \times \cos(\lambda_{ЦУ} - \lambda_{РЛП});$$

$$Y_{BC}^{(2)} = Y_{BC}^{(1)} \times \cos(\varphi_{ЦУ} - \varphi_{РЛП}).$$

Шаг 3. Пересчитывают географические координат точек стояния РЛП ($\varphi_{РЛП}$, $\lambda_{РЛП}$) в прямоугольные координаты системы координат центра УВД:

$$X_{РЛП}^{ЦУ} = R_3 \times \cos \varphi_{РЛП} \times \sin(\lambda_{ЦУ} - \lambda_{РЛП});$$

$$Y_{РЛП}^{ЦУ} = R_3 \times \sin(\varphi_{РЛП} - \varphi_{ЦУ}).$$

Шаг 4. Координаты ВС в системе координат центра УВД определяются по формулам:

$$X_{ВС}^{ЦУ} = X_{РЛП}^{ЦУ} + X_{ВС}^{(2)} = R_3 \times \cos \varphi_{РЛП} \times \sin(\lambda_{ЦУ} - \lambda_{РЛП}) + X_{ВС}^{(1)} \times \cos(\lambda_{ЦУ} - \lambda_{РЛП});$$

$$Y_{ВС}^{ЦУ} = Y_{РЛП}^{ЦУ} + Y_{ВС}^{(2)} = R_3 \times \sin(\varphi_{РЛП} - \varphi_{ЦУ}) + Y_{ВС}^{(1)} \times \cos(\varphi_{РЛП} - \varphi_{ЦУ}).$$

Так вычисляются координаты всех воздушных судов в воздушном пространстве в любой момент времени $X_{ВС}^{ЦУ}(t)$, $Y_{ВС}^{ЦУ}(t)$ по переменным $X_{ВС}^{РЛП}(t)$, $Y_{ВС}^{РЛП}(t)$. По координатам воздушных судов в системе координат центров УВД производится вторичная обработка радиолокационной информации с целью автосопровождения ВС и отображения точки ВС совместно с формуляром на совмещенном плановом индикаторе воздушной и наземной обстановки АРМ диспетчера.

Пересчет координат ВС из системы координат РЛП в систему координат центра УВД может производиться также и методом центральной проекции точек координат ВС на картинную плоскость системы координат центра УВД (рисунок 4.2 б). Формулы пересчета координат в этом случае будут отличаться от формул пересчета координат при использовании ортографической проекции, рассмотренных выше.

Программное обеспечение КСА центра УВД строится по модульному принципу и реализует соответствующее математическое обеспечение в виде комплекса программных модулей, обеспечивающих решение соответствующих задач.

4.3 Космические технологии в системах управления полетами и воздушным движением

Появление искусственных спутников Земли произвело подлинную революцию в различных сферах человеческой деятельности, особенно в сферах получения и обмена информацией в интересах широкого круга пользователей. Как известно, одной из основных задач процесса управления полетами и воздушным движением является передача заявок (планов) на использование воздушного пространства в различные органы управления ЕС ОрВД и доведение разработанных планов ИВП до органов и пунктов управления, привле-

каемых к обеспечению выполнения поданных заявок. Учитывая трудности в развертывании и эксплуатации обычных наземных систем связи в труднодоступных и малонаселенных районах Сибири, Дальнего Востока и Севера РФ, необходимо отметить, что применение спутниковых систем связи во многом решает проблемы, связанные с развитием воздушных путей сообщения в этих районах.

Представителем спутниковой системы связи в интересах УВД так называемая «

Система фиксированной спутниковой связи (СФСС) является одной из систем, работающих в интересах УВД. Уполномоченным оператором СФСС в области применения ее на воздушном транспорте является межрегиональное предприятие «Сервисаэроконтроль». В этой системе используются узловые и абонентские наземные станции спутниковой связи. Передаваемые данные и телефонные сообщения от абонента поступают на наземные абонентские станции спутниковой связи (АСС), которые передают их на спутник-ретранслятор, находящийся на геостационарной орбите. Спутник-ретранслятор пересылает их обратно на наземную АСС, связанную с абонентом, которому предназначены данные или телефонные сообщения. Обобщенная структурная схема СФСС приведена на рисунке 4.3.

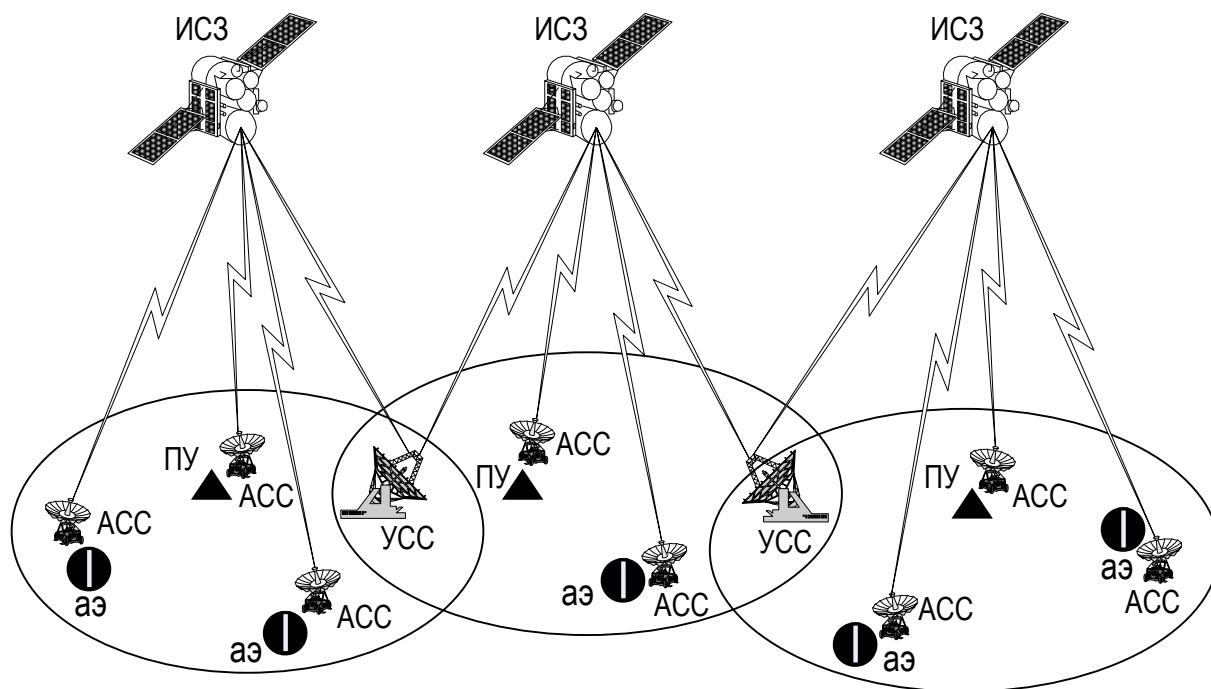


Рисунок 4.3 — Обобщенная структурная схема СФСС

Узловые станции спутниковой связи (УСС) находятся в областях пересечения «зон освещенности» земной поверхности, создаваемых соседними спутниками. Наземные АСС, расположенные в зонах освещенности какого-либо одного спутника могут связываться друг с другом «одним скачком», т.е.

без использования УСС. Связь между наземными АСС, расположенными в различных зонах освещенности осуществляется одну или две УСС, т.е. посредством «нескольких скачков».

Космическая подсистема СФСС «Сервисаэроконтроль» состоит из трех геостационарных спутников «Горизонт», расположенных на орбите в точках с координатами 53°в.д., 103°в.д. и 145°в.д. Они создают три зоны освещенности, покрывающие всю территорию России. Размещение УСС предусмотрено в Архангельске, Екатеринбурге, Минеральных Водах, Москве, Новосибирске, Норильске, Ростове-на Дону, Самаре, Санкт-Петербурге и других городах. Количество абонетских НСС будет определяться реальными потребностями. Например, только в Красноярском крае предусмотрено установить 15 абонетских НСС.

Кроме СФСС в интересах УВД используются системы авиационной подвижной (мобильной) спутниковой связи. В настоящее время существуют две такие системы: международная система ИНМАРСАТ и национальная система США AMSC.

Система ИНМАРСАТ (международная авиационная подвижная спутниковая связь для морских, авиационных и других пользователей) обеспечивает двустороннюю связь с подвижными объектами, находящимися в любой точке мира, как в телефонном режиме, так и в режиме передачи данных для задач УВД, авиационной административной связи (связи ВС со своим ПУ или компанией) и пассажирской связи. Одновременно может обслуживаться до 1000 воздушных и морских судов. В зависимости от географического положения воздушного судна бортовая станция спутниковой связи выбирает соответствующий спутник (если он не один в данном районе), конкретный луч спутника и частоту наземной станции, которая работает в данном конкретном луче спутника. Авиационная подсистема ИНМАРСАТ включает следующие три компонента (рисунок 4.4):

— 4 основных и 4-5 резервных спутников на геостационарных орбитах с интервалом 90° в восточном и западном полушариях Земли; на спутниках могут быть задействованы до 7 узконаправленных лучей и один глобальный луч;

— наземные станции GES (Ground Earth Station), которые связывают спутники с международными сетями электросвязи;

— самолетные спутниковые станции AES (Aircraft Earth Station) для связи с наземными станциями через спутники ИНМАРСАТ.

