

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

---

Кафедра основ радиотехники и защиты информации

А.В. Сбитнев, А.В. Бунин

# ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

**Учебное пособие**

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

Москва  
ИД Академии Жуковского  
2018

УДК 629.7(075.8)

ББК 39.5я73

C23

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Московского государственного технического университета ГА

Рецензенты:

*Петров В.И.* (МГТУ ГА) – канд. техн. наук, доц., зав. каф. ОРТЗИ;

*Скогорева К.К.* (МИРЭ) – канд. техн. наук, доц.

**Сбитнев А.В.**

C23

Информационное обеспечение организации и управления воздушным движением [Текст] : учебное пособие / А.В. Сбитнев, А.В. Бунин. – М. : ИД Академии Жуковского, 2018. – 80 с., лит.: 7 наим.

ISBN 978-5-907081-02-4

Данное учебное пособие содержат материалы учебно-методического характера, необходимые для освоения знаний и умений по предмету «Информационное обеспечение организации и управления воздушным движением».

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, содержание процессов управления полетами воздушных судов. Описываются схемы автоматизированных систем управления 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.

Данное учебное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Информационное обеспечение организации и управления воздушным движением» по Учебному плану для студентов IV курса специальности 10.05.02 очной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры 06.02.2018 г. и методического совета 06.02.2018 г.

**УДК 629.7(075.8)**

**ББК 39.5я73**

Св. тем. план 2018 г.  
поз. 51

СБИТНЕВ Александр Васильевич, БУНИН Александр Вячеславович  
ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ  
Учебное пособие

*В авторской редакции*

Подписано в печать 11.05.2018 г.

Формат 60x84/16 Печ. л. 5 Усл. печ. л. 4,65

Заказ № 277/0403-УП03 Тираж 35 экз.

Московский государственный технический университет ГА  
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского

125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А

Тел.: (495) 973-45-68 E-mail: zakaz@itsbook.ru

**ISBN 978-5-907081-02-4**

© Московский государственный технический  
университет гражданской авиации, 2018

## Введение

Современная авиация Российской Федерации является мощным и уникальным средством решения важных государственных и ведомственных задач, 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 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 воздушных судов, 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.

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».

# 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 [5].

*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.

*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.

**Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации** 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 [6].

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 [7].

**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.

**Наставление по производству полетов в гражданской авиации** устанавливает правила выполнения и обеспечения полетов гражданской авиации, а также управления 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 (ПП), 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 нами вопросов основные понятия и определения [1].

*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.

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.

*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.

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

*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.

*Ишелонирование воздушных судов в воздушном пространстве* – способ вертикального, продольного и бокового рассредоточения ВС в воздушном пространстве, обеспечивающий безопасность воздушного движения.

*Ишелон 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.

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.

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.

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.

*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.

Важными понятиями, введенными Федеральными авиационными правилами полетов в воздушном пространстве РФ, являются понятия абсолютной, относительной и истинной высоты полета ВС (рисунок 1.1).

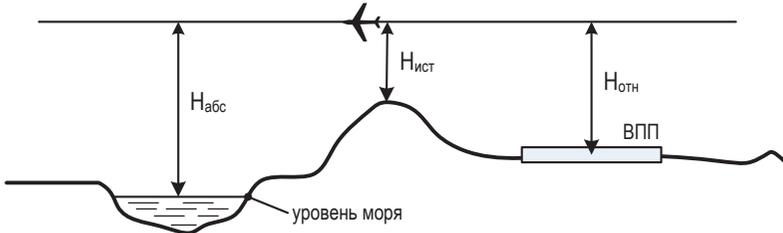


Рисунок 1.1. Высоты полета воздушного судна.

$H_{абс}$  – 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.

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. Аэродромное воздушное пространство

*Аэродромное воздушное пространство (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 [3].

*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.

*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.

*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 ЗС 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.

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.

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.

#### **1.4. 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 аэродромного. Использование внеаэродромного ВП регламентируется специальными документами и поддерживается соответствующими видами обеспечения [1].

*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 маршруту 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 плану воздушного полета (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 полета 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 м. При полетах над морем и безориентирной местностью – до 50 км.

*Запрещенные, опасные, специальные и другие зоны* должны быть удалены от других элементов ВП не мене, чем на 10 км.

## 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.

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.

*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.

*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: 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.).

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 задач с учетом воздушной и наземной обстановки и введенных ограничений на

ИВП;

2) обеспечение взлетающим и взлетевшим воздушным судам безопасного полета путем;

3) установление и поддержание порядка при использовании ВП путем решения задач, обеспечивающих;

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

Системы управления полетами и воздушным движением классифицируют следующим образом:

1) по назначению и масштабу решаемых задач различают:

– системы УВД федерального уровня, к которым относятся Единая система организации воздушного движения (ЕС ОрВД);

– 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;

2) 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...500 км);

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

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

3) 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).

## **2.2. Системы управления полетами и воздушным движением в аэродромном воздушном пространстве**

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

Органами управления являются 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.



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

Органами оперативного управления воздушными судами в аэродромном воздушном пространстве являются ДП 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.

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

- 1) светосигнальные средства, дублирующие средства радиотехнического оборудования аэродрома: посадочные знаки, сигнальные огни и ракеты;
- 2) 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);
- 3) радиолокационные средства наблюдения ВП и посадки:
  - аэродромные радиолокационные станции (РЛС);
  - посадочные радиолокаторы (ПРЛ);

- радиолокационные системы посадки (РСП);
- метеорологические РЛС (МРЛС);
- 4) средства воздушной радиосвязи УКВ-диапазона;
- 5) средства наземной связи:
  - проводные средства связи;
  - радиостанции КВ-диапазона;
- 6) комплексы средств автоматизации (КСА) командных пунктов (КП), командно-диспетчерских пунктов (КДП), диспетчерских центров (ДЦ) и пунктов (ДП);
- 7) 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, ДП с выносными индикаторами РЛС для диспетчеров подхода, круга и посадки, приемно-передающий центр радиотелефонной 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.

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.

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 первичной 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.

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

При автоматическом управлении ВС на траектории посадки в САУ ВС должен поступать сигнал пропорциональный величинам отклонений по горизонтали ( $\Delta l$ ) и по вертикали ( $\Delta h$ ) со знаками плюс или минус в зависимости от вида отклонения от заданной траектории посадки.

### **2.3. Системы управления воздушным движением во внеаэродромном воздушном пространстве**

**Единая система организации воздушного движения Российской Федерации**  
В соответствии с постановлением Правительства СССР в период

1973-1978 годах 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 [1].

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.

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.

*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 функционирования 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.

## **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, состоит из трех разнофункциональных частей: органов управления, органов оперативного управления (пунктов управления) и средств управления.

*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.

Рассмотрим состав средств управления.

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 радиобмен 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.

Суточное и текущее планирование ВД производится диспетчерами вручную.

#### **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 [1].

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.

## 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 [3].

*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 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.

Предварительное долгосрочное планирование ВД выполняется главным и зональными центрами ЕС ОрВД, их трассовыми (гражданскими) и внутрассовыми (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 метеобстановки, 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

служебной 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.

*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.

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).

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 осуществляется и при наличии радиолокационного управления на высотах полетах ВС ниже высоты  $H=3000$  м

в радиолокационном поле районного центра.

*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.

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.

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.