Наземные станции сопрягаются с международными сетями связи. Связь наземного абонента (центра УВД, офиса, квартиры) с воздушным судном

осуществляется через ближайшую к абоненту ИСЗ, которая в диапазоне 4/6 ГГц передает сигнал на ИСЗ для его ретрансляции в диапазоне 1,5/1,6 ГГц непосредственно на борт воздушного судна.

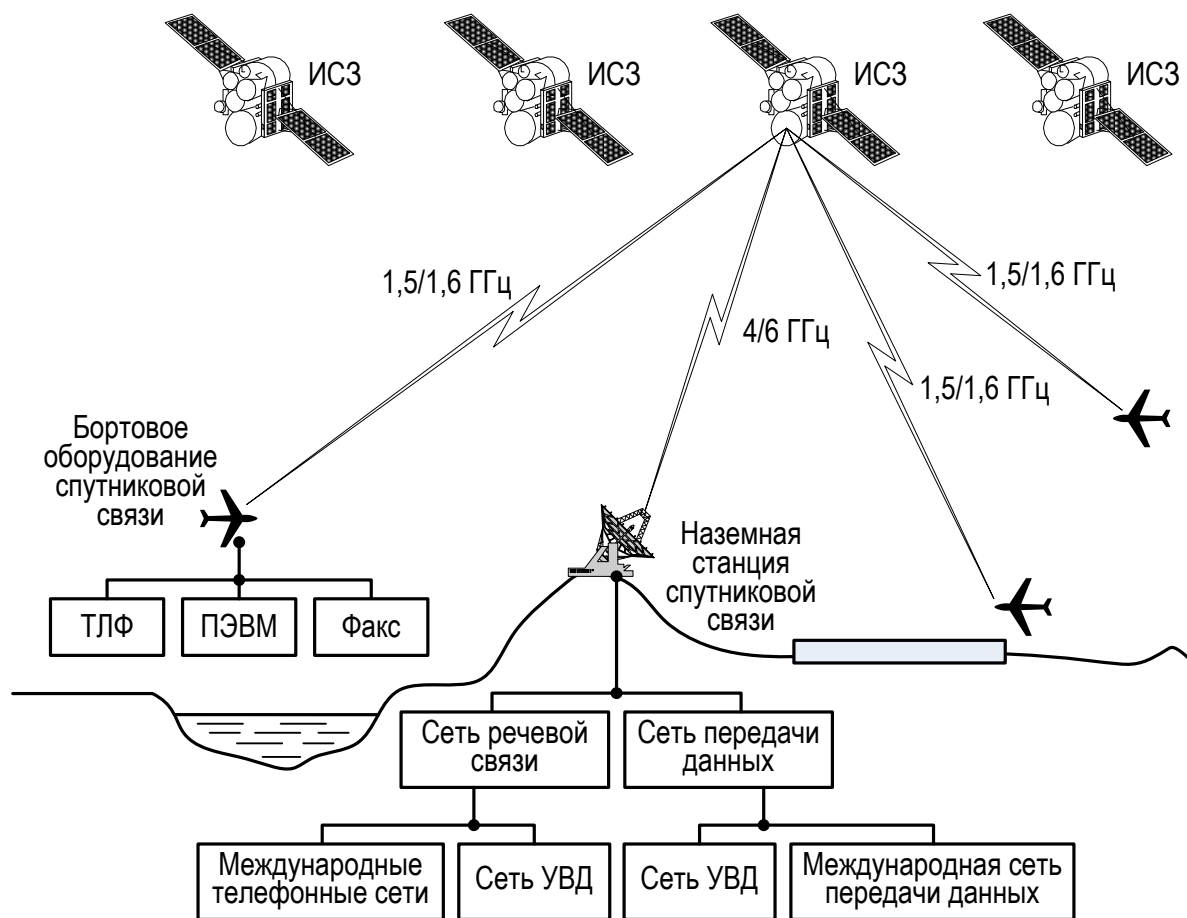


Рисунок 4.4 — Авиационная система ИНМАРСАТ

Самолетные спутниковые станции работают в диапазоне 1,5/1,6 ГГц для передачи информации с борта ВС через спутник ИНМАРСАТ в центр УВД в режиме передачи данных для реализации автоматического зависимого наблюдения (АЗН) или в режиме телефонного обмена с диспетчером центра УВД (изменение плана полета, эшелона полета, различные донесения и команды). Воздушное судно может связываться с любым телефоном, факсом или компьютером в любой точке мира. Телефонная связь «вверх» и «вниз» идет в цифровой форме. Скорость передачи данных равна 10,5 Кбод, скорость телефонного обмена равна 9,6 Кбод.

Использование ИСЗ при управлении полетами и воздушным движением позволило решить ряд задач не только в части расширения возможностей воздушной и наземной связи, но и реализовать принципиально новый метод наблюдения за воздушной обстановкой, в котором координатная, полетная и другая информация о ВС формируется на борту, автоматически обрабатывается и передается независимо от экипажа в центры УВД с помощью рассмотренных выше систем связи типа АКАРС и ИНМАРСАТ. Такой метод наблю-

дения за отдельными воздушными судами и за воздушной обстановкой в целом в любом по размерам районе воздушного пространства получил название «автоматического зависимого наблюдения» (АЗН). Этот метод наблюдения не требует применения ПРЛС и ВРЛ в качестве источников координатной и полетной информации о ВС, устраняя тем самым ограничение дальностью прямой видимости и энергетикой РЛС размеров контролируемого ВП.

В определенной степени прототипом АЗН является метод процедурного управления ВД, при котором координатная и полетная информация о ВС передается экипажем в центр (пункт) УВД по радиотелефону в УКВ и КВ диапазоне радиоволн. Автоматическое зависимое наблюдение как метод наблюдения за ВО в системах управления полетами и воздушным движением стал возможен при появлении глобальных спутниковых навигационных систем NAVSTAR (более известной как GPS) и ГЛОНАСС. Космическая составляющая этих систем состоит из средневысотных спутников на круговых орбитах ($H = 2000 \dots 20000$ км). Угол наклона плоскостей трех орбит к плоскости экватора составляет около 65° , орбиты разнесены в плоскости экватора на 120° одна от другой. На каждой орбите находятся по 8 ИСЗ, что обеспечивает для ВС, находящегося в любой точке ВП, видимость минимум четырех ИСЗ. Видимость — это возможность измерения расстояния от ВС до каждого из четырех ИСЗ. Расстояние или дальность r от ВС до ИСЗ определяется псевдодальномерным способом, сущность которого состоит в том, что с ИСЗ в момент $t_{исз}$ излучается сигнал в виде информационной кодограммы, содержащей в своем составе данные о прямоугольных координатах ИСЗ X, Y, Z в момент $t_{исз}$. В приблизительно это же время «открывается» и ожидает приема кодограммы бортовой приемник ВС. Обозначим время «открытия» бортового приемника ВС $t_{прм}$. Удаление ВС от ИСЗ определяется как произведение скорости распространения сигнала c (скорость света) на разность времени от момента «открытия» бортового приемника ВС $t_{прм}$ до момента фактического приема сигнала $t_{сигн}$ со спутника:

$$r = C (t_{сигн} - t_{прм}).$$

Местоположение ВС в декартовой прямоугольной гринвической системе координат $X_{ВС}, Y_{ВС}, Z_{ВС}$ определяется путем решения на борту ВС четырех алгебраических уравнений:

$$(X_i - X_{ВС})^2 + (Y_i - Y_{ВС})^2 + (Z_i - Z_{ВС})^2 = (r_i + \Delta r)^2,$$

где X_i, Y_i, Z_i ($i = 1, 2, 3, 4$) — текущие координаты ИСЗ в момент излучения сигнала; r_i — расстояние до ИСЗ ($i = 1, 2, 3, 4$); Δr — ошибка в определении расстояния, вызванная несовпадением времени $t_{исз}$ и $t_{прм}$:

$$\Delta r = c \cdot \Delta t = (t_{исз} - t_{прм}).$$

Если значение Δr положительное, то бортовые часы приемника ВС отстают от «системного времени», то есть приемник ВС открывается позже на Δt , чем момент излучения сигнала ИСЗ, и наоборот. Отсюда вычисляется поправка для коррекции бортовых часов ВС

$$\Delta t = \frac{\pm \Delta r}{c} .$$

Прямоугольные координаты ВС X_{BC} , Y_{BC} , Z_{BC} пересчитываются в географические координаты φ_{BC} , λ_{BC} , H_{BC} . Скорость ВС определяется по известным выражениям:

$$V_{BC}^X = \frac{X_{BC}(t_2) - X_{BC}(t_1)}{t_2 - t_1} ; \quad V_{BC}^Y = \frac{Y_{BC}(t_2) - Y_{BC}(t_1)}{t_2 - t_1} ;$$

$$V_{BC}^Z = \frac{Z_{BC}(t_2) - Z_{BC}(t_1)}{t_2 - t_1} ; \quad V_{BC}^{\Pi} = \sqrt{(V_{BC}^X)^2 + (V_{BC}^Y)^2} .$$

Следует отметить высокую точность определения местоположения и скорости ВС этим методом.

В состав системы АЗН входят:

- глобальные спутниковые навигационные системы ГЛОНАСС и NAVSTAR (GPS);
- воздушные суда как объекты наблюдения и контроля в системе АЗН;
- системы связи с воздушными судами;
- центры наблюдения и управления ИСЗ.

Схема функционирования системы АЗН приведена на рисунке 4.5.

Основное сообщение АЗН, содержащее данные о координатах ВС, высоте полета, времени, опознавательном индексе ВС; имеет длину 239 бит и передается с периодичностью 5, 30 или 300 секунд.

Расширенное сообщение АЗН, содержащее основное сообщение АЗН и дополнительно данные о скорости и направлении ветра, температурк, прогнозируемом маршруте, имеет длину 324 бита и передается по требованию диспетчера.

Автоматическое зависимое наблюдение является альтернативой наблюдению за воздушной обстановкой с помощью ПРЛС и ВРЛ. Оно обеспечивает обмен информацией между ВС и диспетчерами с целью управления экипажами или непосредственно САУ ВС, получение метеоинформации, оперативную связь с КП и ПУ (с авиакомпаниями).

Таким образом на борту ВС постоянно вычисляются навигационные

параметры ВС и время: Эти параметры в качестве информации АЗН передаются в центры УВД. При наличии на борту ВС систем передачи данных (СПД) цифровой радиосвязи появилась возможность транслировать свои координаты и другие данные не только на органы УВД и ПУ, но и на другие ВС в режиме вещания. Все ВС, оснащенные аппаратурой АЗН, оказываются связанными единым цифровым радиоканалом. Каждое ВС получает информацию о других ВС, находящихся в зоне радиовидимости, а также транслирует им информацию о себе, тем самым реализуя принцип «все видят всех». Этот вариант АЗН получил название «АЗН-В» (вещательное АЗН).

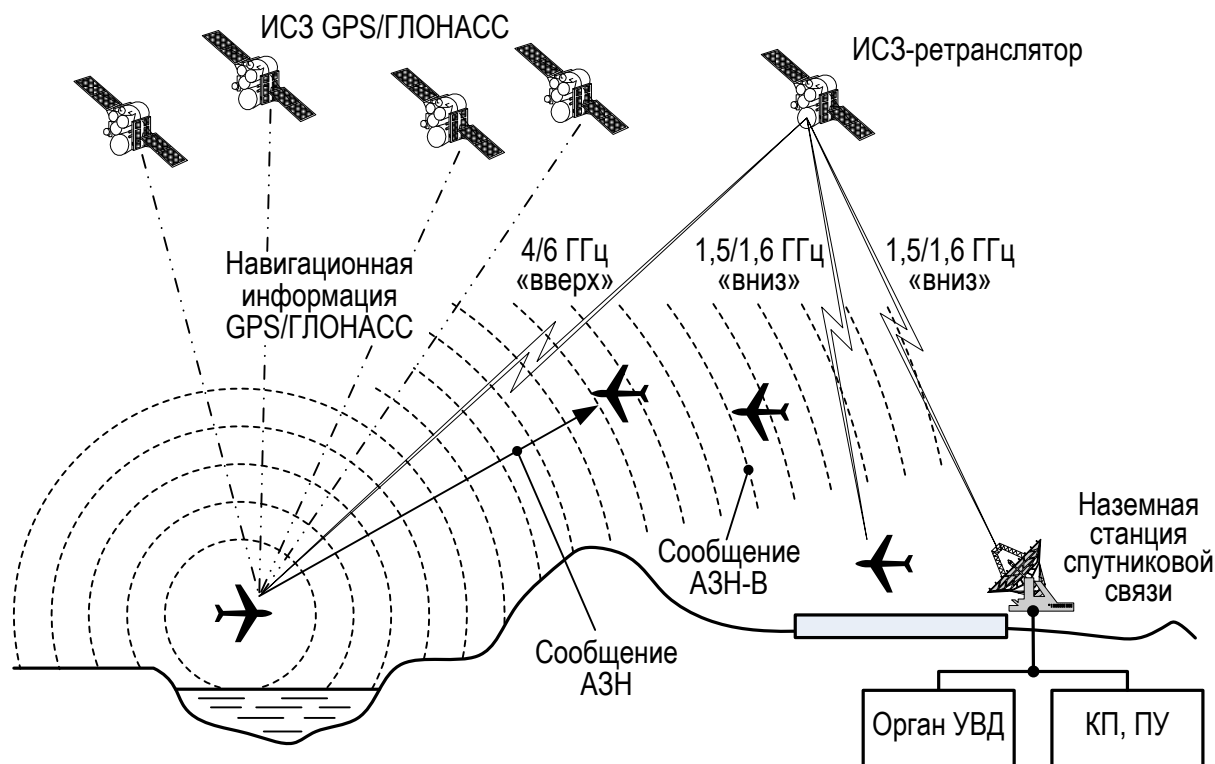


Рисунок 4.5 — Схема функционирования системы АЗН

Система АЗН имеет возможность сообщать также данные об угловых положениях ВС (крен, курс, тангаж), транслировать барометрическую высоту, корректировать инерциальную систему навигации, давать команды экипажу или САУ, получать/передавать метеорологическую информацию и другие данные.

Данный метод вследствие большего совершенства систем наблюдения, связи, обработки и отображения данных УВД позволяет сократить нормы эшелонирования ВС, повысить уровень оперативности и точности управления ВС во всех элементах ВП и в целом повысить уровень безопасности полетов.

Следует отметить, что принцип АЗН также может быть реализован на базе высокоточных бортовых пилотажно-навигационных комплексов ВС и

авиационных подвижных систем передачи данных, а также с помощью средств радиосвязи КВ–СВ диапазона, то есть без использования спутниковых систем навигации и связи.

4.4 Перспективы развития АСУ полетами и воздушным движением

Постоянное совершенствование и развитие существующих АСУ полетами и воздушным движением таких, как «Теркас», «Стрела» и «Старт», направленное на повышение их эффективности, оцениваемой количеством ВС, одновременно находящихся под управлением, точностью и надежностью процессов управления, габаритами, стоимостью создания и эксплуатации КСА, сроками внедрения и окупаемости, а также другими показателями, непосредственно связаны с процессами разработки новых систем и комплексов, реализованных на новейших достижениях в области вычислительной техники и информационных технологий. Так, например, к новым комплексам относятся:

— КСА «Альфа», предназначенный для автоматизации центров УВД со средней и высокой интенсивностью воздушного движения и обеспечивающий процессы обработки и представления плановой информации, а также управление полетами с КДП аэродромов;

— КСА «Топаз», предназначенный для внетрассовых секторов и обеспечивающий отображение данных о ВО в радиусе 2000 км и сопровождение не менее 400 ВС за обзор, обрабатывает 3000 стандартных полетных планов, 1000 пассивных планов и 400 активных планов полетов ВС;

— КСА «Синтез АР-2» и «СинтезА-2», предназначенные для УВД в районах и для аэродромов со средней интенсивностью воздушных потоков.

Новыми являются также системы «Норд», «КАРМ», «Небосвод», «Спектр», «Буран» и другие.

Основными направлениями совершенствования и модернизации существующих КСА процессов УВД являются следующие:

— переход новейшие архитектуры распределенных вычислительных систем, обеспечивающие процессы оперативной аналитической обработки (в реальном масштабе времени) данных и сообщений;

— модульности и унификации конструкций всех основных видов обеспечения АСУ П и ВД, позволяющие формировать структуру и технические параметры КСА в соответствии с требованиями и уровнем центров управления в системе УВД (зональных, районных, узловых, аэродромных);

— разработка и внедрение новейших методологий и технологий в обла-

сти математического, информационного, программного и лингвистического обеспечений КСА УВД, позволяющих решать оптимизационные и трудно-формализуемые задачи планирования полетов, оценки обстановки и принятия решений в процессе управления воздушным движением.

Развитие средств наблюдения за воздушной обстановкой реализуется путем улучшения ТТХ радиолокационных средств и систем, а также внедрения систем АЗН.

На радиолокационных позициях районных АСУ ВД на смену трассовым радиолокационным комплексам ТРЛК-10, состоящим из ПРЛС «Скала-М» и ВРЛ «Корень», идет ТРЛК-11, включающий ПРЛС «Скала-МПР» и ВРЛ «Лист». Этот ВРЛ имеет улучшенные по сравнению с ВРЛ «Корень» характеристики: максимальное число обслуживаемых ВС возросло с 30 до 50, темп обновления информации изменился с 10 до 5 секунд, максимальная дальность обнаружения ВС составляет 400 км. Главное отличие этого типа ВРЛ состоит в том, что в нем реализован «дискретно-адресный» запрос воздушного судна о его полетных параметрах в момент попадания этого ВС в пределы основного луча диаграммы направленности антенны ВРЛ. Такая технология позволила устранить неоднозначность в установлении соответствия получаемых полетных данных и воздушных судов в зоне обзора ВРЛ.

Перспективными средствами наблюдения за воздушной обстановкой также являются:

- трассовые РЛК 1Л118 (Лира-1) и «Лира-Т»;
- РЛС «Утес-Т»;
- аэродромные РЛК «Утес-А» и «Лира-А10»;
- вторичные РЛС «Лира-В» и «Лира-ВА».

Основными показателями качества систем радиолокационного наблюдения за воздушной обстановкой являются дальность обнаружения и точность определения координат воздушных судов (особенно на высотах менее 3000 метров). Принципиально новым и перспективным методом наблюдения за воздушной обстановкой в любом районе воздушного пространства и на всех высотах полета ВС сегодня является метод *автоматического зависимого наблюдения* (АЗН), суть которого состоит в определении пространственных координат ВС на борту и передачи их на наземные пункты управления и соседние ВС в ширококвещательном режиме.