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. 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 возникновения.

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:

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

В специальной литературе и материалах 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.

### 3. Автоматизация процессов управления полетами и воздушным движением

#### 3.1. 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 [1]. 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  $\alpha_{\text{дв}}$  к связанной неподвижно с ВС оси  $OX_I$ ;

- 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  $OX_n Y_n Z_n$ , 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.

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  $OX_I Y_I Z_I$  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  $\gamma$ , скольжения  $\beta$ , тангажа  $\nu$  и угол наклона траектории  $\theta$ .

В режиме управления ВС на траектории эти моменты с помощью органов 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.

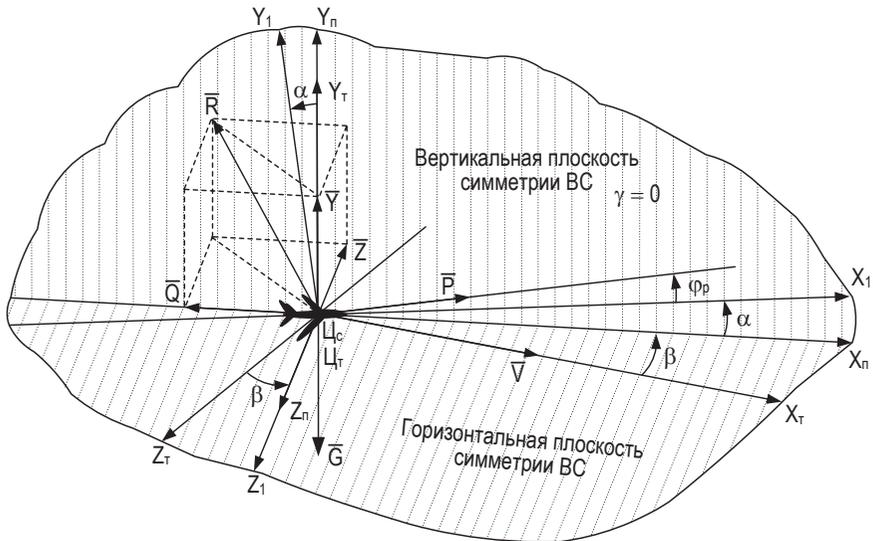


Рисунок 3.1. Связанная, полусвязанная (поточная) и траекторная (скоростная) системы координат

Динамическая модель движения ВС в земной неподвижной системе координат  $OX_g Y_g Z_g$  полностью описывается тремя дифференциальными уравнениями движения центра масс под воздействием сил в проекциях на оси  $OX_g$ ,  $OY_g$ ,  $OZ_g$ , 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 (рисунок 3.1). В этом случае ускорение в местной вертикальной плоскости вдоль оси  $OY_T$  равно:

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

где  $r_e$  – радиус кривизны траектории в вертикальной плоскости,  $\omega_z$  – угловая скорость вращения вектора  $\bar{V}$  вокруг оси  $OZ_n$ ;  $\theta$  – угол наклона траектории (вектора скорости) относительно земной поверхности.

Ускорение в местной горизонтальной плоскости вдоль оси  $OZ_m$  равно:

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

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

На рисунке 3.1 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  $\beta$ , тангажа  $\nu$ , атаки  $\alpha$ , угла наклона траектории  $\theta$  и угла крена  $\gamma$ .

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  $\delta_{руль}$ ,  $\delta_r$ ,  $\delta_\nu$ ,  $\delta_n$ .

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  $\theta$ . 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 3.2 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:

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

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

$$- Q \sin \beta \sin \gamma + Y \cos \gamma + Z \cos \beta \sin \gamma - G \cos \theta;$$

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

$$+ Q \sin \beta \cos \gamma + Y \sin \gamma - Z \cos \beta \cos \gamma.$$

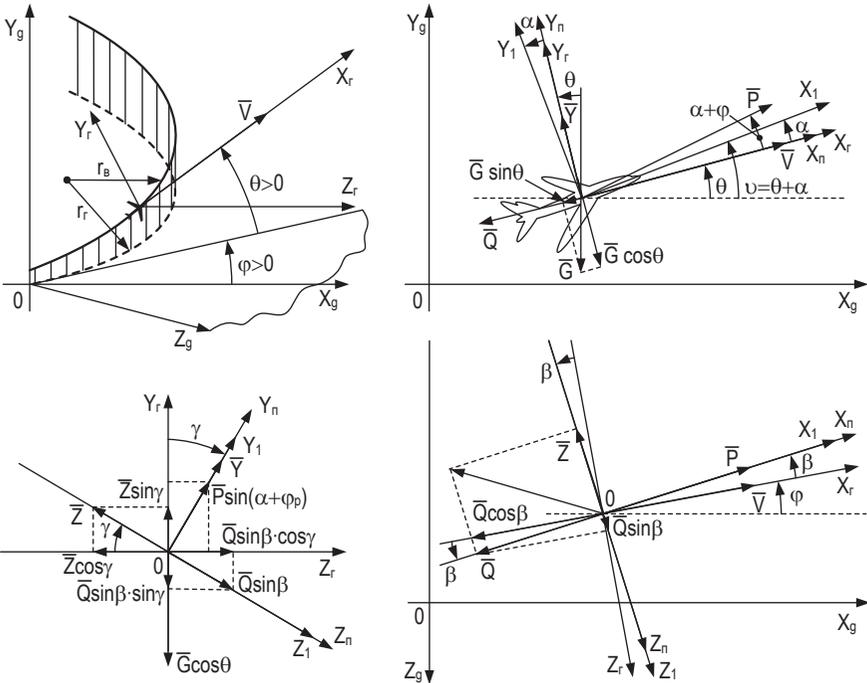


Рисунок 3.2. Взаимное положение земной и скоростной системы координат. Проекция сил на оси скоростной (траекторной) системы координат

Дальнейшее упрощение уравнений связано с малыми величинами углов  $\alpha$  и  $\beta$ , 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  $\gamma$  и пути  $\varphi$ .

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  $V_{зад}^g$  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  $V_{зад}$ ,  $V_{зад}^g$ ,  $\varphi_{зад}$  следующими зависимостями:

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

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

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

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

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

Выражения для производных в правых частях уравнений с коэффициентами  $f_v, f_g, f_\varphi$  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  $\gamma$ . 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  $\nu$  приводит к изменению угла атаки  $\alpha$  и, следовательно, подъемной силы и угла наклона траектории (вектора скорости) относительно земной поверхности  $\theta$ . Изменение угла  $\theta$  ведёт к изменению вертикальной скорости  $V_g = V \sin \theta$  и, как следствие, к изменению высоты полета ВС;  $V_g$  растёт медленнее, чем  $\alpha$ ;

- угол крена  $\gamma$ , крен изменяется быстро и ведет к изменению

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

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

$$\frac{dV}{dt} = f_v [V_{\text{зад}}^c - V_c(t)]; \quad \frac{dV}{dt} = f_d [V_{\text{зад}}^g - V \sin \theta(t)]; \quad \frac{d\varphi}{dt} = f_\varphi [\varphi_{\text{зад}} - \varphi(t)].$$

Таким образом, в АСУ П и ВД в аэродромном ВП НУ сводится к

управлению курсом  $\psi$  для вывода ВС на предпосадочную прямую и выдерживания посадочного курса; управлению углом наклона траектории  $\theta$  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:

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

Управление высотой полета также осуществляется через угол тангажа:

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

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

Положение ЦМ ВС в ВП аэродрома, на ВТ, МП определяется интегрированием дифференциальных уравнений, полученных при рассмотрении кинематики движения ВС:

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

$$X_g(t) = X_{v_0} + \int_0^t \dot{X}_g dt; \quad Z_g(t) = Z_{v_0} + \int_0^t \dot{Z}_g dt; \quad H(t) = Y_0 + \int_0^t \dot{H} dt.$$

Пространственные координаты  $X_g(t)$ ,  $Z_g(t)$ ,  $H(t)$  позволяют рассчитывать 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.