Международная организация гражданской авиации ИКАО в свое время пришла к выводу, что традиционным системам связи, навигации и наблюдения свойственны три недостатка:

— ограничение прямой видимости и непостоянство характеристик распространения используемых диапазонов волн (УКВ);

— сложности внедрения в эксплуатацию средств связи в малонаселенных и ненаселенных труднодоступных районах;

— ограничение возможности речевой связи «борт — земля» и отсутствие бортовых и наземных систем обмена цифровыми данными «борт — земля — борт».

К настоящему времени возможности аналоговой радиотелефонной связи диспетчеров УВД с экипажами ВС в УКВ диапазоне радиоволн практически исчерпаны по причине низкой информационной пропускной способности аналоговых телефонных каналов связи со стандартной полосой частот $\Delta f = 3,1$ кГц и ограничения количества аналоговых каналов радиотелефонной связи не только из-за узости выделенной полосы частот, но и вследствие необходимости их разнеса на величину до 15...25 кГц из-за возникновения эффекта Доплера при связи с подвижными объектами — воздушными судами. Если при радиотелефонном аналоговом обмене, например, за одну секунду передаются два слова по 48 бит информации каждое, то скорость передачи данных составляет 96 бод. В то же время скорость передачи двоичной информации с достаточной степенью надежности по цифровым каналам связи связана с полосой Δf соотношением $V = (1,25 \dots 1,5) \cdot \Delta f$.

Следовательно, по стандартному телефонному каналу связи с полосой 3,1 кГц можно передавать дискретную (цифровую) информацию со скоростью около 30000 бод, что значительно повышает информационную пропускную способность телефонного канала связи при радиотелефонном аналоговом обмене (96 бод).

Кроме значительного повышения информационной пропускной способности при использовании телефонного канала связи в цифровом режиме обеспечивается межмашинный обмен цифровой информацией между ЭВМ, находящимися на борту ВС, и ЭВМ центров УВД.

Новые системы связи расширяют зону действия радиосвязи в диапазоне УКВ (или ОВЧ — очень высоких частот, как принято в англоязычной литературе) и обеспечивают обмен цифровыми данными между органами УВД и органами УВД и воздушными судами за счет полного использования возможностей АС УВД. Такие системы получили название авиационных подвижных систем передачи данных (АПСВД). Зарубежным представителем таких систем является американская адресно-отчетная система авиационной связи «АКАРС» (ACARS — Aircraft Communication Addressing and Reporting System). Система «АКАРС» была разработана в 70-х годах прошлого столе-

тия для обеспечения связи по линиям передачи данных между самолетами и наземными станциями. Она позволяет отправлять короткие сообщения на скорости 2400 бод, что по сегодняшним меркам, конечно очень медленно, но обеспечивает высокую надежность передачи данных и значительно сокращает рабочую нагрузку экипажа воздушного судна, путем снижения голосового обмена с землей.

Система «АКАРС» включает в себя не только оборудование, устанавливаемое на борту самолетов, но и обширную наземную подсистему. Бортовое оборудование «АКАРС» состоит из блока «Management Unit», который обеспечивает прием и передачу сообщений посредством радиосвязи и блока «Control Unit», который служит для взаимодействия с экипажем ВС и вывода сообщения на экран или принтер. Наземная подсистема «АКАРС» представляет собой сеть, состоящую из множества приемо-передающих станций и компьютерных коммутационных систем. В комплексе это обеспечивает двухстороннюю связь между диспетчерскими центрами управления авиакомпаниями и их самолетами во время выполнения полетов.

Главной целью системы «АКАРС» является информирование о проходимом этапе полета и состоянии оборудования ВС. Самолет может посылать сообщения в автоматическом режиме, например при отрыве или касании ВПП, при включении стояночного тормоза или при возникновении неисправностей оборудования. По запросу может быть отправлено сообщение о количестве пассажиров, остатке топлива, состоянии двигателей и многом другом. Экипаж может произвести запрос метеосводки по маршруту полета. Наземные компьютеры среагируют и отправят сообщение с прогнозом, которое будет отображено на экране или распечатано.

Все сообщения «АКАРС» разделяются на два типа: Downlink — передача с самолета на землю, и Uplink — передача с наземной станции на самолет. Стоит отметить, что нет единого формата сообщений, каждая авиакомпания использует свой собственный специфический формат, соответствующий ее потребностям.

Отечественным представителем АПСВД является система «ЭРКОМ». Эта система, как и «АКАРС» обеспечивает обмен информацией в цифровой форме между наземными станциями и воздушными судами в диапазоне УКВ. В наземную систему входят сотни радиостанций, рассредоточенных в континентальной части стран СНГ, охватываемых этой системой связи. Наземные станции связаны между собой сетью передачи данных.

Таким образом, «АКАРС» и «ЭРКОМ» состоят из бортовых систем с аппаратурой передачи данных и сети наземных УКВ радиостанций, связанных между собой наземными системами передачи данных (рисунок 4.6).

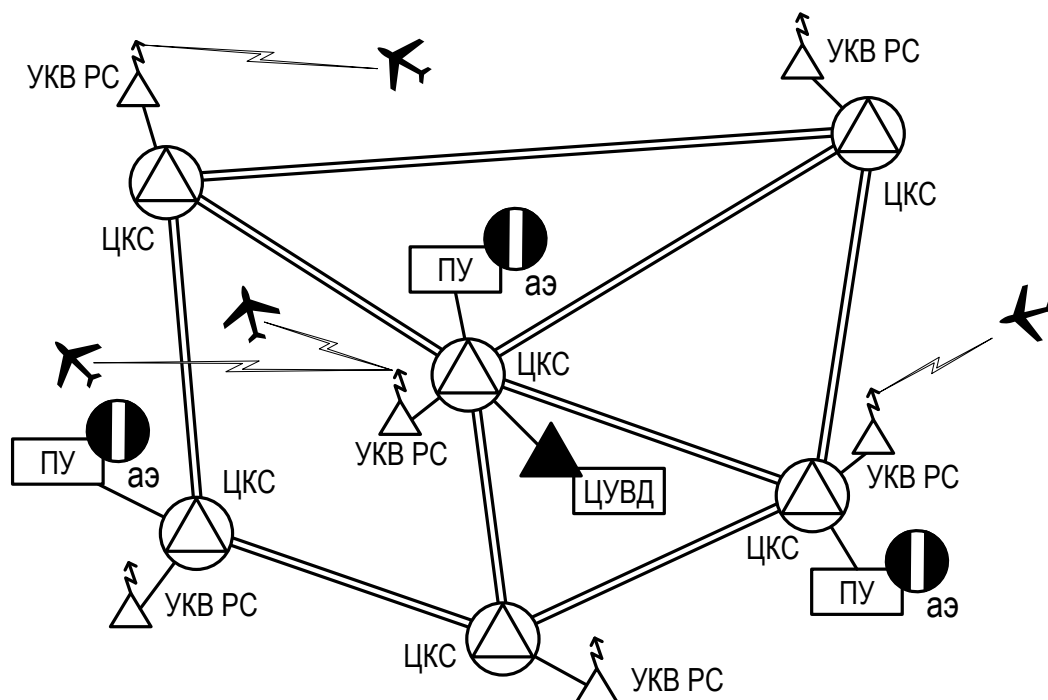


Рисунок 4.6 — Схема авиационной подвижной системы передачи данных

Любые сообщения в цифровой форме с борта ВС на землю (сообщения вниз) передаются на наземную радиостанцию, а далее по каналам передачи данных наземной сети с помощью центров коммутации связи (ЦКС) транслируются адресату — органу УВД или ПУ. Сообщения «вверх» и «вниз» — адресные, то есть конкретному абоненту, в том числе и бортовому компьютеру (САУ). Сообщения передаются в реальном масштабе времени ($t < 1$ секунды). Они ограничены по объему — максимум 220 знаков. Более длинные сообщения передаются как многоблочные с автоматической разбивкой на блоки с последующей «сшивкой» на приеме.

В России наземные радиостанции АПСПД внедрены в Москве, Санкт-Петербурге, Хабаровске, Новосибирске, Иркутске, Владивостоке, Магадане, Южно-Сахалинске.

Сильная взаимосвязь бортового радиосвязного и радионавигационного оборудования воздушных судов и наземных средств обеспечения радиосвязи и радионавигации ограничивает возможности организации воздушного пространства. Применение методов АЗН позволяет создать оптимальную структуру маршрутов полетов и воздушных трасс, но при этом ВС должны быть оборудованы средствами АЗН или иметь оборудование для приема информации от удаленных наземных радиотехнических средств навигации.

Оснащение воздушных судов аппаратурой АЗН-В является основой для дальнейшего развития аэронавигации, состоящего в реализации концепции «свободного полета». Появление возможности высокоточного определения каждым ВС пространственных координат своего местоположения позволяет

реализовать концепцию спутниковой посадки, при которой угловые отклонения для вертикального и бокового наведения даются экипажу ВС в той же форме, как и при наведении по стандартной инструментальной системе посадки.

Разработка и внедрение в процессы управления авиацией современных систем наблюдения, навигации, связи и посадки позволяют существенным образом модернизировать техническое обеспечение современных АСУ П и ВД с целью дальнейшего повышения безопасности полетов воздушных судов.

В 2004 году Постановлением Правительства РФ в рамках Министерства Транспорта РФ создана самостоятельная структура «Федеральная аэронавигационная служба РФ» (ФАНС РФ) или «Росаэронавигация» в составе центрального и территориальных органов. Эта служба осуществляет полное государственное регулирование и организацию ИВП РФ, она является органом исполнительной власти в сфере ИВП, управления полетами и воздушным движением, обеспечения пользователей ВП аэронавигационной и метеоинформацией. Структурно Росаэронавигация включает в себя Регулирующие и Координирующие органы с Межведомственными и Координационными зональными советами, Аэронавигационную систему РФ (АНС РФ) с оперативными органами УВД, Единую систему авиационно-космического поиска и спасения с оперативными органами, Органы предоставления ПВП аэронавигационной и метеоинформации, Федеральное унитарное предприятие «Госкорпорация по организации воздушного движения», Федеральное унитарное предприятие «ГОС НИИ Аэронавигация» для научного обеспечения деятельности Росаэронавигации.

Основу технической базы АНС РФ составят спутниковые системы связи, наземные и бортовые комплексы высокого уровня автоматизации, системы АЗН, наземные и бортовые системы обнаружения и разрешения конфликтных ситуаций.

Учитывая тенденции к укрупнению районов обслуживания ВД, будет создано новое поколение систем УВД, среди которых будут системы двух классов [...]:

— системы планирования использования воздушного пространства и организации полетов и воздушного движения, предназначенные для оснащения Главного национального центра и отдельных региональных (территориальных) центров планирования использования воздушного пространства и организации полетов и воздушного движения;

— системы для суточного планирования и организации полетов и воз-

душного движения, а также для непосредственного управления воздушными судами, предназначенные для центров управления укрупненных районов воздушного движения.

Реализация планов поэтапного реформирования и модернизации средств и систем рассчитана до 2015 года

4.5 Система управления полетами группировки ВВС США

4.5.1 Боевые задачи группировки ВВС США

Перед группировкой ВВС США ставится большое число задач по обеспечению выполнения плана операции объединенной группировки войск (ОГВ) на ТВД. Конкретная организационная структура ОГВ и порядок оперативной подчиненности сил и средств оказывают влияние на организационную структуру системы боевого управления авиационного компонента ОГВ.

Авиационная группировка может быть передана в непосредственное подчинение командующего авиационным компонентом ОГВ либо действовать в его интересах. Это оказывает влияние на количество и тип наряжаемых сил и средств, а также на структуру и состав органов управления (штабов). Однако способы боевых действий при этом остаются неизменными.

Авиационная группировка проводит различные типы операций с целью обеспечения действий ОГВ на ТВД. Командование ВВС определяет типовые задачи авиационной группировки на ТВД с точки зрения четырех основных функций аэрокосмических сил [6]:

— **контроль воздушно-космического пространства**, т.е. проведение противовоздушных операций в интересах ОГВ на ТВД с целью достижения превосходства в воздухе. Противовоздушная операция должна проводиться таким образом, чтобы позволить наземным войскам выполнять их задачи в условиях отсутствия противодействия самолетов или ракет противника;

— **нанесение авиационных ударов** включает стратегические авиационные удары, а также перехваты воздушных целей и непосредственную авиационную поддержку наземных войск, обеспечивающие наибольший вклад в достижение целей наземных сил. Эти задачи, решение которых в целом должно быть синхронизировано с целью достижения синергетического эффекта от применения сил и средств ОГВ, находятся в центре внимания авиационных командиров;

— **авиационное обеспечение** включает наблюдение за противником и разведку, РЭБ, дозаправку, переброску войск и грузов по воздуху и др.;

— **обеспечение войск** предусматривает поддержание войск в боеготовом состоянии.

Блокирование районов с воздуха (воздушное противодействие) по взглядам командования ВВС США заключается в разрушении, нейтрализации или задержке наращивания военного потенциала противника до того, как он может быть обрушен на дружественные войска и на таком расстоянии, где детальная интеграция каждого боевого вылета с огнем и маневром своих сил не требуется. Способность авиации препятствовать наращиванию сил противника может иметь разрушительное воздействие на планы и возможности противника по реагированию на действия дружественных сил. Американские авиационные командиры полагают, что нарушение или разрушение системы снабжения и усиления частей противника будет уменьшать боевую нагрузку наземных сил своих войск.

Воздушное противодействие и наземные операции должны планироваться и осуществляться таким образом, чтобы дополнять и усиливать друг друга. Взаимное дополнение воздушного противодействия и наземной операции должно быть продумано так, чтобы противнику не оставалось выбора: если он предпримет попытку противодействия маневру наземной группировки, его силам может быть нанесен непоправимый урон в ходе воздушного противодействия; если же сам он попытается осуществить воздушное противодействие, оно может быть сведено к минимуму за счет маневра наземной группировки дружественных войск.

Координация действий между центром управления тактической авиацией (ЦУТА), армейским полевым координационным пунктом, пунктом взаимодействия с морскими/десантными силами и офицером-направленцем морской пехоты оказывает существенный вклад в процесс целераспределения. Глубина воздушного противодействия в основном определяет свободу действий атакующих сил. Увеличение глубины операции уменьшает опасность нанесения ущерба своим войскам и упрощает требования по координации действий между компонентами группировки, отдельными экипажами летательных аппаратов и органами управления. С точки зрения эффективности именно применение воздушного противодействия, а не непосредственной авиационной поддержки может обеспечить наилучшее использование сил и средств авиации в наступлении.

Непосредственная авиационная поддержка заключается в применении воздушной мощи в поддержку действий командиров наземных сил против целей, находящихся в непосредственной близости к дружественным войскам (рисунок 4.7). Она дает наибольший целевой эффект среди всех способов наступательных действий авиации. Каждый боевой вылет должен быть

тщательно согласован с огнем и маневром наземных сил.

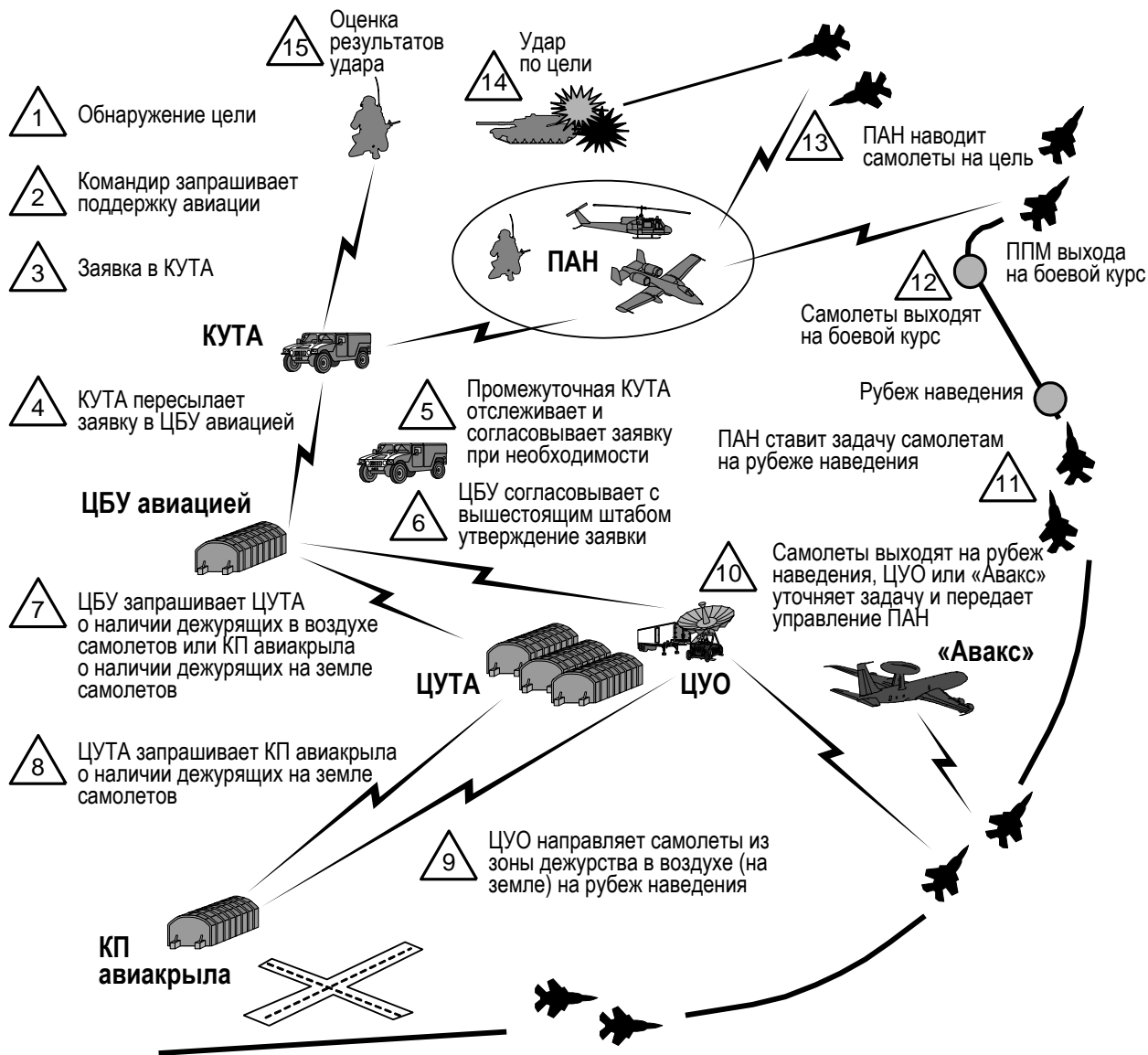


Рисунок 4.7 — Непосредственная авиационная поддержка

Командир наземной группировки должен планировать непосредственную авиационную поддержку при помощи и консультации офицеров-направленцев штаба группировки ВВС, команд управления тактической авиацией КУТА (ТАСР — Tactical Air Control Party) — аналогов отечественных групп боевого управления (ГБУ) авиацией и центров боевого управления (ЦБУ) авиацией (ASOC — Air Support Operations Center). Командование вооруженных сил США полагает, что авиаторы хорошо понимают сложность и неоднозначность осуществления и контроля боевых действий по непосредственной авиационной поддержке, а также знают необходимые меры по уменьшению вероятности поражения своих войск, включая способы опознавания целей, боевые возможности авиационных средств поражения и последствия возможных ошибок, требования по обеспечению качественного наведения самолетов на цели в реальном масштабе времени, возможный риск, ко-