### 3.2. Кинематическая модель движения воздушного судна

Кинематическая модель описывает движение ВС в пространстве как

материальной точки без учета воздействия на нее управляющих и возмущающих сил [1].

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 3.3):

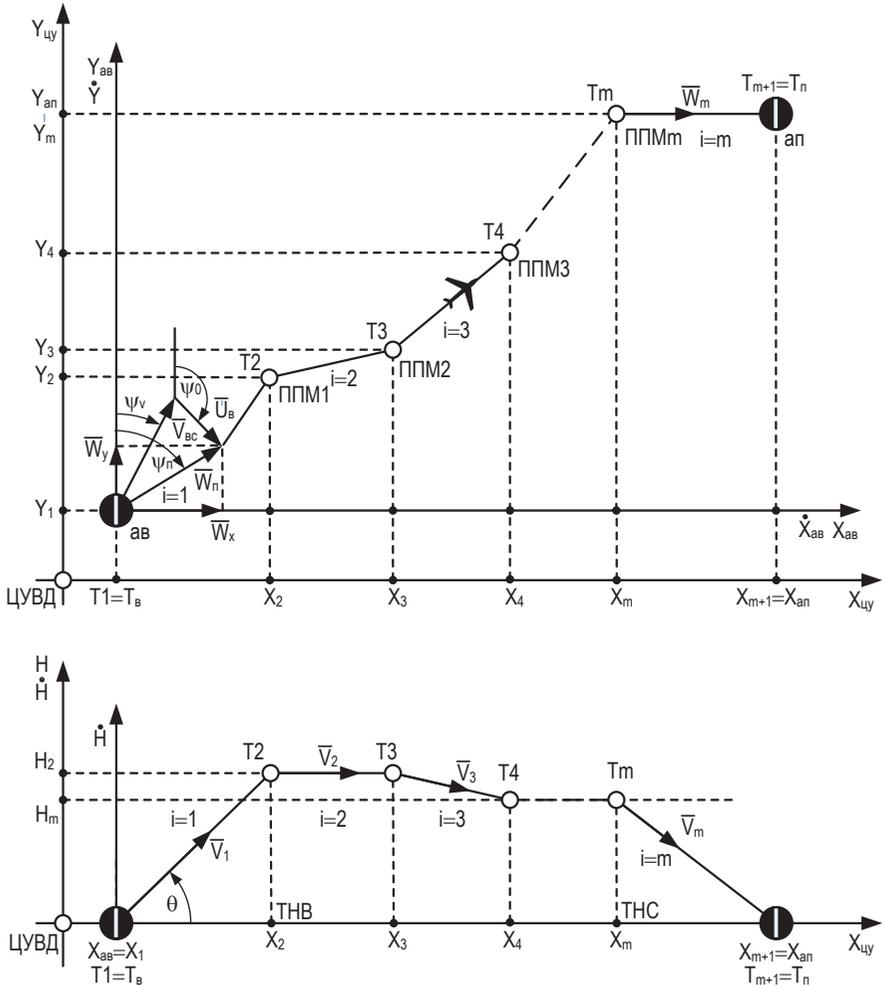


Рисунок 3.3. Кинематическая модель движения воздушного судна

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

где  $\overset{g}{\dot{X}} = W \sin \psi_W$  – проекция вектора путевой скорости ВС ( $W$ ) на ось  $OX(W_x)$  земной системы координат;  $\overset{g}{\dot{Y}} = W \cos \psi_W$  – 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;  $\psi_W = \arctg \frac{W_x}{W_y}$  – курс ВС по путевой скорости;  $V$  – воздушная скорость ВС;  $\psi$  – курсовой угол ВС;  $U$  – скорость ветра;  $\psi_U$  – навигационное направление (угол) ветра;  $\dot{\psi}$  – скорость изменения курса ВС;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\gamma$  – 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  $\psi$  (через угол крена  $\gamma$ ), значения которых в момент времени  $t_i$  определяются следующими соотношениями:

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

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

где  $V_i$ ,  $\psi_i$  и  $V_{i-1}$ ,  $\psi_{i-1}$  – 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. 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;  $\dot{X}_{i-1, i}(t)$ ,  $\dot{Y}_{i-1, i}(t)$  – скорости изменения координат, постоянные на интервале времени  $[t_{i-1}, t_i]$ .

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, 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).

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  $\theta$  – 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  $\langle \text{BC}_i, \text{BC}_j \rangle$  на этапе планирования ВД:

$$\text{при } \frac{[X_i(t) - X_j(t)]^2 + [Y_i(t) - Y_j(t)]^2}{L_{\sigma_{e3}}^2} + \frac{[H_i(t) - H_j(t)]^2}{H_{\sigma_{e3}}^2} \geq 1 - \text{ПКС отсутствует};$$

$$\text{при } \frac{[X_i(t) - X_j(t)]^2 + [Y_i(t) - Y_j(t)]^2}{L_{\sigma_{e3}}^2} + \frac{[H_i(t) - H_j(t)]^2}{H_{\sigma_{e3}}^2} < 1 - \text{ПКС существует}.$$

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

### 3.3. Информационная модель процесса планирования воздушного движения

#### База данных – динамическая информационная модель предметной области

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 [4].

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 3.4).

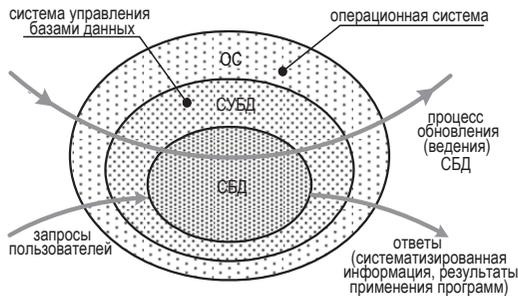


Рисунок 3.4. Схема основных элементов и процессов

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.

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, 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 3.5).

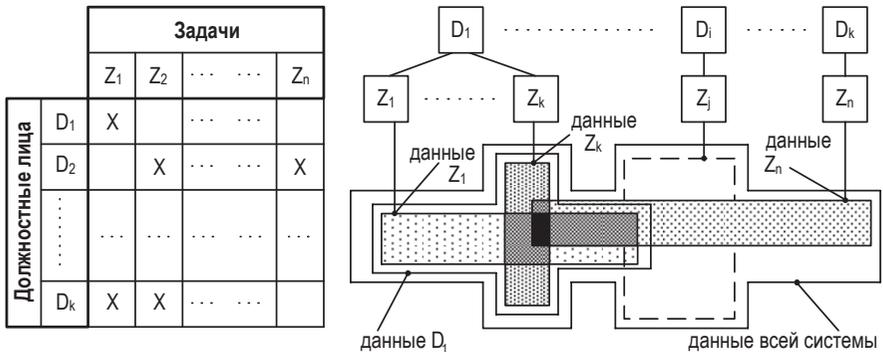


Рисунок 3.5. Графическое представление базы данных для комплекса задач

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

рассогласованности 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. Как отмечалось выше, мы не будем рассматривать процессы проектирования СБД, а лишь воспользуемся некоторыми результатами этих процессов для демонстрационного пример.

### **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 3.6.

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:

- 1) нтм – начальная точка маршрута;
- 2) птм – промежуточная точка маршрута;
- 3) ктм – конечная точка маршрута;
- 4) zi – точка соприкосновения маршрута с запретной зоной № i;
- 5) vx\_zi или vy\_zi – соответственно точки входа и выхода из запретной зоны № i.

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.

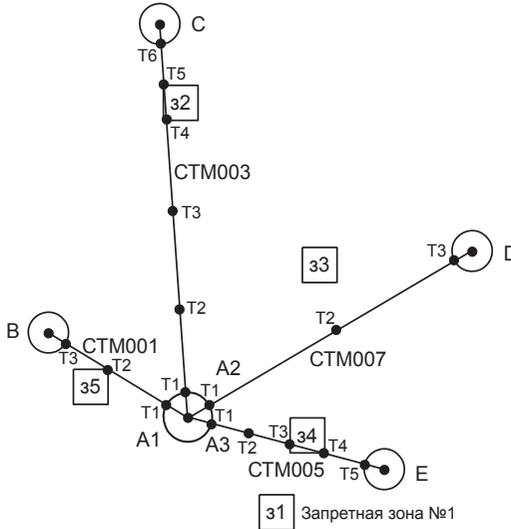


Рисунок 3.6. Пример схемы стандартных маршрутов

Стандартные маршруты могут пересекать запретные зоны (рисунок 3.6), 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 (ВПК\_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 3.6) или в соприкосновении с ними (например, с 35 на рисунке 3.6) в эти периоды.

Если  $t_n$  и  $t_k$  – время начала и конца рабочего периода некоторой ЗЗ, а  $t_{ex}$  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:

$((t_{ex} < t_n) \& (t_{вых} < t_n)) \vee (t_{ex} > t_k)$  – конфликта нет;

$((t_{ex} < t_n) \& (t_{вых} \geq t_n)) \vee (t_n \leq t_{ex} \leq t_k)$  – конфликт существует.

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 3.7.

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:

$z_i$  – зона №  $i$ ;

$tg_j$  – точка границы зоны, имеющая № $j$ ;

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

уп $z_i$  – учебно-пилотажная зона №  $i$ ;

плг\_ПВО $i$  – полигон ПВО №  $i$ ;

сп $z_i$  – спортивная зона №  $i$ ;

утп – учебно-тренировочные полеты;

уч\_стрб – учебные стрельбы;

упв – упражнения высшего пилотажа;

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

п $i$  – рабочий период (запрещенный для полетов) №  $i$ ;

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

Из рисунка 3.7 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 таблицы могут заполняться различными должностными лицами. Связи, указанные между таблицами, определяют порядок их заполнения, 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**.

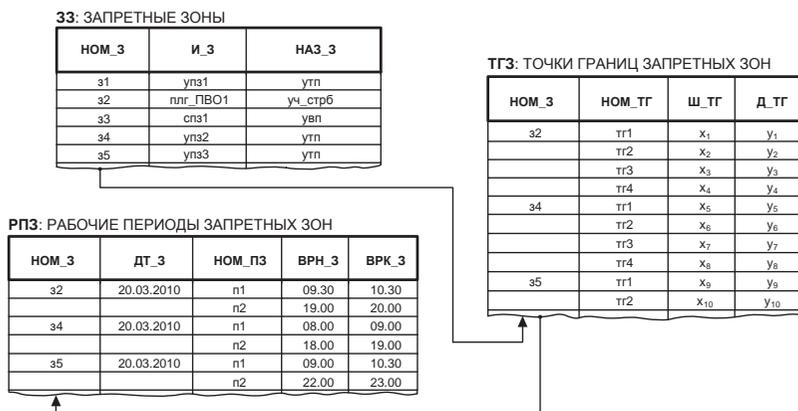


Рисунок 3.7 – Пример состояния фрагмента информационной модели запретных зон

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 3.8).

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 3.8 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.

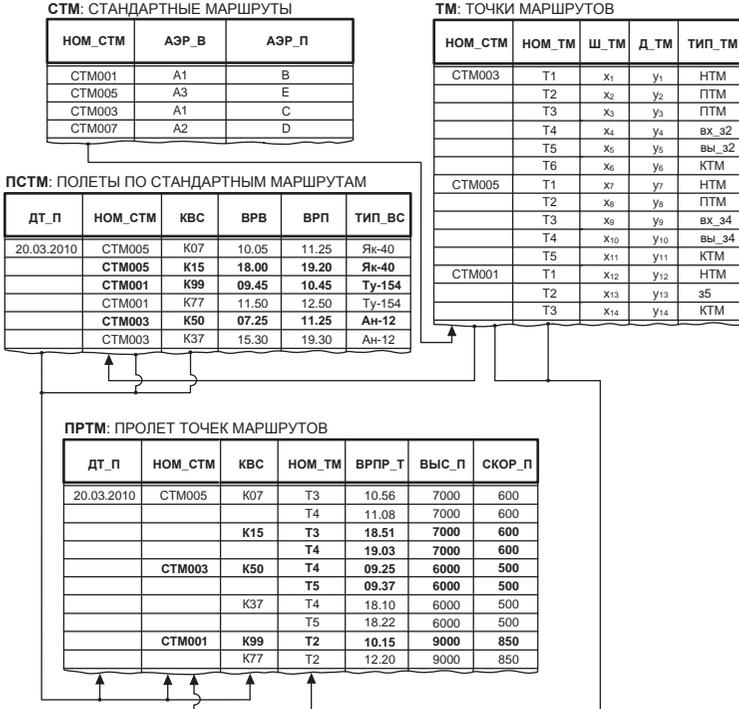


Рисунок 3.8. Пример состояния информационной модели плана полетов по стандартным маршрутам

Можно считать, что рассматриваемый нами пример связан с двумя базами данных, состояние одной из которых представлено на рисунке 3.7, а другой – на рисунке 3.8. 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 К50 на маршруте СТМ003, К15 и К17 на маршруте СТМ005 и К99 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 3.7 и 3.8) 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.

### **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, 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\_zi или вы\_zi) или касания (ТИП\_ТМ = zi) 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

$$\text{ТМГЗ} = \pi_{\text{НОМ\_СТМ, НОМ\_ТМ, ТИП\_ТМ}} (\sigma_{\text{ТИП\_ТМ} = \text{vx\_zi} \vee \text{вы\_zi} \vee \text{zi}} (\text{ТМ}))$$

предписывает выполнение операции выборки ( $\sigma$ ) строк таблицы ТМ, содержащих в столбце ТИП\_ТМ одно из начений vx\_zi, вы\_zi или zi, и оставление в результирующей таблице только трех столбцов из исходной таблицы: НОМ\_СТМ, НОМ\_ТМ и ТИП\_ТМ (операция проекции –  $\pi$ ).