тому подвергаются свои войска, требования по координации действий авиации с текущей деятельностью своих войск и другие ограничения, накладываемые командиром наземной группировки войск. Авиационные командиры должны быть уверены, что все эти оперативные ограничения надлежащим образом учтены с целью достижения наибольшей эффективности непосредственной авиационной поддержки наземных сил.

4.5.2 Управление полетами авиации при выполнении боевых задач

Типовая обобщенная структура системы боевого управления авиационного компонента ОГВ [7] представлена на рисунке 4.8. Руководство группировкой авиации на ТВД осуществляется в соответствии с указаниями командующего ОГВ. При этом командир авиационной группировки может выполнять роль либо командира авиационного компонента ОГВ JFACC (Joint Force Air Component Commander), либо начальника зоны управления воздушным движением АСА (Airspace Control Authority) и/либо командира зоны ПВО AADC (Area Air Defense Commander). В любом случае он будет осуществлять планирование, координацию и проведение операции авиационного компонента ОГВ и другие связанные с этим обязанности, используя систему управления авиацией на ТВД «Такс» (TACS), которая позволяет осуществлять централизованное планирование и управление и децентрализованное исполнение приказов.

Объединенный штаб авиационной группировки на ТВД осуществляет свои функции с помощью системы управления «Такс». Даже в том случае, когда функции командира авиационного компонента ОГВ выполняет командир другого компонента ОГВ (например, командир группировки ВМС), авиационная группировка ВВС, дислоцированная на ТВД, все равно будет выполнять свои задачи, используя систему управления «Такс».

Система управления авиацией на ТВД «Такс» (рисунок 4.9) включает ЦУГА, являющийся ключевым звеном «Такс», другие органы управления и контроля воздушного пространства, органы взаимодействия/связи и КП авиационных крыльев WOC (Wing Operations Center).

Система управления авиацией на ТВД целенаправленно построена для централизованного планирования и управления и децентрализованного исполнения приказов. Нижестоящие звенья «Такс» решают задачи связи, планирования, координации, мониторинга, контроля воздушного пространства, управления полетами и руководства боевыми действиями. Основными элементами системы, участвующими в управлении полетами и выполнении задач ПВО являются система дальнего радиолокационного обнаружения и управления (ДРЛОУ) «Авакс», ЦУО и радиолокационные посты (РЛП).

ЦУТА, пункт управления воздушными перевозками, воздушный пункт управления ВЗПУ, ЦБУ авиацией, КУТА, КП авиационных крыльев и система радиолокационного наблюдения и целеуказания «Джистарс» являются теми элементами системы «Такс», которые непосредственно задействованы в выполнении боевых задач в интересах наземных сил.

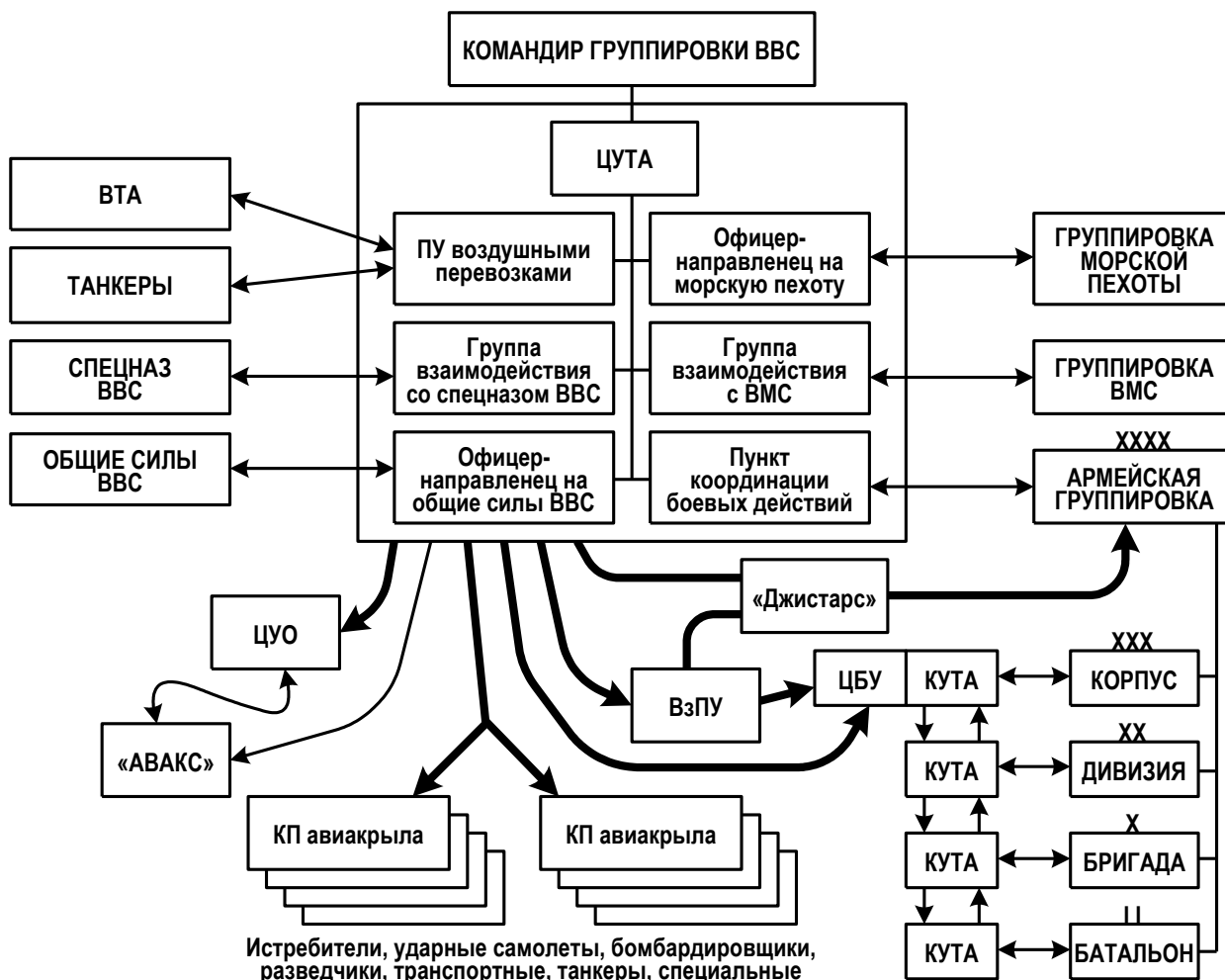


Рисунок 4.8 — Типовая обобщенная структура системы боевого управления авиационного компонента ОГВ

Система ДРЛОУ «Авакс», обеспечивающая радиолокационный контроль воздушного пространства на ТВД может также выполнять функции запасного пункта наведения (ПН) или в ограниченном объеме функций КП авиационной группировки ОГВ.

Центр управления и оповещения представляет собой главный элемент подсистемы радиолокационного обеспечения (РЛО) системы управления «Такс». Он управляет действиями авиации по обеспечению ПВО ТВД, осуществляет управление полетами и руководит работой подчиненных пунктов наведения и оповещения (ПНО) и РЛП. ПНО расширяет зоны радиолокационного покрытия и управления и может выполнять функции запасного (вспомогательного) ЦУО. РЛП размещаются вблизи линии боевого сопри-

косновения войск с целью расширения зоны радиолокационного покрытия и обеспечивают раннее радиолокационное обнаружение низколетящих воздушных целей. Они являются подчиненными по отношению к ЦУО и ПНО элементами подсистемы РЛО.