СУБД, выполняя эти операции, сформирует предписанную указанной формулой таблицу ТМГЗ (рисунок 3.9) 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	T4	vx_32
	T5	вы_32
СТМ005	T3	vx_34
	T4	вы_34
СТМ001	T2	z5

Рисунок 3.9. 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

$$\mathbf{ПЗТМГЗ} = \mathbf{ТМГЗ} [\mathbf{ТИП\_ТМ} = (\mathbf{вх\_zi} \vee \mathbf{вы\_zi} \vee \mathbf{zi}) \ \& \ \mathbf{НОМ\_З} = \mathbf{zi}] \ \mathbf{РПЗ}$$

предписывает выполнение операции толерантного естественного соединения 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 3.10).

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.

**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 3.10. Результат толерантного естественного соединения таблиц **ТМГЗ** и **РПЗ**

### **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).

СУБД, выполняя эти операции, сформирует предписанную указанной формулой таблицу **ВРПРТМГЗ** (рисунок 3.11).

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	T4	09.25
			T5	09.37
		К37	T4	18.10
			T5	18.22
	СТМ005	К07	T3	10.56
			T4	11.08
		К15	T3	18.51
			T4	19.03
	СТМ001	К99	T2	10.15
			T2	12.20

Рисунок 3.11. 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**

$$\mathbf{ПКС} = \pi_{\text{ДТ\_П, НОМ\_СТМ, КВС, НОМ\_ТМ, ТИП\_ТМ, ВРПР\_Т, НОМ\_ПЗ, ВРН\_З, ВРК\_З, ПРК}}(\mathbf{ВРПРТМГЗ} \text{ [(ДТ\_П= ДТ\_З, НОМ\_СТМ, НОМ\_ТМ)]} \mathbf{ПЗТМГЗ})$$

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 3.12). Значение атрибута ПРК в этой таблице определяется с учетом того, что  $t_{вх}$  и  $t_{вых}$  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.

### **Устранение потенциально конфликтных ситуаций в плане полетов**

Анализ данных, представленных в таблице ПКС (рисунок 3.12), 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 конфликт существует, что в плане полетов для КВС = K50 отображено жирным шрифтом соответствующих значений в таблицах ПСТМ и ПРТМ на рисунке 3.7.

Для устранения данной ПКС, с учетом того, что время нахождения экипажа в запретной зоне равно 12 минутам ( $t_{вых} - t_{вх} = 09.37 - 09.25 = 00.12$ ), 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:  $t_{вх} = 09.17$ ,  $t_{вых} = 09.29$ ), 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:  $t_{вх} = 10.36$ ,  $t_{вых} = 10.48$ ).

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 целесообразные рекомендации для их устранения.

**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	<b>K50</b>	Т4	вх_32	09.25	п1	09.30	10.30	0	
						п2	19.00	20.00	0	
			Т5	вы_32	09.37	п1	09.30	10.30	1	
						п2	19.00	20.00	0	
			K37	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	K07	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	
K15			Т3	вх_34	18.51	п1	08.00	09.00	0	
						п2	18.00	19.00	1	
Т4	вы_34		19.03	п1	08.00	09.00	0			
				п2	18.00	19.00	1			
СТМ001	K99	Т2	з5	10.15	п1	09.00	10.30	1		
					п2	22.00	23.00	0		
	K77	Т2	з5	12.20	п1	09.00	10.30	0		
						п2	22.00	23.00	0	

Рисунок 3.12. Результат проекции естественного соединения таблиц ПЗТМГЗ и ВРПРТМГЗ по комбинации значений атрибутов (ДТ\_П = ДТ\_З, НОМ\_СТМ, НОМ\_ТМ) и определения значения ПРК

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 = K50.

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

- вылет экипажа с КВС = K50 на маршрут СТМ003 ускорить на 12 минут;
- вылет экипажа с КВС = K17 на маршрут СТМ005 задержать на 11 минут;
- вылет экипажа с КВС = K15 на маршрут СТМ005 задержать на 10 минут;
- вылет экипажа с КВС = K99 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 3.13 выделены жирным шрифтом.

**ПСТМ: ПОЛЕТЫ ПО СТАНДАРТНЫМ МАРШРУТАМ**

ДТ_П	НОМ_СТМ	КВС	ВРВ	ВРП	ТИП_ВС
20.03.2010	СТМ005	K07	10.05	11.25	Як-40
	СТМ005	K15	<b>18.10</b>	<b>19.30</b>	Як-40
	СТМ001	K99	<b>10.01</b>	<b>11.01</b>	Ту-154
	СТМ001	K77	11.50	12.50	Ту-154
	СТМ003	K50	<b>07.13</b>	<b>11.13</b>	Ан-12
	СТМ003	K37	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	K07	T3	10.56	7000	600
			T4	11.08	7000	600
		K15	T3	<b>19.01</b>	7000	600
			T4	<b>19.13</b>	7000	600
	СТМ003	K50	T4	<b>09.13</b>	6000	500
			T5	<b>09.25</b>	6000	500
		K37	T4	18.10	6000	500
			T5	18.22	6000	500
	СТМ001	K99	T2	<b>10.31</b>	9000	850
		K77	T2	12.20	9000	850

Рисунок 3.13. Состояние таблиц базы данных после изменения значений атрибута ВР\_В

**ПКС: ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ КОНФЛИКТНЫЕ СИТУАЦИИ**

ДТ_П	НОМ_СТМ	КВС	НОМ_ТМ	ТИП_ТМ	ВРПР_Т	НОМ_ПЗ	ВРН_З	ВРК_З	ПКР
20.03.2010	СТМ003	K50	T4	вх_з2	09.13	п1	<b>09.30</b>	<b>10.30</b>	0
			T5	вы_з2		п2	19.00	20.00	0
					<b>09.25</b>	п1	09.30	10.30	0
						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	<b>19.01</b>	п1	08.00	09.00	0
						п2	18.00	19.00	0
			T4	вы_з4	<b>19.13</b>	п1	08.00	09.00	0
						п2	18.00	19.00	0
	СТМ001	K99	T2	з5	<b>10.31</b>	п1	09.00	10.30	0
						п2	22.00	23.00	0
		K77	T2	з5	12.20	п1	09.00	10.30	0
						п2	22.00	23.00	0

Рисунок 3.14. Результат обработки измененных таблиц СБД

Выполнение описанной выше последовательности процедур (запросы Z1–Z4) обработки измененных состояний таблиц рассматриваемой СБД, подтверждает отсутствие ПКС в измененном плане полетов (рисунок 3.14). Другими словами, планировщик, внося указанные изменения и не получая

сигнала о возникновении ПКС, разрабатывает потенциально бесконфликтный план полетов.

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.

#### **3.4. 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 системами автоматического управления (САУ) воздушных судов. 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 3.15. 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  $\psi_n$  и вырабатывается сигнал для экипажа или САУ ВС с последующим воздействием на рули:  $\delta_r$ ,  $\delta_\sigma$ ,  $\delta_H$ ,  $\delta_{руд}$ .