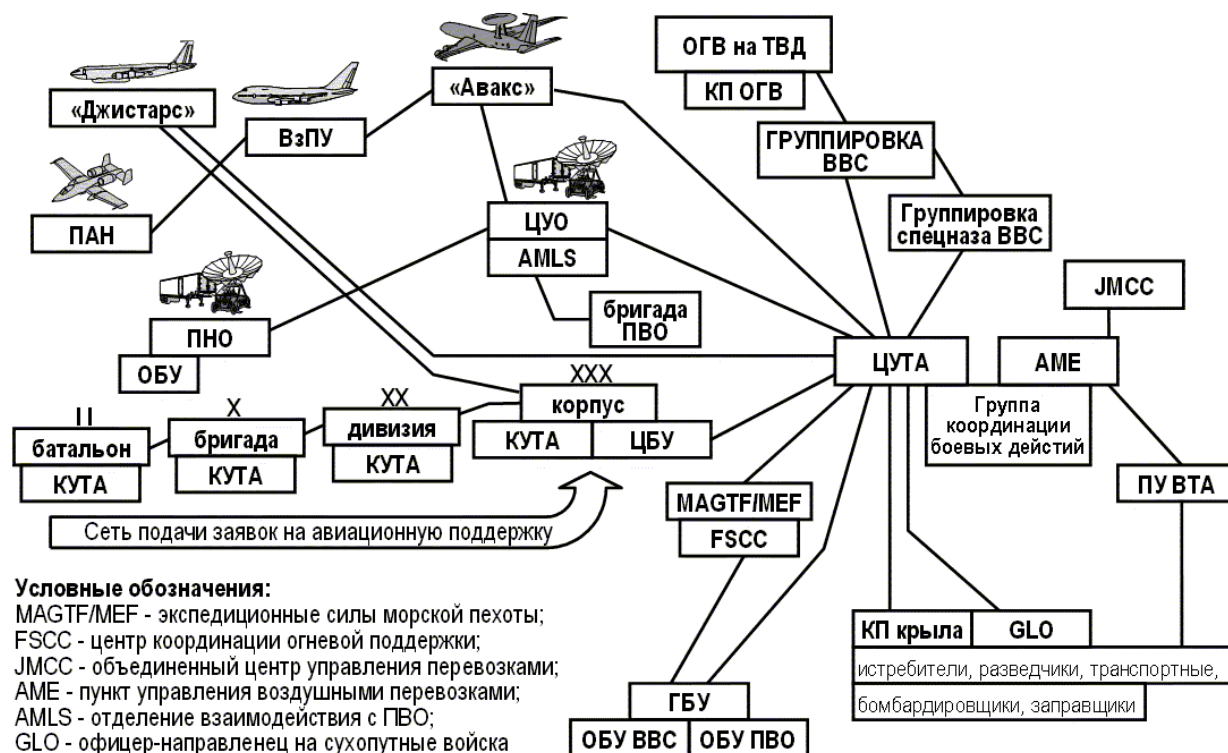


Рисунок 4.9 — Система управления авиацией на ТВД «Такс»

Центр управления тактической авиацией укомплектован личным составом и необходимым оборудованием (комплексами средств автоматизации и связи) для осуществления планирования, координации, исполнения, управления, контроля и непосредственного руководства боевыми действиями авиации на ТВД. Структура ЦУТА уточняется в соответствии с конкретными задачами, вытекающими из плана кампании ОГВ. При этом ЦУТА осуществляет оперативный контроль деятельности подчиненных и приданных сил, а также планирование и выполнение боевых задач, поставленных перед авиационной группировкой командующим ОГВ. В состав ЦУТА обычно входят отделы боевого планирования, оперативный и разведывательный, а также центр боевого и тылового обеспечения. Как правило, ЦУТА работает одновременно над тремя планами полетов на боевое применение АТО (Air Tasking Order): исполняет план АТО текущих суток, координирует разработку и рассылает план АТО следующих суток и осуществляет координацию предварительной разработки плана АТО на последующие сутки. Оперативный и разведывательный отделы контролируют ход и обеспечивают децентрализованное исполнение плана полетов подчиненными частями и подразделениями, а также приданными силами и средствами всех компонентов ОГВ. ЦУТА

должен иметь устойчивую и защищенную связь с оперативными и разведывательными отделами, а также со службами тылового (материально-технического) обеспечения вышестоящих и взаимодействующих штабов, подчиненными частями и нижестоящими звеньями системы управления авиацией на ТВД. Должностные лица ЦУТА в интересах ВВС осуществляют следующие мероприятия:

- разрабатывают оперативные планы по обеспечению операции ОГВ;
- распределяют цели и назначают средства их поражения;
- разрабатывают рекомендации по распределению ресурса авиации;
- в соответствии с принятыми командующим ОГВ решениями назначают ресурс самолето-вылетов для выполнения конкретных боевых задач, а также координируют распределение выделенного для обеспечения операции ОГВ ресурса самолето-вылетов авиационных группировок других (взаимодействующих) компонентов ОГВ;
- разрабатывают и рассылают исполнителям суточный план АТО;
- осуществляют обработку, анализ и использование полученной разведывательной информации с целью составления и эффективного выполнения планов АТО, а также предоставляют разведывательные аналитические материалы для целеуказания и оценки степени угрозы объектов противника подчиненным авиационным частям и подразделениям для непосредственного планирования боевых вылетов;
- руководят исполнением плана полетов на боевое применение АТО в соответствии с требованиями руководящих документов ВВС, обеспечивая быстрое реагирование на заявки по непосредственной авиационной поддержке, эффективное управление авиацией и согласованное применение авиационных средств поражения с целью полной интеграции боевых действий авиации с целями единой операции ОГВ;
- оценивают успешность выполнения боевых задач на основе донесений экипажей и данных разведки с целью определения результативности уничтожения объектов противника и необходимости повторных ударов;
- осуществляют связь с другими компонентами ОГВ через офицеров-направленцев;
- обеспечивают средствами АСУ и связи офицеров-направленцев на другие компоненты ОГВ. На ЦУТА могут быть также развернуты органы взаимодействия союзных сил (офицеры-направленцы), а также элементы системы управления авиацией многонациональных сил;
- формулируют и доводят до исполнителей процедуры управления

полетами в зоне ответственности и координируют деятельность по управлению воздушным движением (УВД), если она осуществляется с пункта управления начальника зоны УВД;

— обеспечивают общее руководство ПВО в соответствии с указаниями начальника зоны ПВО, включая раннее радиолокационное обнаружение и перехват крылатых и баллистических ракет тактического назначения;

— обеспечивают общее руководство действиями поисково-спасательной службы (ПСС), включая координацию поисково-спасательных операций с соответствующими службами других компонентов и объединенного центра ПСС ОГВ.

Пункт управления воздушными перевозками является специализированным органом, осуществляющим руководство воздушными перевозками на ТВД, дозаправкой в воздухе, а также контролирующим и координирующим воздушные перевозки в интересах ВВС вне ТВД. Начальник аэромобильных сил, используя центр воздушных перевозок, осуществляет мониторинг и руководит выполнением этих задач. Центр воздушных перевозок должен тесно взаимодействовать с ЦУТА, который сохраняет за собой основную ответственность за руководство авиацией, координацию использования воздушного пространства, разработку плана АТО и правил (порядка) полетов и перелетов в зоне ТВД. Начальник аэромобильных сил обычно выделяет в состав боевого расчета ЦУТА дежурных офицеров по управлению транспортными самолетами и самолетами-заправщиками с целью интеграции действий самолетов ВТА и танкеров в рамках единой воздушной операции. Офицеры-направленцы обеспечиваемых компонентов ОГВ взаимодействуют с аэромобильным центром с целью осуществления необходимых перевозок по воздуху.

Воздушный пункт управления является специализированным органом управления с ограниченными возможностями по управлению боевыми действиями ударной авиации. Мобильность и возможность управления самолетами тактической авиации с воздуха позволяет ВзПУ, взаимодействуя с наземными элементами системы управления авиацией на ТВД «Такс», существенно расширить зону действия последней. ВзПУ предоставляет возможность быстрого развертывания системы управления авиацией на начальном этапе развития кризисной ситуации или в обстановке, препятствующей развертыванию наземных элементов системы управления авиацией на ТВД «Такс». Будучи органичным расширением ЦУТА и других органов управления авиацией, ВзПУ может быть наделен правом перенацеливать самолеты ударной авиации на высокоподвижные цели. Он также может выступать в роли координатора действий авиации или выполнять специальные задания.

ВзПУ может служить также временным или вспомогательным ЦБУ авиацией.

КП авиационного крыла является пунктом управления каждого авиационного крыла ВВС. Командир крыла и офицеры штаба получают приказы, директивы и указания от вышестоящих командиров и органов управления. Они управляют боевыми действиями и распределением ресурсов сил и средств авиакрыла с данного КП. Он является ключевым звеном процесса реализации плана полетов на боевое применение АТО. КП авиакрыла имеет связь с обеспечиваемыми и приданными частями, а также с самолетами в воздухе в пределах прямой радиовидимости.

Система радиолокационного наблюдения и целеуказания «Джистарс» обеспечивает обнаружение радиолокационно-контрастных наземных целей с воздуха. «Джистарс» используется для оценки обстановки на поле боя и целеуказания в реальном масштабе времени. Система состоит из самолета-носителя Е-8, оснащенного многорежимным радиолокатором бокового обзора, и мобильных наземных приемных пунктов GSM (Ground Station Modules). Информация об обнаруженных наземных целях в реальном масштабе времени по закрытым линиям передачи данных с самолета Е-8 поступает на наземные мобильные приемные пункты, располагаемые вблизи КП командиров наземных частей или на КП авиацией.