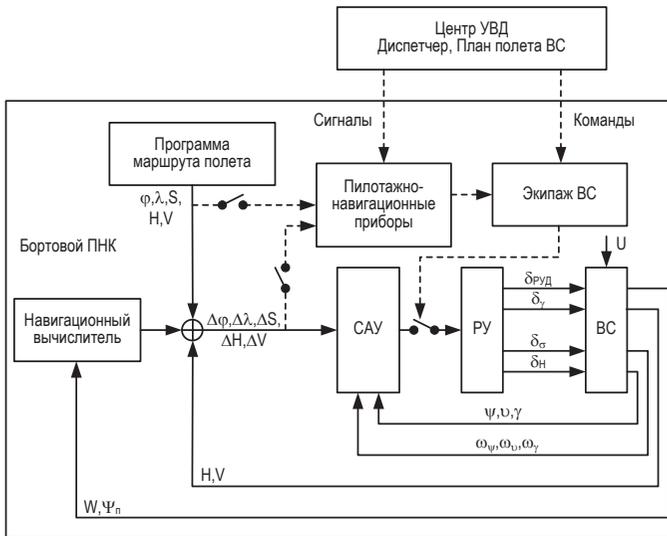


Рисунок 3.15. Схема структуры ПНК

Контур углового положения ВС с обратными связями по сигналам  $\psi, v, \gamma, \omega_\psi, \omega_\sigma, \omega_\gamma$  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, ПИМ 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 –  $\varphi$  и долготы –  $\lambda$ ) аэродрома вылета ( $\varphi_{ав}, \lambda_{ав}$ ), ППМ ( $\varphi_i, \lambda_i$ ) и аэродрома посадки ( $\varphi_{ан}, \lambda_{ан}$ ). 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  $\beta_i$  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 ( $\beta_i$ ). Азимуты истинных путевых углов в начале каждого участка отсчитываются относительно местных истинных меридианов в начальных точках участков и рассчитываются одновременно с ортодромической длиной участков ( $S_i$ ) по следующим формулам сферической геометрии:

$$\beta_i = \arctg [\cos \varphi_i \operatorname{tg} \varphi_{i+1} \operatorname{cosec} (\lambda_{i+1} - \lambda_i) - \sin \lambda_i \operatorname{ctg} (\lambda_{i+1} - \lambda_i)]$$

$$S_i^{yzl} = \arccos [\sin \varphi_i \sin \varphi_{i+1} + \cos \varphi_i \cos \varphi_{i+1} \cos (\lambda_{i+1} - \lambda_i)]$$

$$S_i = S_i^{yzl} \times 60 \times 1,852,$$

где  $\beta_i$  – магнитный путевой угол  $i$ -ой ортодромии ( $i$ -го участка маршрута);  $S_i^{yzl}$  – 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  $\beta_{i+1}$  очередного ( $i+1$ -го) участка маршрута выполняется в конечной точке пройденного  $i$ -го участка с начальными координатами  $\varphi_i, \lambda_i$ . 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  $\varphi, \lambda, H_{gc}$  или в прямоугольных  $X, Y, Z$ , где  $Z = H_{gc}$ . Знание этих координат позволяет корректировать путевые и курсовые углы. Местоположение ВС может быть установлено либо методами независимых определений, либо методами счисления пути.

*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  $\bar{U}$ :

$$\bar{W} = \bar{V} + \bar{U}.$$

*Доплеровские 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  $\psi^l$ :

$$W_N = W \cos \psi^l, \quad W_E = W \sin \psi^l.$$

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  $\varphi_0, \lambda_0$  – широта и долгота начальной точки движения воздушного судна.

Полет по участку маршрута с азимутом  $\beta_i$  (истинным путевым углом частной ортодромии) по причине воздействия возмущений, в том числе горизонтальной составляющей скорости ветра, приводит к тому, что ортодромический курс  $\varphi_i$  не совпадает с  $\beta_i$ , и ВС «сходит» с заданного участка ортодромии. Знание координат точек текущего положения ВС  $\varphi(t), \lambda(t)$ ,

координат начальной точки участка маршрута  $\varphi_i, \lambda_i$  и конечной точки этого участка  $\varphi_{i+1}, \lambda_{i+1}$  позволяет определять пройденное  $S_i^n(t)$  и оставшееся расстояние до конца  $i$ -го участка маршрута  $S_i^{oc}(t) = S_i - S_i^n(t)$ , 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  $\psi^n(t)$  и приводят ВС в  $(i+1)$ -ю точку (рисунок 3.16). Такой способ вывода ВС в заданную точку называется *курсовым* или *путевым*.

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  $S_i^n(t)$  и отклонения ВС от ортодромии  $Z_i(t)$ . Вычисление прямоугольных ортодромических координат  $S$  и  $Z$  производится по следующим выражениям (рисунок 3.17):

$$S_i(t) = S_{i-1} + \int_0^t W \cos(\psi_i - \beta_i) dt; \quad Z_i(t) = Z_0 + \int_0^t W \sin(\psi_i - \beta_i) dt;$$

$$S_{ocm i}(t) = S_i - \int_0^t W_S dt; \quad Z(t) = - \int_0^t W_Z dt.$$

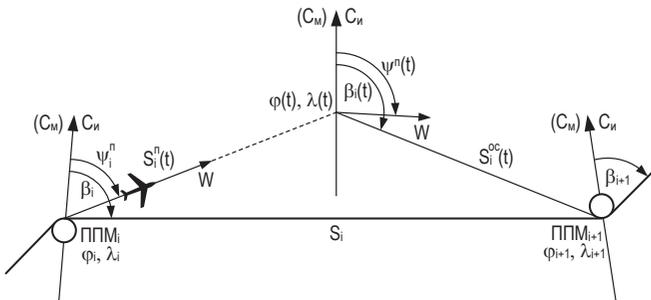


Рисунок 3.16. Курсовой способ вывода ВС в заданную точку

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.

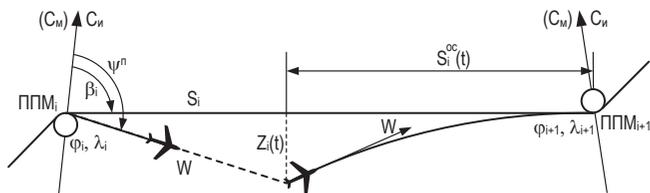


Рисунок 3.17. Маршрутный способ вывода ВС в заданную точку

При *курсовом способе* вывода ВС в заданную точку закон управления элеронами, реализуемый САУ, имеет вид:

$$\delta_3 = -K_3^W(\psi^n - \beta) + K_3^\gamma \gamma + K_3^{\omega_x} \omega_x,$$

где  $K_3^W = \frac{d\delta_3}{d\psi}$ ,  $K_3^\gamma = \frac{d\delta_3}{d\gamma}$ ,  $K_3^{\omega_x} = \frac{d\delta_3}{d\omega_x}$  – 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  $\gamma$  и ВС плавно выходит на новый курс, равный заданному (рисунок 3.18).

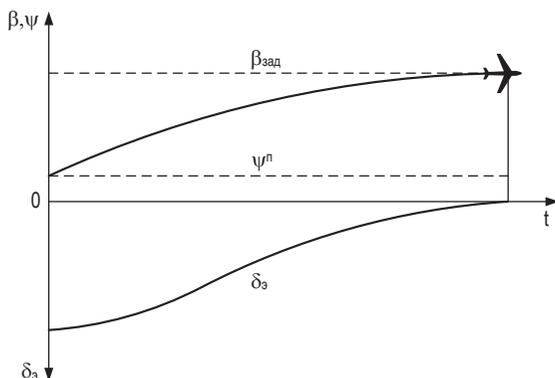


Рисунок 3.18. Закон управления элеронами при курсовом способе вывода ВС в точку

Закон управления элеронами при маршрутном способе вывода ВС в заданную точку имеет вид:

$$\begin{aligned} \delta_3 &= -K_3^W(\gamma - \gamma_{зад}) - K_3^{\omega_x} \omega_x; \\ \gamma_{зад} &= -K_3^Z Z + K_3^W(\beta_i - \psi_i^n). \end{aligned}$$

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 3.19).