ЦБУ авиацией является элементом системы «Такс», отвечающим за направление и исполнение поступающих заявок по непосредственной авиационной поддержке и разведывательному обеспечению наземных сил. Он является органом оперативного управления авиацией ВВС, функционирующим под оперативным контролем (с ЦУТА) командования авиационной группировки ВВС на ТВД и размещается, как правило, на КП армейского корпуса. ЦБУ авиацией координирует и направляет ресурс самолето-вылетов, выделенный в плане АТО на непосредственную авиационную поддержку в соответствии с указаниями командира компонента сухопутных войск ОГВ командиру армейского корпуса и далее по указанию последнего перераспределяет его подчиненным соединениям, частям и подразделениям. Главной задачей ЦБУ авиацией является обеспечение быстрого реагирования на срочные заявки сухопутных войск по авиационной поддержке. ЦБУ авиацией постоянно информирует ЦУТА о необходимых для обеспечения потребностей наземного компонента ОГВ силах и средствах тактической авиации. Он может запрашивать выделение дополнительного ресурса самолето-вылетов, если требования наземных сил превышают ресурс, выделенный в соответствии с суточным планом АТО. Ресурс самолето-вылетов разведывательной авиации обычно не доводится до ЦБУ авиацией, а распределяется с ЦУТА. ЦБУ

авиацией располагается, как правило, вблизи основного КП армейского корпуса.

Команда управления тактической авиацией обычно выделяется в оперативное подчинение штабов сухопутных войск от уровня корпуса до батальона включительно. КУТА осуществляет непосредственное взаимодействие с обеспечиваемой частью/подразделением наземных войск и должны постоянно находиться в распоряжении армейских командиров в готовности к интеграции и синхронизации огня и маневра ударной авиации с действиями наземных сил. Офицер-направленец на ВВС, выделенный в распоряжение штаба обеспечиваемой части/подразделения, одновременно является и начальником КУТА, приданной данной части/подразделению. КУТА на уровне «корпус — бригада» выполняет главным образом консультативные функции. Должностные лица этих команд выступают в роли экспертов от ВВС в ходе планирования и управления боевыми действиями сухопутных войск. Они также выступают в роли координаторов местной ПВО наземных сил и руководителей полетов в зоне ответственности обеспечиваемых наземных войск. Их особая функция заключается в оказании содействия операторам армейских штабов в подготовке и синхронизации авиационных ударов с действиями наземных сил и подготовке армейского плана непосредственной авиационной поддержки. Они согласовывают предварительно запланированные и текущие заявки по непосредственной авиационной поддержке и помогают в координации выполнения боевых задач с соответствующими органами управления авиацией сухопутных войск. КУТА батальонного звена при даются офицеры-направленцы на ВВС, а также передовые авианаводчики из числа унтер-офицеров. При необходимости КУТА батальонного звена могут усиливаться за счет бригадного звена. Они осуществляют окончательное наведение самолетов ударной авиации на цели. КУТА и ЦУТА согласовывают свои действия посредством сети радиосвязи ВВС и аэромобильных сил.

Другие органы управления авиацией системы «Такс». Система «Такс» может включать также и другие воздушные и наземные элементы управления и оповещения, которые используются группировкой ВВС на ТВД для управления воздушным движением или в целях организации ПВО.

Командир авиационной группировки на ТВД, как правило, выделяет авиационных офицеров-направленцев для организации взаимодействия с группировкой сухопутных войск от уровня корпуса до батальона. Офицер-направленец на ВВС при штабе корпуса является прямым представителем командира авиационной группировки при командире корпуса. Он становится начальником ЦБУ авиацией в том случае, когда ЦБУ авиацией размещается в боевых порядках обеспечиваемого корпуса. Офицеры-направленцы на ВВС,

которые являются старшими авиационными начальниками каждой КУТА, отвечают за деятельность подчиненного звена управления авиацией.

ВВС вносят свой вклад в воздушно-наземную систему ТВД (TAGS — Theater Air Ground System) втрое. Во-первых, группировка ВВС овладевает воздушно-космическим боевым пространством, выполняет другие боевые задачи и осуществляет боевое обеспечение компонентов ОГВ в ходе выполнения ими боевых задач. Во-вторых, планирует, координирует и управляет блокированием противника с воздуха и непосредственной авиационной поддержкой в интересах наземных сил и ОГВ в целом. В-третьих, применяет автоматизированную систему боевого управления и связи на ТВД, которая обеспечивает доведение боевых задач до назначенных сил и средств авиационной группировки. Авиационная группировка выделяет органы взаимодействия (офицеров-направленцев) в другие компоненты ОГВ. Специалисты, осуществляющие эти функции, должны иметь высокий уровень подготовки к выполнению своих обязанностей. Именно они являются ключевым звеном эффективного планирования и координации действий воздушно-наземной системы ТВД TAGS.

По взглядам руководства вооруженных сил США одним из наиболее радикальных методов повышения эффективности боевого применения имеющихся сил и средств является комплексная автоматизация процессов управления на всех уровнях: стратегическом, оперативном и тактическом [8]. Особое внимание при этом уделяется бесшовному сопряжению систем АСУ и связи разнородных сил, принимающих участие в единой воздушно-наземной операции ОГВ. Для преодоления существующего отставания в автоматизации систем боевого управления ВВС России необходимо внимательное изучение и использование опыта наиболее развитых в этом отношении стран мира, и, в первую очередь, США.

Контрольные вопросы

1. Назовите типы АСУ П и ВД, функционирующие в настоящее время на аэродромах государственной и гражданской авиации, их предназначение и задачи.

2. Назовите типы и характеристики средств наблюдения, связи, навигации и посадки, обеспечивающие управление ВС в аэродромном ВП.

3. Назовите существующие АСУ ВД во внеаэродромном ВП, состав их функциональных подсистем и решаемые задачи.

4. Приведите типы средств наблюдения, связи и навигации, обеспечивающие управление ВД во внеаэродромном ВП.

5. Покажите направления модернизации и создания новых АСУ П и ВД в аэродромном и во внеаэродромном ВП.
6. Укажите перспективные средства наблюдения, навигации и связи.
7. Поясните сущность «Авиационной подвижной системы передачи данных».
8. Поясните назначение и задачи фиксированной спутниковой связи и авиационной подвижной спутниковой связи.
9. Дайте определение термину «Автоматическое зависимое наблюдение» (АЗН) и его реализацию в космических технологиях.
10. Назовите состав наземных и бортовых средств, реализующих метод АЗН.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенный в учебном пособии материал является основой для изучения и усвоения важных вопросов предметной области, какой является область управления авиацией наземными средствами и системами, в которых значительная часть первоочередных и важных задач автоматизирована. В ближайшей перспективе следует ожидать внедрение в системы управления средств цифровой воздушной и наземной связи в режимах передачи данных и телефонных сообщений, а также реализацию в системах управления авиацией оптимизационных методов решения управленческих задач и методов искусственного интеллекта при принятии решения. Потребности экономики страны и других областей деятельности авиации ставят перед органами управления авиацией задачи по изменению структуры воздушного пространства путем ввода новых внутренних и трансконтинентальных воздушных трасс и маршрутов полета воздушных судов со средствами обслуживания воздушного движения, изменения норм эшелонирования воздушных судов в аэродромном и во внеаэродромном воздушном пространстве; перехода от разрешительного порядка использования воздушного пространства к уведомительному и реализации в определенных элементах воздушного пространства концепции «свободного полета воздушных судов».

Состояние и перспективы развития систем управления авиацией, изложенные в учебном пособии, являются основой для повышения своего профессионального образования и практического использования знаний в области управления авиацией Российской Федерации.

СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ВП — воздушное пространство

РС — радиостанция

РК — радиокompас

АРП — автоматический радиопеленгатор

МП — маршрут полета

ВТ — воздушная трасса

ПАР — приводная аэродромная радиостанция

КВ — короткие волны

УКВ — ультракороткие волны

П и ВД — полеты и воздушное движение

КДП — командно-диспетчерский пункт

РСП — радиолокационная система посадки

РСБН — радиотехническая система ближней навигации

РЛС — радиолокационная станция

АСУП — автоматизированная система управления полетами

СП — система посадки

ОПРС — отдельная приводная радиостанция

ФАНС РФ — Федеральная аэронавигационная служба РФ

ЕС ОрВД РФ — Единая система организации воздушного движения Российской Федерации

ВС — воздушное судно

УВД — управление воздушным движением

ЛИТЕРАТУРА

1. Ветошкин В.М. Базы данных. Учебник для межвузовского использования. — М.: Изд-во ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2005.
2. Ветошкин В.М. Теоретические основы систем баз данных.— М.: Изд-во ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2003.
3. Ветошкин В.М. Основы теории концептуального проектирования баз данных для автоматизированных систем. — М.: ВВИА, 1992.
4. Vetoshkin V.M., Lyalyuk I.N. Tolerant Join Operation In A Relational Database. //Proceedings of the 11th International Workshop on Computer Science and Information Technologies. — Crete, Greece, October 5-8, 2009, Vol.1, pp.127-131.
5. Министр обороны Российской Федерации №483, Министерство транспорта Российской Федерации №168. Приказ от 30 ноября 2001 года «Об утверждении Инструкции по составлению формализованных заявок на использование воздушного пространства - планов полетов воздушных судов, заявок на запуски аэростатов, шаров-зондов, проведение стрельб, пусков ракет и взрывных работ».
6. Air Force Basic Doctrine. Air Force Doctrine Document 1, September, 1997.
7. TAGS/ Multiservice Procedures for the Theater Air-Ground System, October 1994.
8. Лялюк И.Н. С4I: Системы связи, АСУ и разведки вооруженных сил США. Учебное пособие. — М.: ВАТУ, 2000.
- 9.