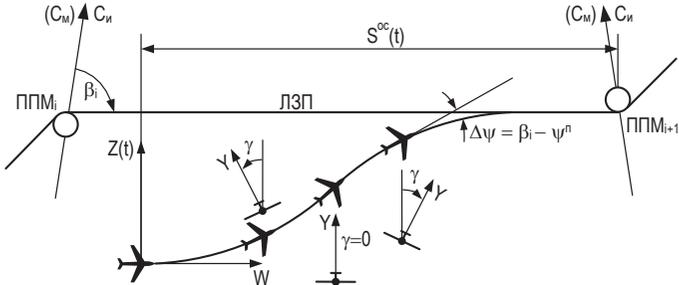


Рисунок 3.19. Траектория выхода ВС на линию заданного пути при маршрутном способе управления

Направление ортодромического участка маршрута может задаваться не истинным заданным путевым углом  $\beta_i^u$ , а магнитным заданным путевым углом  $\beta_i^m$ .

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.

## 4. Состояние и перспективы развития систем автоматизированного управления полетами и воздушным движением

### 4.1. АСУ полетами и воздушным движением в аэродромном воздушном пространстве

Аэродромные АСУ П и ВД предназначены для обеспечения безопасности полетов воздушных судов во всех элементах аэродромного ВП путем непрерывного контроля и управления ими [1].

Основными комплексами функциональных задач этих систем являются:

- автоматизированный сбор, обработка и отображение на совмещенных 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 АРМ списков прилетающих и вылетающих ВС.

Средствами наблюдения за воздушной обстановкой в аэродромном ВП являются:

- обзорные (первичные) РЛС с дальностью обнаружения 150...200 км;
- вторичные РЛС с дальностью обнаружения 400...450 км;
- радиолокационные комплексы, включающие первичные и вторичные радиолокаторы;
- автоматические радиопеленгаторы.

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.

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.

Информационное обеспечение комплексов средств автоматизации (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 метеобстановке 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 реализовано 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. 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.

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 качестве обзорных трассовых РЛС (ОРЛС-Т) используются ПРЛС различных типов. Дальности обнаружения ВС находятся в пределах 250...400 км.

Дальность обнаружения ВС 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.

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. 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.

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.

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, привлекаемых 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 [2].

Система фиксированной спутниковой связи (СФСС) является одной из систем, работающих в интересах УВД. 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 4.1.

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, Екатерининбурге, Минеральных Водах, Москве, Новосибирске, Норильске, Ростове-на Дону, Самаре, Санкт-Петербурге и других городах. Количество абонентских НСС будет определяться реальными потребностями. Например, только в Красноярском крае предусмотрено установить 15 абонентских 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.

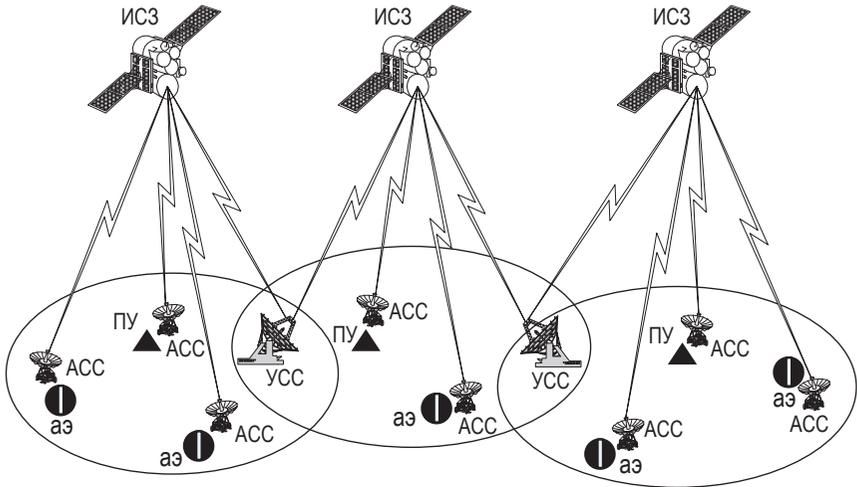


Рисунок 4.1. Обобщенная структурная схема СФСС

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 4.2):

- 4 основных и 4-5 резервных спутников на геостационарных орбитах с интервалом  $90^\circ$  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 НСС, 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.

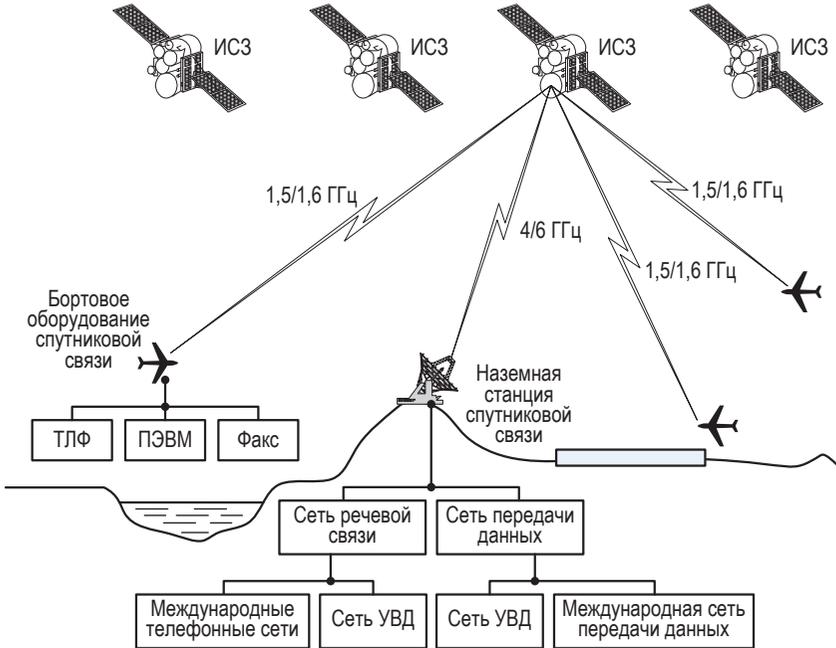


Рисунок 4.2. Авиационная система ИНМАРСАТ

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 наблюдения 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  $65^\circ$ , орбиты разнесены в плоскости экватора на  $120^\circ$  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  $t_{нрм}$ . Удаление ВС от ИСЗ определяется как произведение скорости распространения сигнала  $c$  (скорость света) на разность времени от момента «открытия» бортового приемника ВС  $t_{нрм}$  до момента фактического приема сигнала  $t_{сигн}$  со спутника:

$$r = c(t_{сигн} - t_{нрм}).$$

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 ( $i = 1, 2, 3, 4$ );  $\Delta r$  – ошибка в определении расстояния, вызванная несовпадением времени  $t_{исз}$  и  $t_{нрм}$ :

$$\Delta r = c \cdot \Delta t = (t_{исз} - t_{нрм}).$$

Если значение  $\Delta r$  положительное, то бортовые часы приемника ВС отстают от «системного времени», то есть приемник ВС открывается позже на

$\Delta t$ , 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  $\varphi_{BC}$ ,  $\lambda_{BC}$ ,  $H_{BC}$ . Скорость ВС определяется по известным выражениям:

$$V_{BC}^X = \frac{X_{BC}(t_2) - X_{BC}(t_1)}{t_2 - t_1},$$

$$V_{BC}^Y = \frac{Y_{BC}(t_2) - Y_{BC}(t_1)}{t_2 - t_1},$$

$$V_{BC}^Z = \frac{Z_{BC}(t_2) - Z_{BC}(t_1)}{t_2 - t_1},$$

$$V_{BC}^{II} = \sqrt{(V_{BC}^X)^2 + (V_{BC}^Y)^2}.$$

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 4.3.

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).

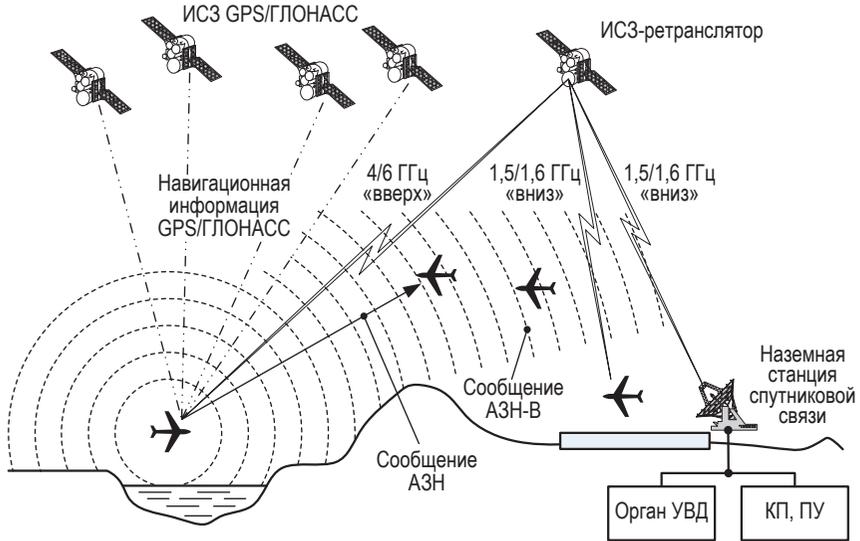


Рисунок 4.3. Схема функционирования системы АЗН

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 внутрассовых 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 области математического, информационного, программного и лингвистического обеспечений КСА УВД, позволяющих решать оптимизационные и трудноформализуемые 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.

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 широкополосном 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 разнота 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  $\Delta f$  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 столетия 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 4.4).

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.

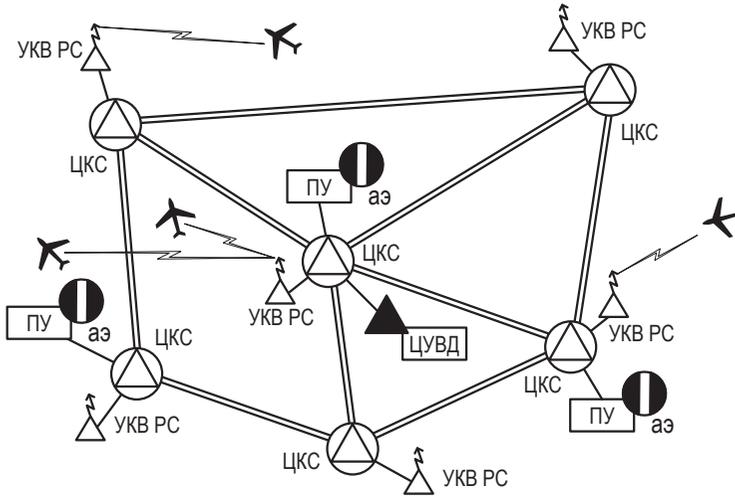


Рисунок 4.4. Схема авиационной подвижной системы передачи данных

В России наземные радиостанции АПСД 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 воздушного движения, а также для непосредственного управления воздушными судами, предназначенные для центров управления укрупненных районов воздушного движения.

## 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 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  
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. Автоматизированные системы управления воздушным движением. Новые информационные технологии в гражданской авиации. Под ред. Пятко С. Г. и Краснова А. И. – СПб.: Политехника, 2004.
2. Логвин А. И., Соломенцев В. В. Спутниковые системы навигации и управления воздушным движением. – М.: МГТУ ГА, 2005.
3. Логвин А. И., Власов А.Ю. Организация воздушного движения. – М.: МГТУ ГА, 2008.
4. Ветошкин В. М. Базы данных. Учебник для межвузовского использования. – М.: Изд-во ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 2005.
5. «Воздушный кодекс Российской Федерации» от 19.03.1997 N 60-ФЗ (ред. от 31.12.2017).
6. «Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации». Постановление Правительства РФ от 11 марта 2010 г. № 138 (в редакции, актуальной с 2 марта 2017 г., с изменениями и дополнениями).
7. «Федеральные авиационные правила полетов в воздушном пространстве Российской Федерации» (Приказ Минобороны РФ, Минтранса РФ и Росавиакосмоса от 31 марта 2002 г. N 136/42/51).

## Содержание

Введение.....	3
1. Организация полетов и воздушного движения авиации Российской Федерации.....	5
1.1. Основные руководящие документы по организации полетов и воздушного движения.....	5
1.2. Воздушное пространство Российской Федерации. Классификация полетов.....	7
1.3. Аэродромное воздушное пространство.....	10
1.4. Внеаэродромное воздушное пространство и его элементы.....	13
2. Системы управления полетами и воздушным движением.....	15
2.1. Цели, содержание управления и состав систем управления полетами и воздушным движением. Классификация систем управления.....	15
2.2. Системы управления полетами и воздушным движением в аэродромном воздушном пространстве.....	16
2.3. Системы управления воздушным движением во внеаэродромном воздушном пространстве.....	19
2.4. Заявки на использование воздушного пространства РФ.....	23
2.5. Планирование и непосредственное управление воздушным движением оперативными органами ЕС ОрВД.....	24
2.6. Безопасность полетов и воздушного движения – показатель качества систем управления П и ВД.....	27
3. Автоматизация процессов управления полетами и воздушным движением..	29
3.1. Динамическая модель движения воздушного судна в АСУ полетами и воздушным движением.....	29
3.2. Кинематическая модель движения воздушного судна.....	35
3.3. Информационная модель процесса планирования воздушного движения.....	40
3.4. Бортовые средства и системы автоматизированного управления воздушным судном.....	55
4. Состояние и перспективы развития систем автоматизированного управления полетами и воздушным движением.....	62
4.1. АСУ полетами и воздушным движением в аэродромном воздушном пространстве.....	62
4.2. АСУ воздушным движением во внеаэродромном воздушном пространстве.....	63
4.3. Космические технологии в системах управления полетами и воздушным движением.....	66
4.4. Перспективы развития АСУ полетами и воздушным движением.....	71
Заключение.....	77
Список основных сокращений.....	78
Литература.....	79